

ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMALARINDA TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

*Zeliha KAMIŞ**
*İbrahim YÜKSEL**

Özet: Elektromekanik supap mekanizmaları, içten yanmalı motorlarda yakıt tüketimini ve çevreye atılan kirletici oranlarını azaltan yeni bir teknolojidir. Bu sistemin mevcut motor tasarımlarına uyumu kolaydır ve diğer değişken zamanlamalı supap mekanizmalarına göre daha esnek supap zamanlaması sağlar. Elektromekanik supap mekanizmaları supabı çok kısa sürede açıp kapatmalı ve güvenilir bir supap performansı sağlamalıdır. Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizmaları için iki farklı model ele alınmış ve bu iki model üzerinde tasarım parametreleri incelenmiştir. Sistemin dinamik karakteristikleri MATLAB/Simulink programında hazırlanan bir model ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromekanik supap mekanizması, değişken zamanlamalı supap mekanizmaları, supap eyleyicilerinin dinamik karakteristik parametreleri.

The Investigation of the Design Parameters of Electromagnetic Valve Actuation Systems

Abstract: Electromagnetic valve actuation system is a new technology for the improvement of fuel economy and the reduction of emissions in internal combustion engines. It can be easily adapted to existing engine systems and provides more flexible valve timing than the other variable valve train systems. Electromagnetic valve actuation system must open and close fast enough to catch the motor speed and in the meantime it must provide reliable valve performance. In this study, two different models of electromagnetic valve actuation system are considered and their design parameters are investigated. Dynamic characteristics of the systems are obtained with a MATLAB/Simulink program.

Key Words: Electromagnetic valve actuation system, variable valve train system, dynamic characteristic parameters of valve actuation system.

1. GİRİŞ

Motor performansı supap zamanlamasının denetimi ile önemli oranda iyileştirilebilir. Motorlarda düşük motor yükleri ve hızlarında istenilen supap hareket profili ile maksimum güç ve hızda istenilen supap hareket profili birbirinden belirgin şekilde farklıdır. Optimum supap zamanlaması motor hızının bir fonksiyonudur. Motor devri değiştikçe piston hızı, piston hızına bağlı olarak içeri alınan taze dolgunun hızı ve kinetik enerjisi sürekli değişeceğinden iyi bir motor performansı için supap zamanlamasının da sürekli değişmesi gerekir.

Geleneksel içten yanmalı motorlarda supap zamanlaması sabittir ve motorun devrine göre değişmez. Supap zamanlaması kam mili tasarımı ile değişik çalışma şartlarında birbiriyle çelişen durumlar arasında uyum sağlayacak şekilde optimum olarak belirlenir.

Motorun farklı çalışma şartları için supap zamanlamasının değiştirilmesi gerekir. Supap zamanlaması ancak değişken zamanlamalı supap mekanizmaları ile değiştirilebilir. Değişken zamanlamalı supap mekanizmaları mekanik, hidrolik ve elektromekanik türde olmakla birlikte, bu sistemler arasında elektromekanik supap mekanizmaları nispeten daha basit bir yapıya sahiptir ve mevcut motor tasarımlarında daha az değişim gerektirir. Bu sistemde kam mili ortadan kaldırılmakta ve böylece sürtünmeye neden olan hareketli parçaların sayısı azaltılmaktadır. Bunun yanı sıra elektromekanik supap mekanizmaları motorun tüm çalışma şartlarında istenilen supap hareket profilini sağlar. Supabın açılma-kapanma zamanlaması ve açık-kapalı durumda kalma süresi motor hızı ve yüküne göre motor devrinden bağımsız olarak

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa.

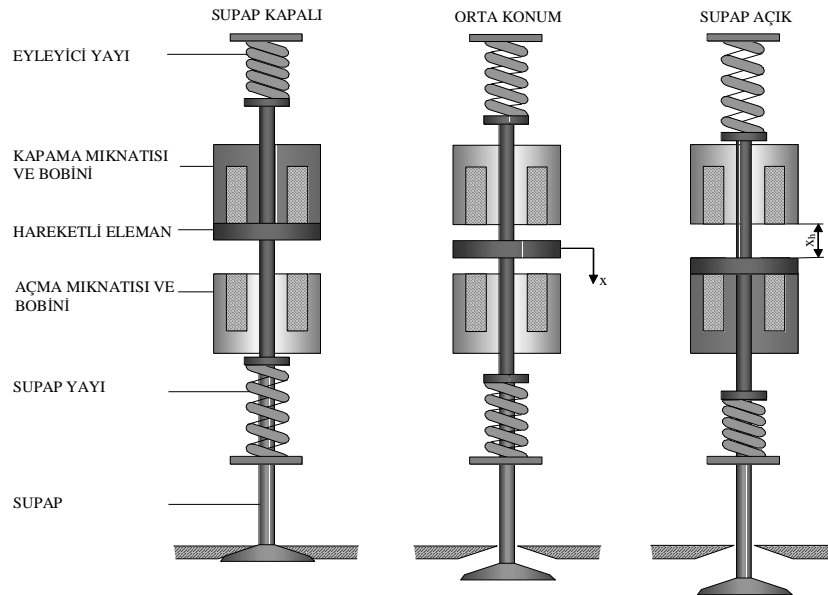
denetlenir. Bunun sonucunda yakıt tüketimi azaltılır, yüksek tork ve güç çıkışı elde edilir, rölanti kararlılığı iyileştirilir ve çevreye atılan kirleticiler azaltılır (Giglio vd., 2002; Pischinger vd., 2000).

Elektromekanik supap mekanizmaları üzerine özellikle son yıllarda çok yönlü çalışmalar yürütülmektedir. Yapılan bu çalışmalar genellikle elektromekanik supap mekanizmalarının tasarım parametrelerinin incelenmesi (Giglio vd., 2001; Kamış vd., 2002; Kamış ve Yüksel, 2003; Park vd., 2001; 2003a; 2003b), modellenmesi ve denetimi (Straky vd., 2001; Stubbs, 2000; Tai vd., 2001; Wang vd., 2000; 2002) şeklinde sınıflandırılabilir. Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizmalarında iki farklı model için tasarım parametreleri ele alınmış ve bu parametrelerin dinamik davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASI

Elektromekanik supap mekanizmalarında farklı tasarım yapıları görülmekle beraber bunların çalışma prensipleri temelde aynıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bir elektromekanik supap mekanizmasının temel elemanları; açma ve kapama olmak üzere iki adet mıknatıs devresi ve bobini, iki adet yay ve supap ile birlikte hareket eden bir hareketli elemandır. Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizması için düz yüzü disk tipi mıknatıs devresi ele alınmıştır. Hareketli eleman ve mıknatıs devreleri ferromıknatıs malzemeden yapılmıştır. Hareketli elemanın hareketi, yayların depoladığı potansiyel enerji ile mıknatıs enerjisi veya mıknatıs kuvvetine bağlıdır.

Elektromekanik supap mekanizmalarında, elektronik denetim biriminden gönderilen denetim sinyaline göre bobinlerden biri iletme, diğeri kesime sokularak supap açılıp kapanmaktadır. Hareketli eleman yay kuvveti yardımıyla ivmelenmekte ve hareketinin büyük bir kısmını yayların depoladığı enerji ile tamamlamaktadır. Mıknatıs kuvveti, hareketin tamamlanmasına yardımcı olmak ve hareketli eleman ile hareketli elemana bağlı supabı açık veya kapalı konumda tutmak için hareketin son kısmında etkili olmaktadır. Her iki bobine de akım uygulanmadığında hareketli eleman yaylar yardımıyla denge konumunda tutulmaktadır.



Şekil 1:
Elektromekanik supap mekanizmasının çalışma prensibi

Mıknatıs kuvveti dikkate alınmadığı durumda, elektromekanik supap mekanizmasının kütle yay salınım sistemi gibi çalıştığı görülür. Elektromekanik supap mekanizmalarında sistemin cevap hızı (açma-kapama zamanı) kamlı mekanik supap mekanizmalarından farklı olarak motor hızı ve yüküne bağlı olmayıp, büyük oranda kütle yay sisteminin doğal frekansına ve belli oranda da elektromıknatıs dinamiğine bağlıdır. Yüksek motor hızlarında elektromekanik supap mekanizmasının yeterli performansı gösterebilmesi için doğal frekansının yüksek olması gerekir. Elektromekanik supap mekanizmalarında, supabın hareket profili sinüs fonksiyonuna benzemekte ve sistemin mekanik parametrelerine bağlı kalmaktadır. Supabın hareket zamanının bu harmonik salınım hareketinin yarım periyoduna eşit olduğu gösterilebilir (Giglio, 2001; Giglio, 2002).

$$t_c = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\sqrt{K/m}} \quad (1)$$

Burada; m: toplam hareketli kütle (kg) ve K: toplam yay katsayısıdır (N/m).

Sinüs fonksiyonuna bağlı olarak supabın hareket miktarı

$$x = \frac{x_h}{2} \left(\left(\sin \left(\frac{t}{t_c} - \frac{1}{2} \right) \pi \right) + 1 \right) \quad (2)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; x_h : supabın maksimum hareket mesafesidir. Supabın hareket zamanı (t_c) ideal olarak sistemin mekanik karakteristiğine bağlı iken supabın hareket açısı, θ_c motorun devrine, N bağlıdır.

$$\theta_c = 6Nt_c \quad (3)$$

Elektromekanik supap mekanizmalarında, mıknatıs devresinin sağladığı kuvvetin faydalı kısmı bobin ile disk şeklindeki hareketli eleman arasında kalan hava aralığı ile denetlenmektedir. Hareketli eleman üzerine mıknatıs devresinin uyguladığı mıknatıs çekim kuvveti (Roters, 1941)

$$F_m = \frac{z B_h^2 A}{2 \mu} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, B_h : hava aralığındaki mıknatıs akısı yoğunluğu (Wb/m^2), A: etkin kesit alanı (m^2), μ : hava aralığı geçirgenliği ($4\pi 10^{-7}$) ve z: hava aralığı sayısı olup ele alınan mıknatıs devresi için ikidir. Yayların hareketli eleman üzerine uyguladığı yay kuvveti

$$F_{yay} = -K \left(\frac{x_h}{2} - x \right) \quad (5)$$

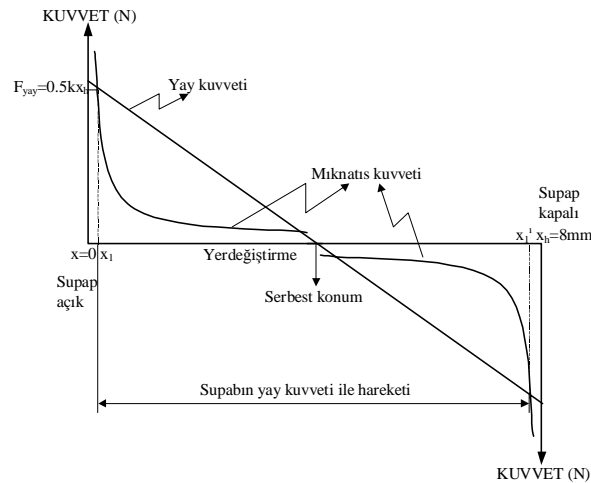
dir. Burada; x: hareketli elemanın hareket mesafesidir. Disk tipi mıknatıs devresinde hava aralığı mesafesi azaldıkça yay kuvveti doğrusal biçimde artarken, mıknatıs kuvveti doğrusal olmayan biçimde artmaktadır (Şekil 2). Şekil 2'den görüldüğü gibi supap x_1-x_1' aralığında yay kuvveti yardımıyla hareket etmekte, mıknatıs kuvveti bu noktalardan sonra devreye girmektedir.

Elektromekanik supap mekanizması elektriksel ve mekaniksel alt sistemlerinden oluşmuş olup bu iki alt sistem mıknatıs alt sistemi ile eşleşerek bütünleşir. Böyle bir sistemin dinamik karakteristiklerini iki temel bağıntı yönlendirir (Roters, 1941). Bunlar;

i) Elektro-mıknatıs bağıntı: Bir bobinden ibaret bir elektro-mıknatıs devresine Kirchhoff yasası uygulanırsa

$$e(t) = Ri(t) + \frac{d(N\phi)}{dt} \quad (6)$$

elde edilir. Burada; e: sisteme giriş olarak verilen gerilim (V), R: bobin direnci (Ω), N: sarım sayısıdır.



Şekil 2:
Elektromekanik supap mekanizmalarında kuvvet değişimleri

Bu çalışmada disk tipi mıknatis devresi iki farklı elektromekanik supap mekanizması tasarımına uygulanmıştır. Bu tasarımlardan birinde sistemdeki yaylar mıknatis devresinin dışında kullanılmış ve Model 1 olarak adlandırılmıştır. Diğer tasarımda ise yaylar mıknatis devresinin içine yerleştirilmiş ve Model 2 olarak adlandırılmıştır (Şekil 3). Model 2’de yaylar mıknatis devresinin içinde kullanıldığından bağlantı elemanları devre dışı kalmış dolayısıyla hareketli kütle ve cevap süresi azaltılmıştır. Her iki modelde de karşılaştırma açısından mıknatis devresi boyutları sabit tutulmuş yalnızca mıknatis devresinin iç kutbuna açılan delik yarıçapları değiştirilmiştir. Ele alınan her iki model Şekil 3’te gösterilmektedir.

Elektromekanik supap mekanizmasının dinamik karakteristikleri (4),(5),(6) ve (7) nolu denklemler yardımıyla oluşturulan ve Şekil 4’te verilen MATLAB/Simulink modeli ile elde edilmiştir (Şefkat, 2002).

2.2. Elektromekanik Supap Mekanizmalarında Tasarım Parametreleri

Bu çalışmada mıknatis devresine açılan delik yarı çapının, silindir içi basınç kuvveti, yay katsayısı, disk kalınlığı, tel çapı, elektriksel giriş enerjisi, tutma akımı, denge konumu ve malzemenin elektromekanik supap mekanizması üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.2.1. Mıknatis Devresinin Delik Yarıçapı (r_0)

Elektromekanik supap mekanizması için ele alınan her iki modelde de uygulama açısından ideal yapıdaki disk tipi mıknatis devresinin iç kutbuna delik açılmıştır. Model 1’de delik çapı hareketli elemanın bağlantı kolunun geçebileceği çapta iken, Model 2’de delik çapı sistemde kullanılan yayın dış çapı kadardır. Dolayısıyla Model 1’de delik yarıçapı Model 2’deki delik yarıçapından daha küçük olduğundan Model 1’de mıknatis çekim kuvveti daha büyük değerlere çıkmaktadır.

Mıknatis devrelerinde mıknatis çekim kuvveti (4) nolu ifadeden de görüldüğü gibi mıknatis devresinin etkin kesit alanı, A ile orantılıdır. Etkin kesit alanı

$$A=\pi(r_1^2-r_0^2)=\pi r_1^2(1-(r_0/r_1)^2) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada r_1 : iç kutup dış yarıçapı ve r_0 : delik yarıçapıdır. Bu ifadeden de görüldüğü gibi r_0/r_1 oranı arttıkça etkin kesit alanı azalacak ve buna paralel olarak aynı boyutlardaki mıknatis devresinde elde edilebilecek mıknatis kuvveti düşecektir. Model 1’de $r_0/r_1=0.1875$, Model 2’de ise $r_0/r_1=0.4375$ ’tir. Bu oranlara göre etkin kesit alanı ve mıknatis kuvvetindeki kayıp Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1’den görüldüğü gibi Model 1’de alan kaybı %3.5 iken mıknatis kuvveti kaybı %3.4’tür. Buna karşılık Model 2’de alan kaybı %6.7 ve kuvvet kaybı %19’dur. r_0 yarıçapı arttıkça mıknatis kuvveti kaybı önemli oranda artmaktadır. Elektromekanik supap mekanizmalarında gerekli mıknatis kuvvetine göre bu oran dikkate alınarak boyutlandırma yapılmalıdır.

Tablo 1.

Delik yarıçapına göre alan ve mıknatis kuvveti kaybı

| r_0/r_1 | % Alan kaybı | % Mık. kuvveti kaybı |
|------------------|--------------|----------------------|
| 0.1875 (Model 1) | 3.5 | 3.4 |
| 0.4375 (Model 2) | 6.7 | 19 |

2.2.2. Silindir İçi Basınç Kuvveti (F_{sil})

Elektromekanik supap mekanizmalarında, mıknatis çekim kuvveti yay kuvveti ve diğer karşı kuvvetleri yenebilecek büyüklükte olmalıdır. Gerekli mıknatis çekim kuvvetini sağlayabilecek bir mıknatis devresinin ön tasarımında esas olan hareketli elemanın kesit alanını belirlemektir.

Özellikle egzoz supabı için elektromekanik supap mekanizması tasarımında silindir içi basıncının etkisi çok büyüktür. Silindir içi basıncı supap harekete başlayana kadar supap üzerinde harekete karşı yönde kuvvet uygular. Ancak supabın harekete başlamasıyla birlikte egzoz gazları silindiri terk etmeye başlayacağından supap üzerine etki eden basınç kuvvetinin hızlı bir düşüş göstermesi beklenir. Dolayısıyla supabın açılmaya başlaması yay kuvvetinin supap üzerine etki eden basınç kuvvetini yenmesi ile mümkün olmaktadır. Buna göre motorun yapısına bağlı olarak silindir içi basıncı arttıkça elektromekanik supapta kullanılacak yayların yay katsayılarının da o oranda artması gerekir. Supap açılır açılmaz gaz basıncı düşer-

ceğinden basınç kuvvetinin etkisinin de hemen ortadan kalkması beklenir. Tablo 2’de silindir içi basınç değişimine karşılık gerekli yay kuvvetini sağlayacak yay katsayıları ve mıknatıs devresinin dış çapının değişimi gösterilmiştir. Bu değerler yaklaşık ve statik durum esas alınarak belirlenmiş, sürtünme kuvvetleri ihmal edilmiştir.

Tablo 2.
Silindir içi basıncına göre yay katsayısı ve elektromekanik supap mekanizmasının dış çap değişimi

| P_{sil} (bar) | F_{sil} (N) | k (N/mm) | F_{yay} (N) | $D_{dış}$ (mm) |
|-----------------|---------------|------------|---------------|----------------|
| 1 | 75 | 10 | 80 | 24 |
| 2 | 145 | 20 | 160 | 28 |
| 3 | 220 | 30 | 240 | 31 |
| 4 | 300 | 40 | 320 | 34 |
| 5 | 350 | 45 | 360 | 35 |
| 6 | 430 | 55 | 440 | 36 |

Tablo 2’den görüldüğü gibi silindir içi basıncının artması, supap üzerine etki eden gaz kuvvetlerini bu gaz kuvvetlerini yenmek için gerekli yay katsayısını ve dolayısıyla da yay kuvvetlerini arttırmaktadır. Yay kuvvetinin artması da bu kuvveti yenmek için gerekli mıknatıs kuvvetini sağlayacak mıknatıs devresinin boyutlarını büyütecektir. Dolayısıyla elektromekanik supap mekanizması tasarımında kullanılacak motora göre maksimum silindir içi basıncı bilinmeli, yay katsayısı ve mıknatıs devresi boyutları buna göre belirlenmelidir.

2.2.3. Yay Katsayısı (k)

Elektromekanik supap mekanizmalarında cevap süresini kısaltmanın bir yolu sistemde kullanılan yayların yay katsayılarını arttırmaktır. Ancak yay katsayısı çok fazla arttırılırsa cevap süresi çok kısalmayacağından bu süre zarfında mıknatıs devresinde yeterli mıknatıs kuvveti elde edilmesi kritik olabilir. Bunun sonucunda mıknatıs devresi hareketli elemanı tutamaz ve hareketli eleman ters yönde harekete başlar. Hareketli elemanın ters yönde hareketi sırasında mıknatıs devresinde yeterli mıknatıs kuvveti oluşursa mıknatıs devresi hareketli elemanı çeker, aksi halde hareketli eleman salınım hareketi yaparak denge konumuna ulaşır. Bu durumda güvenilir bir supap performansı sağlamak için mıknatıs devresinin boyutlarının büyük tutulması gerekir. Mıknatıs devresinin boyutlarının arttırılması ise disk şeklindeki hareketli elemanın boyutlarını ve kütlelerini arttırır. Bu nedenle yay katsayısının belli bir değerinden sonra cevap süresi kısalamaz.

Mıknatıs devresi boyutları ve hareketli kütle sabit tutulduğunda yay katsayısının belli bir değere kadar arttırılması sistemin cevap süresini kısaltır. Bu nedenle elektromekanik supap mekanizması tasarımında öncelikle yay katsayısı belirlenmeli, mıknatıs devresi boyutları bu yay katsayısına göre hesaplanmalıdır. Dolayısıyla mıknatıs devresi boyutları ve yay katsayısı uyumlu olmalıdır.

Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizmasının tasarımında en uygun yay katsayısı 65 N/mm olarak belirlenmiştir. Çeşitli yay katsayılarına bağlı olarak, yay katsayısının doğal frekans, cevap süresi ve çarpma hız üzerindeki etkisi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’ten görüldüğü gibi her iki modelde de yay katsayısı 65 N/mm olarak referans alındığında, yay katsayısındaki 5 N/mm’lik artış doğal frekansı % 4 oranında arttırmakta, cevap süresini % 3 oranında azaltmaktadır. Yay katsayısı 5 N/mm azaltıldığında ise doğal frekans % 4 oranında azalmakta cevap süresi ise % 3 oranında artmaktadır. Benzer şekilde yay katsayısı artarken çarpma hızı azalmakta, yay katsayısı azalırken çarpma hızı artmaktadır. Şekil 5’te yay katsayısının dinamik davranış üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Şekil 5’te her iki model için hız değişiminden görüldüğü gibi yay katsayısı 70N/mm olduğunda küçük bir sıçrama hareketi meydana gelmektedir. Yay katsayısı arttığında bu sıçramanın artacağı ve belli bir değerden sonra hareketli elemanın sürekli salınıma geçeceği aşikardır. Bu nedenle yay katsayısı 70 N/mm’den büyük seçildiğinde güvenilir bir supap performansı sağlanamayacaktır.

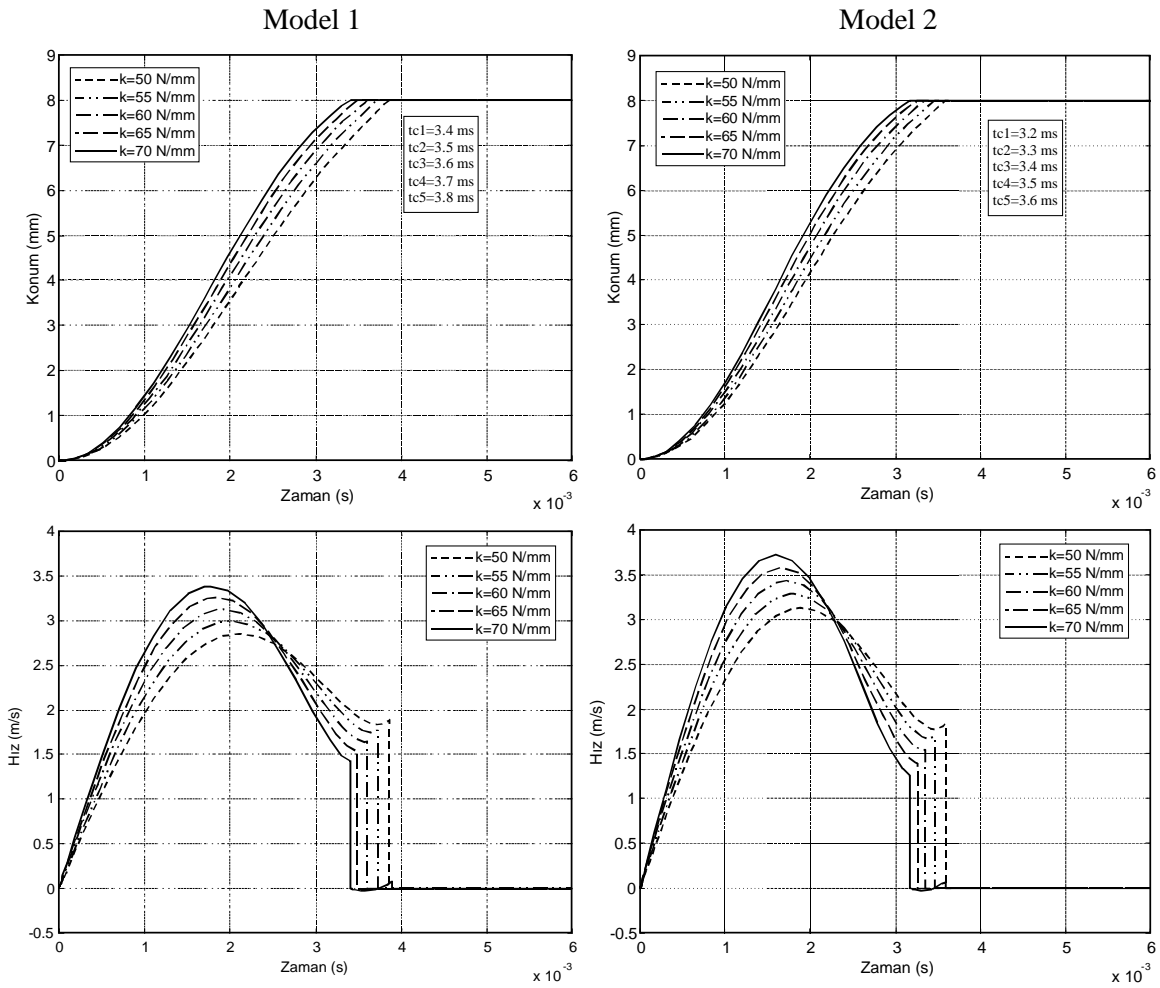
Tablo 3.
Yay katsayısının etkisi

Model 1 (m=180 g)

| Yay katsayısı (N/mm) | Doğal frekans | | Cevap süresi | | Çarpma hızı | |
|-------------------------|---------------|-----|--------------|-----|-------------|-----|
| | rad/s | % | ms | % | m/s | % |
| 70 | 882 | 104 | 3.4 | 97 | 1.42 | 93 |
| 65 | 850 | 100 | 3.5 | 100 | 1.53 | 100 |
| 60 | 816 | 96 | 3.6 | 103 | 1.64 | 107 |
| 55 | 782 | 92 | 3.7 | 106 | 1.76 | 115 |
| 50 | 745 | 88 | 3.8 | 109 | 1.88 | 123 |

Model 2 (m=147 g)

| Yay katsayısı (N/mm) | Doğal frekans | | Cevap süresi | | Çarpma hızı | |
|-------------------------|---------------|-----|--------------|-----|-------------|-----|
| | rad/s | % | ms | % | m/s | % |
| 70 | 976 | 104 | 3.2 | 97 | 1.25 | 90 |
| 65 | 940 | 100 | 3.3 | 100 | 1.39 | 100 |
| 60 | 904 | 96 | 3.4 | 103 | 1.54 | 111 |
| 55 | 865 | 92 | 3.5 | 106 | 1.68 | 121 |
| 50 | 825 | 88 | 3.6 | 109 | 1.83 | 132 |



Şekil 5:
Yay katsayısının dinamik davranış üzerindeki etkisi

2.2.4. Disk Kalınlığı (w)

Disk tipi mıknatıs devresinde disk şeklindeki hareketli elemanın boyutları mıknatıs devresine bağlı olarak belirlenir. Mıknatıs devresinin boyutları arttırıldığında diskin boyutları dolayısıyla da kütlesi artar. Elektromekanik supap mekanizmalarında doğal frekansı arttırmanın en iyi yolu (1) nolu ifadeden de görüldüğü gibi belli bir yay katsayısı için boyutları belirlenen mıknatıs devresine göre kütleyi azaltma yoluna gitmektir. Elektromekanik supap mekanizmalarında, hareketli kütle büyük bir kısmını disk kütlesi teşkil etmektedir. Disk kütlesi azaltılarak toplam hareketli kütle azaltılabilir. Mıknatıs devresi boyutları belirlendiğinde diskin boyutları da belirlenmiş olur. Diskin çapı mıknatıs devresinin dış çapı kadardır ve değiştirilemez. Toplam hareketli kütle disk kalınlığının inceltilmesi ile azaltılabilir. Ancak diskin aşırı inceltilmesi saçaklanmadan ortaya çıkabilecek mıknatıs akısı kayıplarını arttıracığından en uygun disk kalınlığının belirlenmesi gerekir.

Elektromekanik supap mekanizmasında ele alınan her iki tasarımda da en uygun disk kalınlığı 6 mm olarak belirlenmiştir. Bu disk kalınlığında toplam hareketli kütle Model 1’de 180 g iken Model 2’de 147 g’dır. Her iki yapıda da diskin 1 mm’sinin kalınlığı yaklaşık 16.5 g’dır. Bu değer Model 1’de toplam hareketli kütle için yaklaşık %9’u iken, Model 2’de yaklaşık %11’idir. Dolayısıyla disk kalınlığının 1 mm dahi inceltilmesi doğal frekansı ve cevap süresini etkilemektedir. Disk kalınlığının hareketli kütle, doğal frekans ve cevap süresi üzerindeki etkisi iki farklı model için Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4.
Disk kalınlığının etkisi

Model 1 (k=65 N/mm)

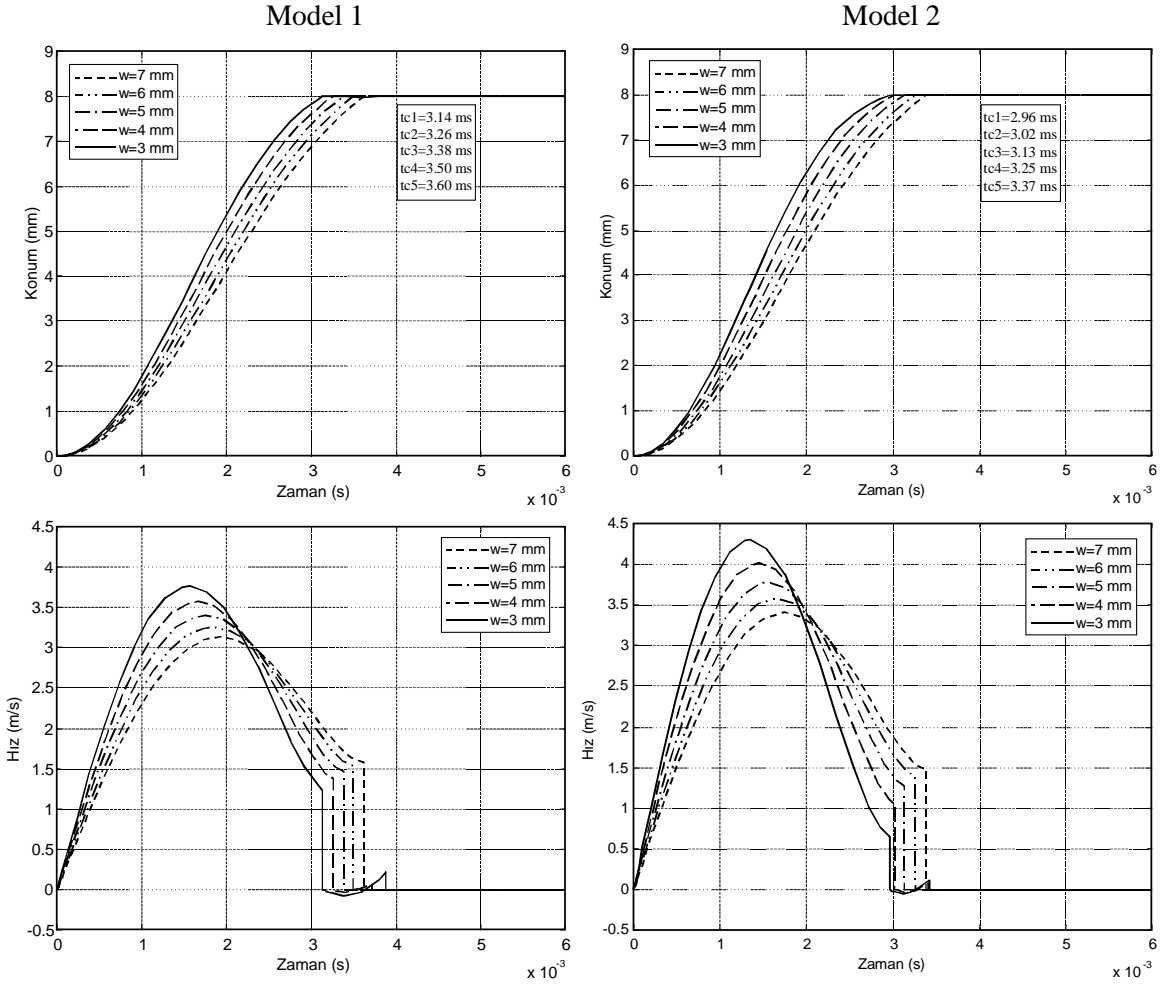
| Disk kalınlığı (mm) | Toplam hareketli kütle | | Doğal frekans | | Cevap süresi | |
|---------------------|------------------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|
| | g | % | rad/s | % | ms | % |
| 7 | 196.5 | 108 | 814 | 96 | 3.61 | 103 |
| 6 | 180 | 100 | 850 | 100 | 3.49 | 100 |
| 5 | 163.5 | 91 | 890 | 105 | 3.38 | 97 |
| 4 | 147 | 82 | 937 | 110 | 3.26 | 93 |
| 3 | 130.5 | 73 | 992 | 117 | 3.14 | 90 |

Model 2 (k=65 N/mm)

| Disk kalınlığı (mm) | Toplam hareketli kütle | | Doğal frekans | | Cevap süresi | |
|---------------------|------------------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|
| | g | % | rad/s | % | ms | % |
| 7 | 163.5 | 111 | 893 | 95 | 3.37 | 104 |
| 6 | 147 | 100 | 940 | 100 | 3.25 | 100 |
| 5 | 130.5 | 89 | 996 | 106 | 3.13 | 96 |
| 4 | 114 | 78 | 1063 | 113 | 3.02 | 93 |
| 3 | 98.5 | 67 | 1146 | 122 | 2.96 | 91 |

Tablo 4’ten görüldüğü gibi her iki modelde de disk kalınlığı azaldıkça hareketli kütle azalmaktadır. Belli bir yay katsayısında (k=65N/mm) disk kalınlığı azaldıkça doğal frekans artmakta, buna bağlı olarak da supabın cevap süresi kısalmaktadır. Disk kalınlığı 1 mm arttırıldığında Model 1’de hareketli kütle % 8 oranında artarken, doğal frekans % 4 oranında azalmakta, cevap süresi % 3 oranında artmaktadır. Yine aynı yapıda disk kalınlığı 1 mm inceltildiğinde hareketli kütle % 9 oranında azalmakta, doğal frekans % 5 oranında artmakta ve cevap süresi % 3 oranında azalmaktadır. Benzer oranlar Model 2 için de geçerlidir.

Disk kalınlığı değişimine bağlı olarak elektromekanik supap mekanizmasının dinamik davranışının değişimi iki farklı model için Şekil 6’da gösterilmektedir. Her iki modelde de disk kalınlığı azaldıkça sistemin cevap süresi ve çarpma hızı azalmaktadır. Şekil 6’dan görüldüğü gibi her iki modelde de disk kalınlığı 3 mm olduğunda cevap süresi çok kısalmakta, bu süre zarfında mıknatıs devresinde yeterli mıknatıs kuvveti elde edilemediği için supap hareketini tamamladığı anda bir sıçrama meydana gelmektedir. Disk kalınlığı sistemin dinamik davranış üzerinde bu derece önemli olduğundan, elektromekanik supap mekanizması tasarımında üzerinde önemle durulması gereken bir konudur ve mıknatıs devresinin boyutlarına göre optimum olarak belirlenmesi gerekir.



Şekil 6:
Disk kalınlığının dinamik davranış üzerindeki etkisi

2.2.5. Tel Çapı (d)

Elektromekanik supap mekanizmalarında supabın hareket süresi çok kısadır (3-3.5 ms). Çekme mıknatıs devresinin belli bir mesafeden hareketli elemanı çekebilmesi ve belli bir tutma aralığı mesafesinde hareketli elemanı tutabilmesi için bu süre zarfında akımın ve dolayısıyla da mıknatıs kuvvetinin yeterli seviyeye ulaşması gerekir. Mıknatıs devresinde cevap süresince yeterli mıknatıs kuvvetinin sağlanması için akım yeterli seviyeye ulaşmalıdır. Akım seviyesi sistemde kullanılan bobinin direncine bağlıdır. Tel çapı arttıkça bobinin direnci azalacağından ($R = \rho l / A$) bobinden geçen akım daha yüksek değerlere çıkar. Akımın daha yüksek değerlere çıkması cevap süresini kısaltan ancak çarpma hızını arttıran bir unsurdur. Ayrıca daha yüksek seviyelerdeki akım sistemdeki enerji tüketimini ve bobinin ısınmasını arttıracaktır. Dolayısıyla güvenilir bir supap performansı sağlayacak şekilde optimum tel çapının belirlenmesi gerekir. Tel çapına bağlı olarak parametrelerin değişimi Tablo 5'te verilmiştir.

2.2.6. Elektriksel Giriş Enerjisi (e)

Elektromekanik supap mekanizmalarında hareketli elemanın hareketinin büyük bir kısmı yayların depoladığı enerji ile tamamlansa da, mıknatıs kuvveti hareketin son evresinde devreye girerek hareketin sonlanmasına yardımcı olur. Belli bir hava aralığı mesafesi referans alındığında mıknatıs kuvvetini arttırmanın en iyi yolu bobinlere uygulanan elektrik enerjisini arttırmaktır. Mıknatıs kuvveti arttıkça hareketli eleman daha kısa sürede hareketini tamamlayabilmektedir.

Tablo 5.
Tel çapının etkisi

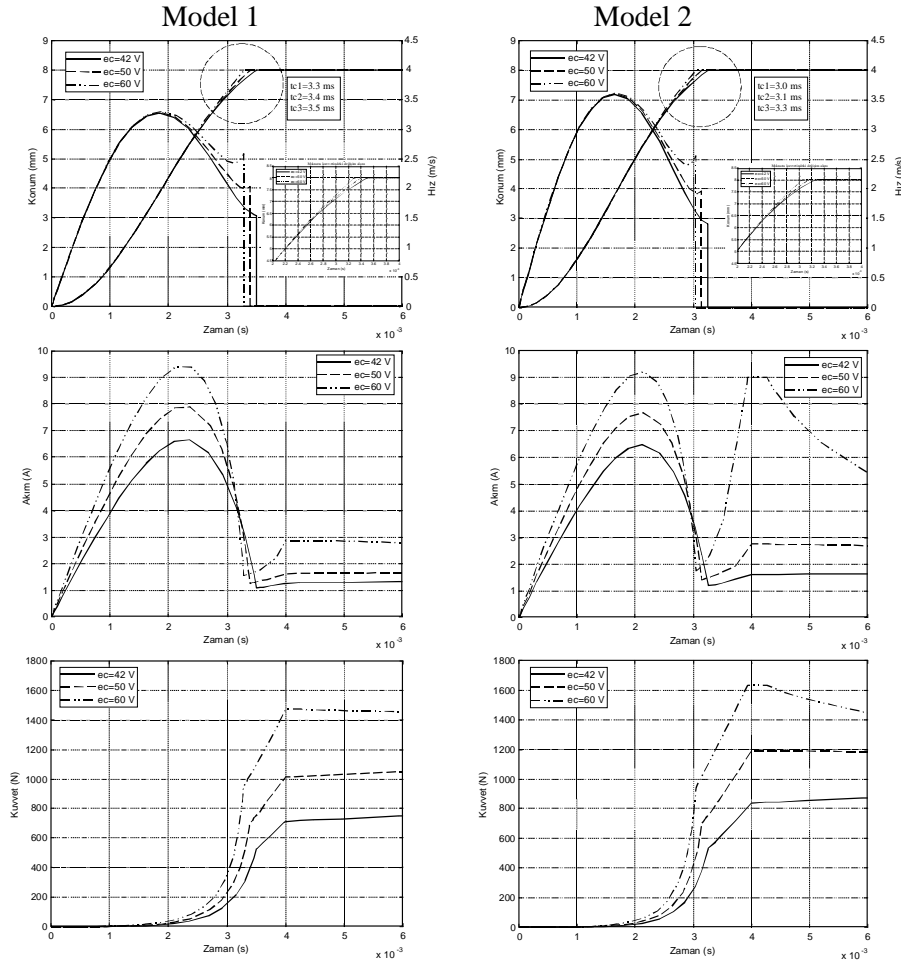
Model 1

| Tel çapı mm | Sarımlar sayısı - | Direnç Ω | Max. akım | | Cevap süresi | | Çarpma hızı | |
|----------------|----------------------|--------------------|-----------|-----|--------------|-----|-------------|-----|
| | | | A | % | ms | % | m/s | % |
| 0.50 | 155 | 1.5744 | 6.6 | 100 | 3.5 | 100 | 1.53 | 100 |
| 0.56 | 127 | 1.0309 | 10 | 151 | 3.4 | 97 | 2.10 | 137 |
| 0.63 | 102 | 0.6542 | 15.4 | 233 | 3.2 | 91 | 2.79 | 182 |

Model 2

| Tel çapı mm | Sarımlar sayısı - | Direnç Ω | Max. akım | | Cevap süresi | | Çarpma hızı | |
|----------------|----------------------|--------------------|-----------|-----|--------------|-----|-------------|-----|
| | | | A | % | ms | % | m/s | % |
| 0.50 | 155 | 1.5744 | 6.48 | 100 | 3.2 | 100 | 1.40 | 100 |
| 0.56 | 127 | 1.0309 | 9.65 | 149 | 3.1 | 97 | 2.04 | 146 |
| 0.63 | 102 | 0.6542 | 15 | 231 | 3.0 | 94 | 2.79 | 199 |

Şekil 7’de her iki model için uygulanan elektrik enerjisinin sistemin dinamik davranışı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Grafikler kademeli gerilim uygulamak suretiyle elde edilmiştir. Her iki modelde de bobinlere uygulanan elektrik enerjisi arttıkça sistemin cevap süresi kısalmakta, hareketli elemanın çarpma hızı artmakta ve bobinlerdeki akım daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Sistemde akımın daha yüksek değerlere çıkması mıknatıs kuvvetini artırırken enerji tüketiminin ve bobinlerdeki ısınma probleminin artmasına neden olur. Dolayısıyla elektromekanik supap mekanizması tasarımında sisteme uygulanacak elektrik enerjisi bu kriterler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Şekil 7’de konum eğrisinden de görüldüğü gibi yay enerjisinin etkin olduğu durumda elektrik enerjisindeki artışın konum değişiminde herhangi bir etkisi olmamaktadır. Elektrik enerjisindeki artış ancak mıknatıs kuvvetinin etkin olduğu alanda görülmektedir.

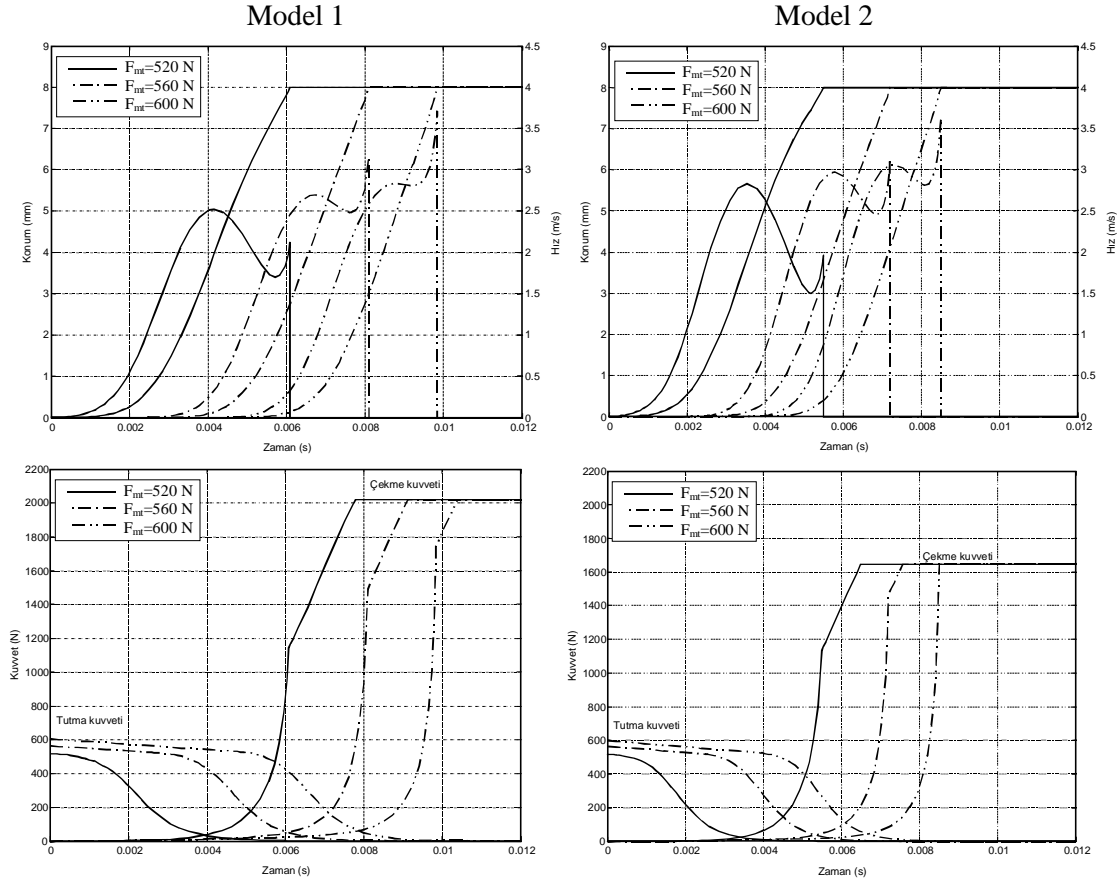


Şekil 7:
Bobinlere uygulanan elektrik enerjisinin dinamik davranış üzerindeki etkisi

2.2.7. Tutma Akımı (i_t)

Sistemin dinamik davranışı bir taraftan yay kuvveti, mıknatıs kuvveti ve basınç kuvveti etkilerine bağlı iken, diğer taraftan da anahtarlama anında kesime sokulan mıknatıs devresindeki tutma akımı ve dolayısıyla da artık mıknatıs kuvvetine de bağlı kalır. Kesime sokulan mıknatıs devresindeki akım düşüşü ani olmayıp belli bir zaman gecikmesine bağlıdır. Diğer taraftan akım tamamen sıfırlansa dahi mıknatıs devresinde az da olsa bir miktar artık mıknatıslanma devam eder. Bu da özellikle ilk başlama hareketini yavaşlatan bir unsurdur. Bu nedenle gerekli mıknatıs çekim kuvvetinin belirlenmesinde bu etkilerin de göz önünde bulundurulması ve tasarımın buna göre yapılması gerekir.

Şekil 8’de tutma akımının cevap hızı üzerindeki etkisi her iki model için verilmiştir. Şekil 8’den görüldüğü gibi kesime sokulan mıknatıs devresinde tutma akımı veya tutma mıknatıs kuvveti arttıkça sistemin cevap süresi artmaktadır. Burada tutma akımı, kesime sokulan mıknatıs devresinde kesime sokulmadan önce yay kuvvetini yenmek için gerekli mıknatıs kuvvetini sağlayan akım değeridir. İletime sokulan mıknatıs devresi içinde akım artışı nasıl ki ani olmazsa, kesime sokulan mıknatıs devresi içindeki akım düşümü de ani olmamakta ve buna bağlı olarak ta tutucu mıknatıs kuvveti de ani olarak düşmeyeceğinden bir zaman gecikmesine neden olmaktadır. Pratikte bu etki ters yönde akım uygulamak suretiyle giderilebilmektedir.



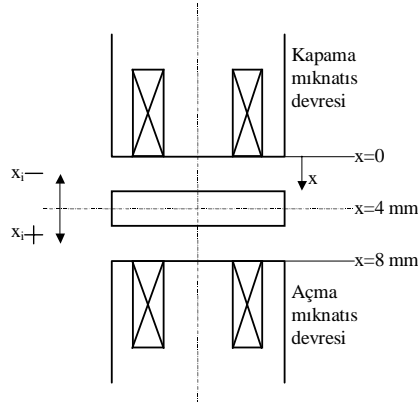
Şekil 8:
Tutma akımının sistemin dinamik davranışı üzerindeki etkisi

2.2.8. Denge Konumu (x_i)

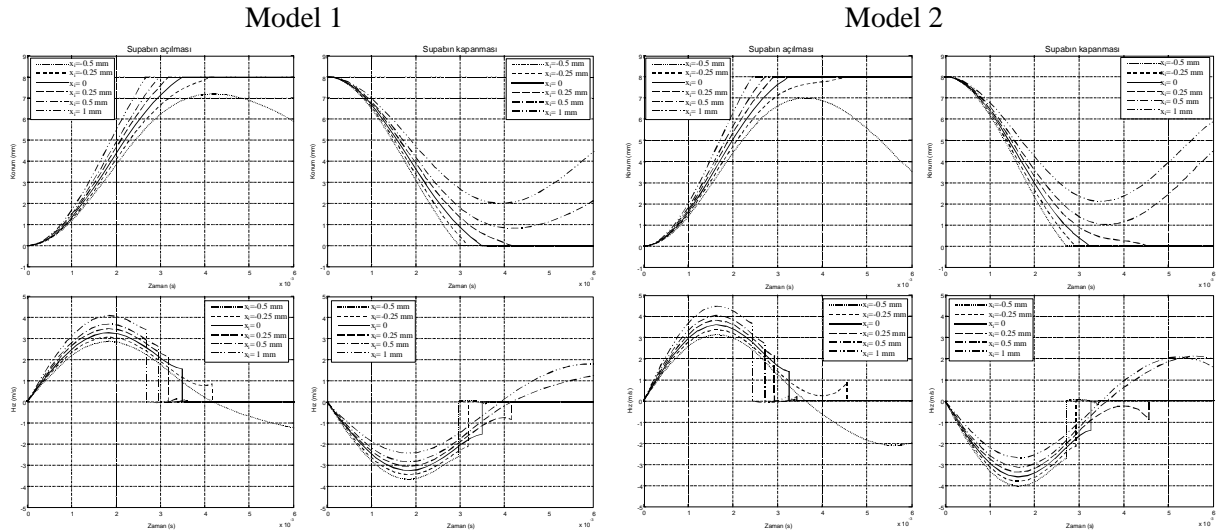
Motor durdurulduğunda elektromekanik supap mekanizmasındaki bobinler enerjiden kesilir ve hareketli eleman yay kuvveti yardımıyla denge konumuna döner. Bu sistemde supap denge halinde yarı açık konumda bulunur.

Elektromekanik supap mekanizmalarında supap hareketi yayların potansiyel enerjisine bağlıdır. Bunun yanı sıra supabın açılma ve kapanma hızı hareketli elemanın denge konumundan da etkilenir. Hareketli elemanın denge konumu mıknatıs kuvveti ve karşı kuvvetlere bağlı olarak sistemdeki yayların öngergi kuvvetleri yardımıyla ayarlanabilir.

Şekil 9'dan görüldüğü gibi $x=0$ supabın tam kapalı olduğu konuma, $x=8$ mm supabın tam açık olduğu konuma karşılık gelmektedir. Şekil 10'da hareketli elemanın denge konumunun supap hareketi ve çarpma hızı üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Ele alınan her iki modelde de yayların yay katsayısı 65 N/mm olarak belirlenmiştir. Supabın hareketi $x=3.5;3.75;4;4.25;4.5;5$ mm'lik ($x_i=-0.5; -0.25;0;0.25;0.5;1$ mm) denge konumu için analiz edilmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü gibi her iki modelde de denge halindeki konum mesafesi arttıkça (disk açma mıknatıs devresine yaklaştıkça) supap daha erken açılmakta buna karşılık daha geç kapanmaktadır. Supabın hareket süresi kıaldıkça çarpma hızı artmaktadır. Ancak denge konumu orta noktadan uzaklaştıkça supap hareketinde problem ortaya çıkmaktadır. Örneğin, $x=3.5$ mm ($x_i=-0.5$ mm) olduğunda supap tam açık konuma geçmeden salınım hareketi yapmaktadır. Benzer şekilde $x=4.5;5$ mm ($x_i=0.5;1$ mm) olduğunda supap oldukça erken açılırken tam kapalı konuma geçememektedir. Elektromekanik supap mekanizmalarında denge konumu sistemin dinamik davranışı üzerinde bu derece önemli olduğundan, denge konumunun belirlenmesi de analiz edilmesi gereken diğer önemli bir konudur.



Şekil 9:
Hareketli elemanın konum değişimi



Şekil 10:
Denge konumunun supap hareketi üzerindeki etkisi

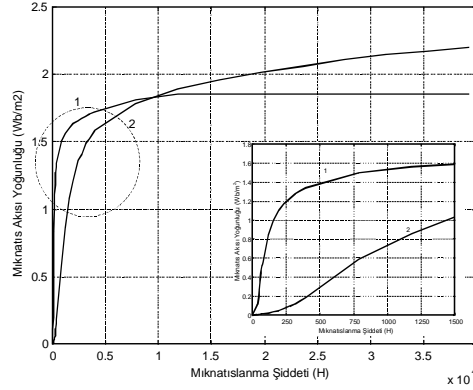
2.2.9. Malzeme

Elektromekanik supap mekanizmalarının statik ve dinamik karakteristikleri, sistemi oluşturan mıknatıs devrelerinin karakteristiklerine bağlıdır. Mıknatıs devresi malzemesinin mıknatıslanma özelliği ne kadar iyi ise sistemin performansı o oranda yüksek olur. Mıknatıs devresi malzemesinin mıknatıslanma karakteristiğini Mıknatıslanma Şiddeti (H [A/m])-Mıknatıs Akısı Yoğunluğu (B [Wb/m²]) grafiği temsil eder. Şekil 11'de mıknatıs akısı geçirgenliği farklı olan iki malzeme için B-H eğrileri verilmiştir.

Bir malzemenin ulaşabileceği maksimum mıknatıs akısı yoğunluğunun büyüklüğü tek başına o malzemenin mıknatıslanma özelliğinin iyi olduğunu göstermez. Malzemede ulaşılacak maksimum akı

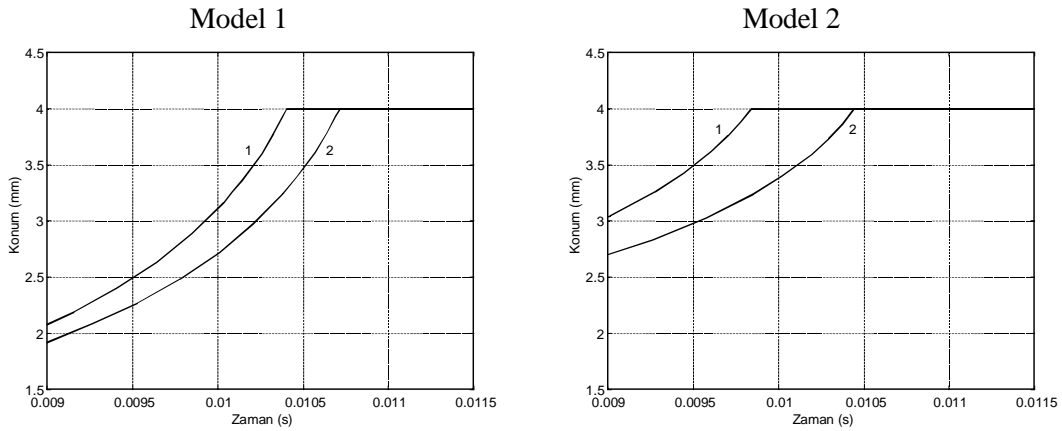
yoğunluğu kadar malzemenin mıknatıssal geçirgenliği de önemlidir. Mıknatıs geçirgenliği yüksek olan malzemede daha düşük mıknatıslanma şiddetinde daha büyük akı yoğunluğu değerine ulaşmak mümkündür. Bu durumda malzeme daha düşük elektrik enerjisi ile daha hızlı biçimde (kolay) mıknatıslanabilir. Şekil 11'den görüldüğü gibi 1 nolu malzemenin geçirgenliği daha yüksek iken 2 nolu malzemenin maksimum mıknatıs akısı yoğunluğu değeri daha yüksektir.

Elektromekanik supap mekanizmasının sürekli hareketinde mıknatıs kuvveti çok küçük hava aralıklarında devreye girdiğinden sistemin dinamik davranışında malzemenin mıknatıslanma özelliğinin çok fazla bir etkisi görülmez. Malzemenin mıknatıslanma özelliği motor çalıştırıldığında supabın ilk hareketinde etkilidir. Şekil 12'de görüldüğü gibi mıknatıs geçirgenliği yüksek olan 1 nolu malzemede supap daha kısa sürede açılırken, maksimum mıknatıs akısı yoğunluğu yüksek olan malzemede daha geç açılmaktadır.



Şekil 11:

Malzemelerin Mıknatıslanma Şiddeti-Mıknatıs Akısı Yoğunluğu karakteristikleri



Şekil 12:

Malzemenin supabın ilk hareketi üzerindeki etkisi

3. SONUÇ

Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizması için iki farklı model ele alınmış sistemin dinamik karakteristikleri MATLAB/Simulink'te hazırlanan bir program ile elde edilmiştir. Her iki model için sistemdeki tasarım parametrelerinin dinamik davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir. Model 2'de hareketli kütle azaldığından sistemin cevap süresi daha kısadır. Bu çalışmada sistemin cevap süresini kısaltmanın en iyi yolunun mıknatıs devresi boyutları ve yay katsayısını değiştirmeksizin hareketli kütle miktarında azaltma yapmak olduğu gösterilmiştir.

4. KAYNAKLAR

1. Giglio, V. Iorio, B., Police, G., Gaeta, A. di., (2001), Preliminary Experiences in the design of an Electromechanical Valve Actuator, *Internal Combustion Engine 2001 Congress*.

2. Giglio, V. Iorio, B., Police, G., Gaeta, A. di., (2001), Analysis of Advantages and of Problems of Electromechanical Valve Actuators, *Variable Valve Actuation 2002*, SAE 2002-01-1105.
3. Kamyş, Z., Yüksel, İ., Topçu, E. E., (2002), Bir Elektromekanik Supap Mekanizması Tasarımı, *OTEKON'02*, 300-307.
4. Kamyş, Z., Yüksel, İ. (2003), Elektromekanik Supap Mekanizması Tasarımı ve Tasarıma Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, *Mühendis ve Makine*, ISSN 1300-3402, Sayı 523, 14-27.
5. Park, S. H., Lee, J., Yoo, J., Kim, D., Park, K., Cho, Y., (2001), A Developing Process of Newly Developed Electromagnetic Valve Actuator - Effect of Design and Operating Parameters, *SAE. 02FFL-93*.
6. Park, S. H., Lee, J., Yoo, J., Kim, D., Park, K., (2003), Effects of Design and Operating Parameters on the Static and Dynamic Performance of an Electromagnetic Valve Actuator, *Journal of Automobile Engineering*, Vol.217, 193-201.
7. Park, S. H., Lee, J., Yoo, J., Kim, D. (2003), A study on the Design of Electromagnetic Valve Actuator for VVT Engine, *KSME International Journal*, Vol. 17, 357-369.
8. Pischinger, M. Salber, W., Staay, F. V. D., Baumgarten, H., Kemper, H., (2000), Benefits of the Electromechanical Valve Train in Vehicle Operation, *Variable Valve Actuation 2000*, SAE. 2000-01-1223, 43-53.
9. Roters, H. C., (1941), *Electromagnetic Devices*, John Wiley & Sons. Inc., 7th Edition, New York.
10. Straky, H., Isermann, R., Ortmann, R., Schöner, H. P., Wagner, B., (2001), Modellgestützter Entwurf einer robusten Aktoregelung für einen vollvariablen elektromechanischen Ventiltrieb, *3. Symposium Steuerungssysteme für den Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen*, Berlin.
11. Stubbs, A., (2000), *Modeling and Controller Design of an Electromagnetic Engine Valve*, M.Sc. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
12. Şefkat, G., (2002), Bir Elektromekanik Aygıtın Statik ve Dinamik Karakteristiğinin Araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, ISSN 1300-7009, Cilt 8, Sayı 3, 273-282.
13. Tai, C., Stubbs, A., Tsao, T. C., (2001), Modeling and Controller Design of an Electromagnetic Engine Valve, *Proceedings of the American Control Conference*, Arlington, 2890-2894.
14. Wang, Y., Stefanopoulou, A., Haghgoie, M., Kolmanovsky, I., Hammoud, M., (2000), Modeling of an Electromechanical Valve Actuator for a Camless Engine, *Proceedings AVEC 2000, 5 th Int. Symposium on Advanced Vehicle Control*, No 93.
15. Wang, Y., Megli, T., Haghgoie, M., (2002), Modeling and Control of Electromechanical Valve Actuator, *Variable Valve Actuation 2002*, SAE. 2002-01-1106.