

BASINÇLI HAVA MOTORLARINDA SUPAP MEKANİZMASI İÇİN ELEKTROMANYETİK EYLEYİCİ TASARIMI VE UYGULAMASI

Atilla KOCA, Ramazan BAYINDIR*, Haluk GÜNEŞ, M. Akif KUNT**, Selçuk SAKAR***

Otomotiv Eğitimi Anabilim Dalı, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, ANKARA

*Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, 06500, ANKARA

**Tavşanlı Meslek Yüksek Okulu, Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı/ KÜTAHYA

atikoca@gazi.edu.tr, bayindir@gazi.edu.tr, halukgunes@dumlupinar.edu.tr,

makifkunt@dumlupinar.edu.tr, sakar.selcuk@gmail.com

(Geliş/Received: 16.03.2010; Kabul/Accepted: 02.11.2010)

ÖZET

Bu çalışmada bir basınçlı hava motorundaki supap mekanizması için elektromanyetik eyleyici tasarımı yapılmıştır. Çalışmada, mekanik emme supap sistemi kaldırılmış yerine özel tasarlanmış elektromanyetik eyleyici yerleştirilmiştir. Basınçlı havanın silindirlere sevk edilmesini sağlayan elektromanyetik eyleyici, motorun devrine bağlı olarak uyartım sağlayan bir sürücü devre tarafından kontrol edilmektedir. Elektromanyetik eyleyicinin analitik ve sonlu elemanlar metodu (Ansoft Maxwell 2D) ile elde edilen tasarımına ait elektriksel ve manyetik büyüklükleri hesaplanmış, sonuçlar prototipin imal edilmesinde kullanılmıştır. Özel tasarım gereği elektromanyetik eyleyicinin istenen kuvveti yenmesine ek olarak belirlenen zaman aralığında tepki verebilmesi sağlanmıştır. Bunun için teorik bir yaklaşım dikkate alınmış, bu çerçevede sürekli simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve optimum tasarım ortaya konulmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre iletken kalınlığı ve armatür ağırlığının tepki süresi üzerine dikkate değer etkileri olduğu gözlenmiştir. Analitik metotlar, simülasyon sonuçları ve deneysel değerler ile oldukça uyum içerisindedir.

Anahtar kelimeler: Manyetik tasarım, Selenoid tasarımı, Elektromanyetik supap, hava motoru.

DESIGN AND APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC SOLENOID FOR VALVE MECHANISM ON COMPRESSED AIR ENGINES

ABSTRACT

In this study, electromagnetic solenoid has been designed for valve mechanism on a compressed air engine. Mechanical valve mechanism has been removed and a special designed electromagnetic solenoid has been placed. The solenoid that provides the transfer of compressed air to engine has been controlled by driving circuit related to the speed of the engine. Electrical and magnetic parameters of the solenoid designed with analytical and finite element method using Ansoft Maxwell 2D software, have been calculated and the simulation results have been compared with prototype. In addition, to overmatch of desirable force, it has been provided that solenoid reacted to defined time. Theoretical approach has been considered and the simulations have been repeated to provide optimum design of the solenoid. According to the simulation results, the wire diameter and the armature mass have a measurable effect on response time. Analytical methods and simulation results are compatible with prototype results.

Keywords: Magnetic design, Solenoid design, Electromagnetic valve, air engine

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geleneksel İçten Yanmalı Motorlar'da (İYM) emme sisteminin çalışması, emme supapları ve bu supaplara hareket veren kam mili, iticiler ve külbütör mekanizmaları ile sağlanmaktadır ve mekaniksel bir çalışmaya sahiptir. İki zamanlı motorlarda ise silindirik bloğu üzerine açılan portlar ile doldurma işlemi yapılmaktadır. Mekanik olarak çalışan sistemlerde silindirik içerisine alınan karışımın zamanlaması ve miktarı tam olarak kontrol altında tutulamamaktadır. Motorun çalışması için optimum zamanlar belirlenerek bu aralıkta çalışmaları temin edilmektedir. İYM'un basınçlı hava motorlarına dönüştürülmesi ile ortaya çıkan çalışmalarda sistemin kam mili supabı mekanizmaları ya ufak değişikliklerle korunmuş ya da tamamen yeni emme sistemler geliştirilmiştir [1-7]. Bu mekanizmaların kaldırılma fikri ilk olarak İYM'da olmuştur. Gazi üniversitesinin'de yapılan bir çalışmada, tek silindirik dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorun emme supaplarının istenilen zamanda açılıp kapatılabilmesi için elektromanyetik bir mekanizma hazırlanmış ve prototip yapılmıştır [8]. Yine benzer şekilde elektromanyetik olarak çalışan supapların üç farklı yöntemi incelenmiştir. Öncelikle hareketli bobin sabit mıknatis sonra hareketli mıknatis sabit bobin ve son olarak ta çalışmaların temeli olan sabit mıknatis ve bobin ile hareketli bir plancır sistemi incelenmiştir. Hareketli bobinin yapılması elektrik kablolarının sarılmasından dolayı sorunlara sahiptir. Hareketli mıknatis yapılması ise mıknatis mekanizmasının sürekli ters ivmelenmesi yüzünden çatlama ve aşırı yorgunluk sorunlarına sahiptir. Bu olumsuzlukların hareketli plancır sisteminde büyük ölçüde aşıldığı sonucuna varılmıştır [9]. Çalışmalarda genel problem motor yüksek devirlere çıktığında elektromanyetik eyleyicinin kararsızlaşmasıdır. Basınçlı hava motorlarında ilk olma özelliği taşıyan bu çalışmada amaç sınırlamalar dahilinde uygun elektromanyetik eyleyici tasarımı ortaya çıkarmaktır. Elektromanyetik eyleyicinin analitik ve sonlu elemanlar metodu (Ansoft Maxwell 2D) ile tahmin edilen tasarımın elektriksel ve manyetik büyüklükleri hesaplanmış, sonuçlar prototip ile karşılaştırılmıştır. Tepki süresinin hesaplanabilmesi için anlık simülasyonlar yapılmıştır.

2. ELEKTROMANYETİK EYLEYİCİNİN YAPISI (STRUCTURE OF ELECTROMAGNETIC SOLENOID)

Elektromanyetik eyleyicinin boyutlandırılmasında öncelikli olarak analitik bir yaklaşım dikkate alınmıştır. Manyetik devrelerdeki kuvvetlerin bulunması için zahiri yer değişim metodu kullanılır.

Tablo.1'de uygulaması yapılan elektromanyetik eyleyicinin boyutsal kavramları ve eşitliklerde kullanılan değişkenler sunulmuştur.

Tablo 1. Kullanılan değişkenler çizelgesi (Table of used variables)

Değişkenler	Açıklamalar	Birim
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği	--
N	Uyarım sargısının tur sayısı	--
A	Hava aralığının kesiti	m^2
x	Hava aralığının uzunluğu	m
g	Yan hava aralığının uzunluğu	m
L	Sargının endüktansı	H
R	Sargı direnci	Ω
ϕ	Halka akısı	Wb
j	Akım yoğunluğu	A/m^2
V	Uygulanan gerilim	V
f_{fld}	Manyetik kuvvet	N
i	Sargı akımı	A

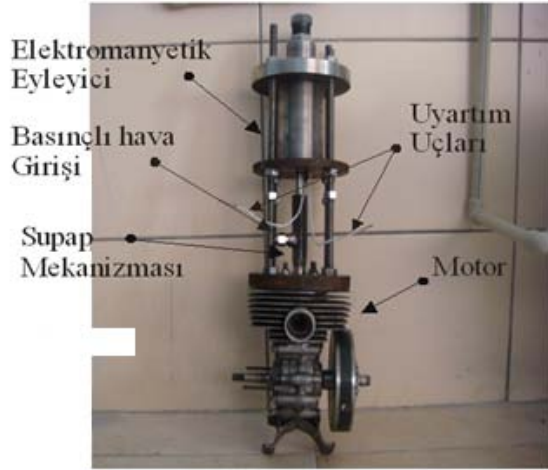
Silindirik koordinat sisteminde üç boyutlu uzay için kuvvet aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\vec{F} = - \left(\frac{\partial W}{\partial \rho} \vec{a}_\rho + \frac{1}{\rho} \frac{\partial W}{\partial \phi} \vec{a}_\phi + \frac{\partial W}{\partial z} \vec{a}_z \right) N \quad (1)$$

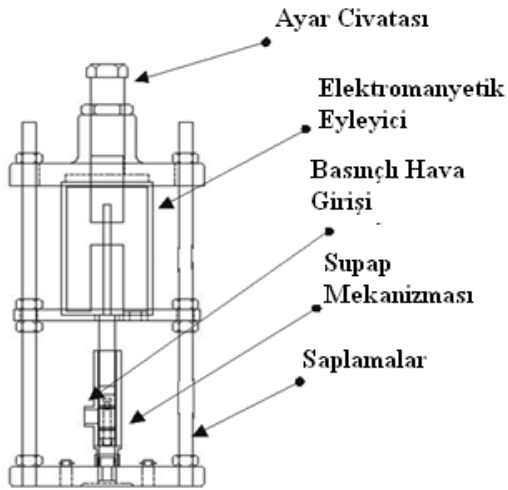
Eşitlik.1'de verilen temel ifade elektromanyetik eyleyiciye uyarlandığında tek boyutlu hareket yaptığından dolayı Eşitlik.2'deki gibi yazılabilir [10].

$$f_{fld} = - \frac{(Ni)^2 \mu_0 A}{2 \left[x + \frac{g}{2} \right]^2} N \quad (2)$$

Manyetik çekirdek sonsuz geçirgenlikte varsayıldığında Eşitlik.2 elektromanyetik eyleyicinin ölçüleri için bir çıkış noktası kabul edilebilir. Daha sonra ise yapılan statik manyetik simülasyonlar ile gerçek modele yaklaşımlar yapılabilir. Şekil.1a'da elektromanyetik eyleyici ile birlikte basınçlı hava motoru ve uygulaması yapılan sisteme ait genel görünüm verilmiştir. Şekil.1b'de ise oluşturulan eyleyici sisteminin 2 boyutlu çizimi sunulmuştur. Modelde görülen ayar civatası ile eyleyicinin hava aralığı değiştirilebilmekte böylece farklı çalışma durumlarında deneyler yapılabilmektedir. Ayrıca eyleyici yay sabiti değiştirilerek de eyleyicinin kuvvetini dikkate alan optimum çalışma pozisyonları kompanze edilebilmektedir.



(a) Prototip genel görünümü (General Aspect of Prototype)



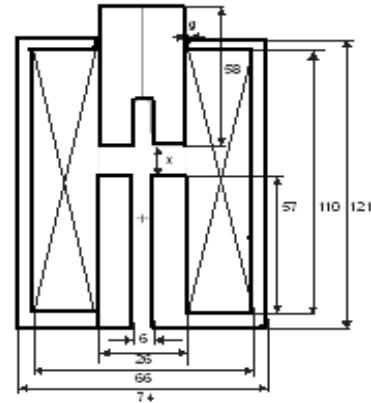
(b) Modelin 2 boyutlu görünümü (2D Aspect of Model)

Şekil 1. Uygulanmış sisteme ait genel görünüm (General Aspect of Using System)

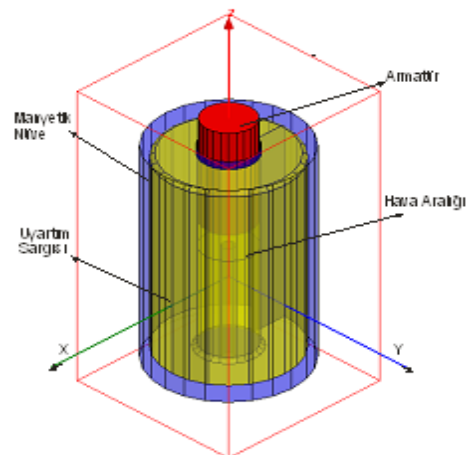
3. ELEKTROMANYETİK EYLEYİCİNİN ANALİTİK VE NÜMERİK HESAPLAMALARI (ANALYTICAL AND NUMERICAL CALCULATIONS OF ELECTROMAGNETIC SOLENOID)

Elektromanyetik eyleyicinin hareketi süresince konuma bağlı büyüklüklerin belirlenmesi için hem iki boyutlu hem de üç boyutlu manyetik alan analizleri yapılmıştır. Manyetik malzeme olarak Şekil.5'te verilen gerçek BH eğrisine sahip 1010 çeliği kullanılmıştır. Bu sayede manyetik alan analizlerinde gerçek malzemenin doyumu da dikkate alınabilmektedir. Ancak analitik yaklaşımlarda manyetik malzemenin geçirgenliği sonsuz kabul edilmiş sadece hava aralığındaki değerler dikkate alınmıştır. Şekil.2'de tasarımı yapılan modele ait 2 boyut (ölçüleri). Bu 2 boyutlu manyetik analizler çalışmada analizi görselleştirmek ve statik manyetik analiz yapmak için kullanılmıştır. Şekil.2a tasarımda ölçülendirme için

kullanılmıştır. Şekil.3b'de görülen modele uygun uyarım akımı verilerek (5500 Amper*turn) yeterli hava aralığında (14.5 mm) statik manyetik analizler yapılmış daha sonra ise hava aralığının (armatürün) değişimi de dikkate alınarak parametrik çözümler gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan analizleri sonucunda konuma bağlı endüktans ve kuvvet gibi elektriksel ve manyetik büyüklüklerin değişimi gözlenmiştir. Buradan alınan sonuçlar hem analitik hem de gerçek elektromanyetik eyleyici ile karşılaştırılmıştır. Elektromanyetik eyleyicinin tepki süresinin ölçülmesi için ise bobinin direnci ve eşdeğer devresi de dikkate alınarak geçici zaman analizleri yapılmıştır. Tepki süresinin kısaltılabilmesi için; $\tau=L/R$ eşitliği dikkate alınarak geçici zaman analizleri yapılmış ve optimum değerler elde edilmiştir. Simülasyonlar %1'lik hata oranında yapılmış ve yaklaşık 125000 civarında sonlu elemanı içermektedir.

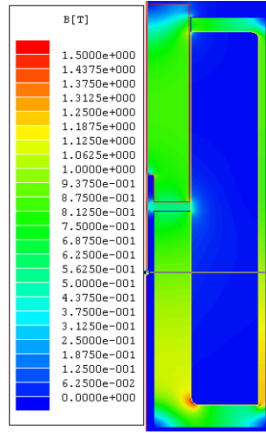


(a) 2D Tasarım Parametreleri ve Ölçüleri (mm) (2D Design Parameters and dimensions)

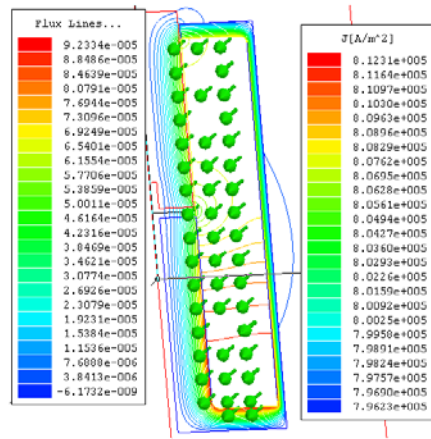


(b) 3D Model Genel Görünüşü (General aspect of 3D Model)

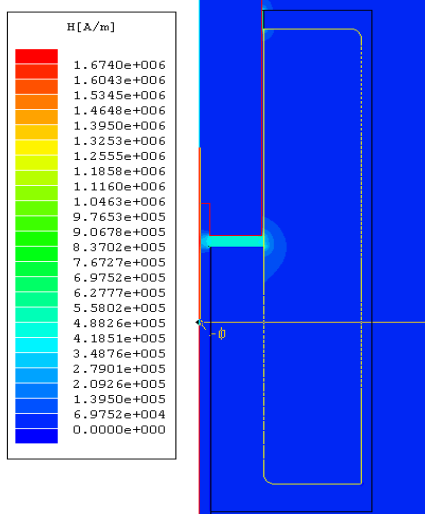
Şekil 2. Elektromanyetik eyleyicinin genel görünüşü (General Aspect of Electromagnetic Solenoid)



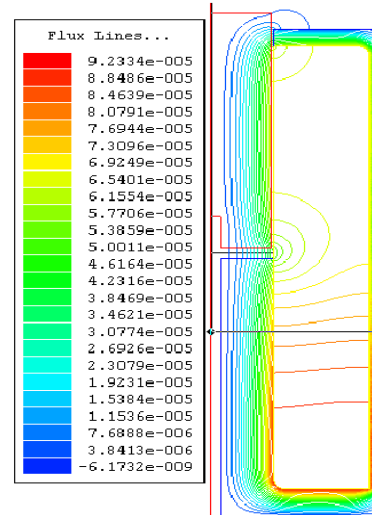
(a) Armatür ve Manyetik Nüve Akı Yoğunluğu (T)
(Armature and magnetic Core Magnetic Flux Density and Vectors)



(b) Uyarım Sargısı Akım Yoğunluğu A/m^2 Vektörleri ve Manyetik Akı Hatları (Excitation Coil Current Density and Vectors)



(c) Manyetik Nüve Üzerindeki Manyetik Alan Şiddeti Değeri (Excitation Coil and Magnetic Core Magnetic Field Density)



(d) 2D Model Akı çizgilerinin Görünümü (Aspect of 2D Flux of Model)

Şekil 3. Sonlu elemanlar analizi sonuçları (Analysis Results of Finite Element)

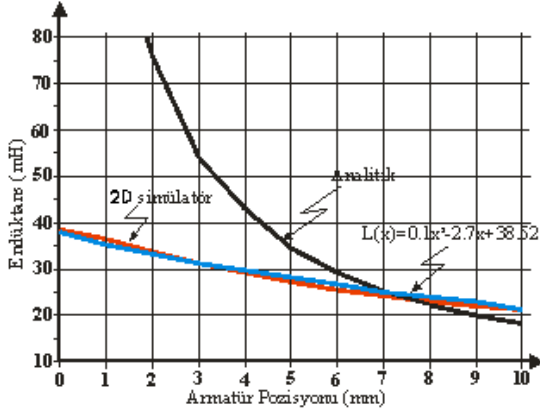
Analizlerde elektromanyetik eyleyicinin iç alan dağılımlarının gözlenebilmesi için nüve iki'ye bölünerek simülasyonlar yapılmıştır. Bu durum sonuçlar üzerinde bir etkiye sahip değildir. 25 Newton'luk karşı yay kuvvetini yenebilen optimum değer olan 550 turda 10 A'lik sargı uyarımında, 14,5 mm hava aralığında yapılmış statik manyetik analizlere ait görünüm Şekil 3'te verilmiştir.

3.1. Elektromanyetik Eyleyicinin Endüktansı (Inductance of Electromagnetic Solenoid)

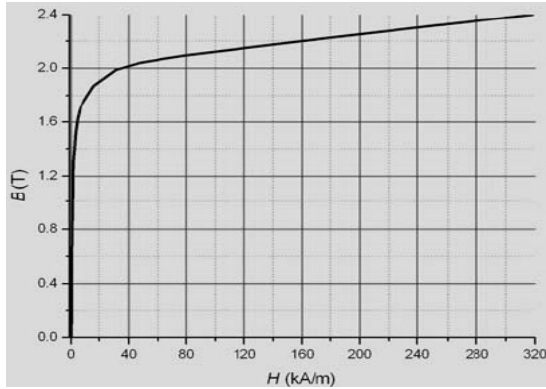
2D simülasyon ile yapılan statik manyetik analizler sonucunda armatür konumuna bağlı endüktans değişimi $L(x)$ Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4'te simülasyon sonuçları ve analitik hesapların karşılaştırılması verilmiştir. Bu sonuçlar 10 A'lik

sargı uyarımında hava aralığı değiştirilerek hesaplanmış değerlerdir. Analitik hesaplarda manyetik malzemenin geçirgenliği dikkate alınmamıştır, simülasyon hesaplarında ise hava aralığı azaldıkça malzeme doyuma gider, bu yüzden hesaplar arasındaki hata oranı artış göstermektedir. Elektromanyetik eyleyici yüksek devirlerde (1000-3000 rpm) çalışacağı için endüktansı küçük tutulmak istenilmiştir. Bu doğrultuda karşımıza çıkan en önemli değişkenlerden bir tanesi sargı tur sayısıdır. Farklı tur sayılarında yapılan deneysel ve simülasyon sonuçlarında 550 tur optimum kabul edilmiştir. Analiz, Şekil 5'te verilen gerçek BH eğrisi girilmiş manyetik malzemenin doyumuna da dikkate alındığından sonuçlar yeterli doğruluktadır. Şekil 3a'da görüldüğü üzere elektromanyetik eyleyicinin bazı kısımlarında manyetik akı yoğunluğu 1,6 T

civarındadır dolayısıyla bu bölgelerde doyumlar gözlenmektedir. Yani μ_r azalmıştır, bundan dolayı endüktans değerinde de bir azalma gözlenmiştir. Bu durum aynı zamanda simülatör ve analitik sonuçlar arasındaki farkı açıklarken, gerçek endüktansın bulunması için nümerik bir metodun kullanımını zorunlu kılmaktadır [11]. Açıklamayı doğrulayan 3D simülatör sonucu Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Analitik ve 2D simülatörde hesaplanan endüktans değerlerinin hava aralığının değişimine bağlı karşılaştırılması. (Compare on Calculated the Analytical and 2D Simulator of Inductance Values with Airgap Variation).



Şekil 5. Tasarımda kullanılan malzemenin (steel 1010) BH eğrisi (BH Curve of Material which Used in Design)

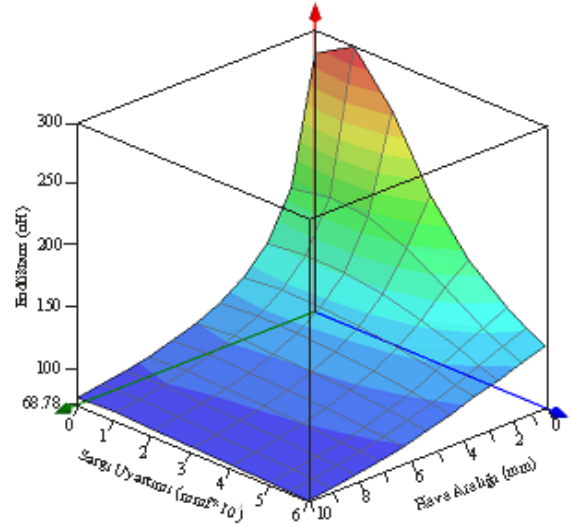
Analitik bir yaklaşım geliştirilmek istendiğinde ise malzemenin sonsuz geçirgenlikte kabul edilmesi ile

$$L(x) = \frac{N^2 \mu_0 A}{\left(x + \frac{g}{2}\right)} H \quad (3)$$

Eşitlik 3 elde edilir [12]. Simülasyon sonuçları doğrultusunda her iki uç durumdaki değerler dikkate alınarak yaklaşımlar yapılabilir. $L(x)$ 'in Lagrange Polinomları yardımıyla eğri uydurma formülüne göre armatürün konumu ile bobin endüktansı arasında

$$L(x) = 0,1x^2 - 2,7x + 38,52 \quad (4)$$

ilişkisi yazılabilir. Armatür nüveye yapışık pozisyonda ($x=0$) bobinin endüktansı (38.52 mH) L_0 , armatür en açık pozisyonunda ($x=10$) bobinin endüktansı (21.47 mH) L_f 'dir.



Şekil 6. Hava aralığı ve uyarım akımının değişimine karşılık endüktans değişimi. (Changing of Inductance compared with changing of Air gap and Coil Current)

3.2. Elektromanyetik Eyleyicinin Kuvveti (Force of Electromagnetic Solenoid)

Elektromanyetik eyleyicinin istenen uzaklıkta yay baskısını yenecek kadar kuvvet oluşturması gerektiği için kuvvetin tahmin edilmesi tasarım boyutunda en önemli parametrelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Birinci bölümde açıklandığı gibi Eşitlik 2 kuvvet hesaplamalarında ilk çıkış noktası kabul edilebilir. Ancak hesaplamalarda kabul edilebilir farklar mevcut olmakla birlikte bu durum analitik hesaplarda malzemenin sonsuz geçirgenlikte kabul edilmesine ve saçak etkilerinin hesaba katılmamasına bağlanabilir. Ayrıca elektromanyetik eyleyicinin bazı bölgelerinde doyumlar gözlemlendiğinden bu durum endüktansın değişimini dolayısıyla elektromanyetik eyleyici kuvvetinin aynı artışı göstermeyeceğini ortaya koymaktadır. Bu yorumu doğrular nitelikteki 2D simülatör ile hesaplanmış değerler Şekil 7'de verilmiştir. Analitik hesaplama için sistemde depolanan koenerji sargı akımı i 'nin ve armatür pozisyonu olan x 'in bir fonksiyonudur. Armatürün x 'de değişim yaptığı sırada armatürün yer değişimi hava aralığını değiştirecek ve hava aralığında depolanan manyetik enerji de değişmiş olacaktır [13, 14]. Bu durum;

$$W'(i, x) = \frac{1}{2} L(x) i^2 \quad (5)$$

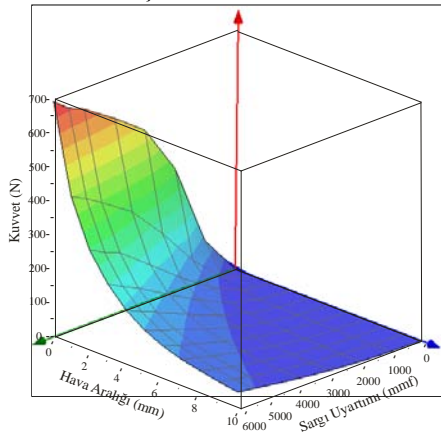
İle ya da

$$W'(\phi, x) = \frac{x\phi^2}{2\mu_0 A} + \frac{g\phi^2}{4\mu_0 A} \quad (6)$$

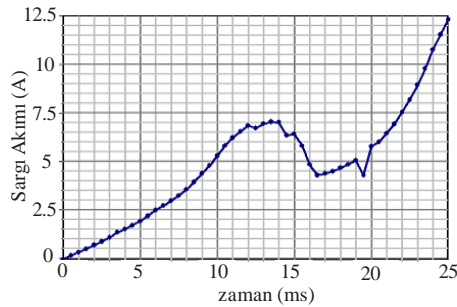
ile ifade edilebilir. Eşitlik.6'da her ne kadar i 'yi içermiyor gibi görünse de manyetik akı yoğunluğu (B), sargı akımını barındırmaktadır. Hava aralığındaki artış depolanan manyetik enerjiyi artırır, ancak dikkat edilmesi gereken manyetik akı ifadesidir. Çünkü hava aralığı arttıkça elektromanyetik eyleyicinin relüktansı da artacak ve uygulanan sabit mmf değerinde akımın azalması gerekecektir. Bu yüzden manyetik enerjinin artması akımın sabit kalması koşulu ile mümkündür. Armatüre etkiyen kuvvet,

$$f_{fld} = -\frac{\partial W'}{\partial x} = -\frac{\partial \left(\frac{\phi^2}{2\mu_0 A} x + \frac{g\phi^2}{4\mu_0 A} \right)}{\partial x} \quad (7)$$

olarak yazılabilir. Eşitliğin farklı konfigürasyonları mevcuttur. Ancak bütün yaklaşımların aynı sonuca çıktığı açıktır. Buradaki eksi işareti kuvvetin armatürü çekmek istemesi olarak açıklanabilir. İşlemin sonucu Eşitlik 2'de verilmiştir.



Şekil 7. Hava aralığı ve sargı akımının değişimine karşılık elektromanyetik eyleyici kuvvetinin değişimi. (Changing of Electromagnetic Solenoid Force Compared with changing of Air Gap and Coil Current)



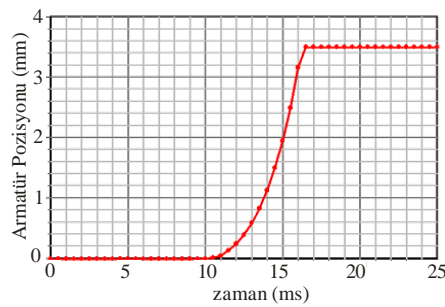
(a) Uyarım süresince armatürün hareketi ile sargı akımının değişimi (Transient analysis of Coil Current)

3.3. Elektromanyetik Eyleyicinin Geçici Zaman Analizi (Transient Analysis of Electromagnetic Solenoid)

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi elektromanyetik eyleyicinin uyarıldığında kapanma süresi yapılan çalışma için dikkat edilmesi gereken bir değişkendir. Çünkü yüksek devirlerde istenilen sürede kapanabilmesi gerekmektedir. Elektriksel büyüklüklerin yanında armatür ağırlığı yay sabitleri ve benzer dış değişkenler bu süreyi etkileyecektir. Öncelikli olarak teorik bir yaklaşım dikkate alınmış devamında 2D simülatörü kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizler kapanma süresini (Eşitlik.8) etkileyebilecek değişik durumların simülasyonunu içermektedir. Sargıya uygulanan akımın kararlı duruma geçme süresi τ ile ifade edilir. Bu sürenin kısaltılabilmesi ise

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (8)$$

ile ilişkilidir. Buradan Eşitlik.3'te verilen ifadeye bakıldığında endüktansı azaltabilmenin en uygun yolu sargı tur sayısının değiştirilmesidir. Bu durum iletken kesit artışına böylece sargı direncinin azalmasına öncülük edecektir. Kapanma süresinin hesaplanmasında kesin bir tahmin yapmak oldukça güçtür, bu durum nümerik bir metodun kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Ancak yapılan simülasyonlarda teorik yaklaşımlar baz alınarak modellemeler yapılmıştır. Simülasyonlar sonucunda optimum tasarıma ait grafikler Şekil.8'de sunulmuştur. Simülasyonlar 4 mm hava aralığında 35 N'luk elektromanyetik eyleyiciye karşı yükte gerçekleştirilmiştir. Şekil.8'e göre 35 N'luk yükte ve hava aralığı 4 mm iken armatürün kapanma süresi yaklaşık 16 ms'dir.



(b) Uyarım süresince armatür pozisyonunun değişimi (Transient Analysis of Armature Pozisyonu)

Şekil 8. Geçici zaman analizi sonuçları (Transient Analysis Results)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada elektromanyetik eyleyici kullanılarak basınçlı hava motoru için havanın kontrol edilmesi sağlayacak bir elektromanyetik eyleyici yapılmıştır. Çalışma sonucunda, teorik hesaplar ve onları destekleyen simülasyon sonuçları temel alınarak çalışma amacına en uygun yapıdaki elektromanyetik eyleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik eyleyicinin kapanma süresinin hesaplanması için geçici zaman analizlerine göre iki dikkate değer değişken bulunmuştur. Bunlar armatüre etkiyen karşı kuvvet (yay kuvveti) ve iletken kalınlığıdır. Farklı karşı yay kuvvetlerinde ve farklı tur sayılarında yapılan benzetimlerde optimum kapanma süresi yaklaşık 16 ms bulunmuştur. Sürenin kısaltılabilmesi için iletken tel çapı artırılmış ve bunun sonucu olarak eşitlik.8'e göre sargı direnci düşürülmüştür. Böylece tur sayısının karesi ile orantılı olarak endüktans değeri de azalmıştır. Prototip üzerinde yapılan test sonuçları Tablo.2'de sunulmuştur. Uygulama 15 mm hava aralığında gerçekleştirilmiş, gerilim sürekli artırılarak her iki sargıdan geçen akımlar ve karşı kuvvetin yenilmesine ilişkin elektromanyetik eyleyicinin tepki anı gözlenmiştir. Tablodaki üzeri koyu olan akım değerleri, armatürün karşı yay kuvvetini yendiği andaki değerlerdir. Tablo.2'den görüleceği üzere 1.7 mm çaptaki iletkenle sarılmış (550 tur) bobinde 10 A'lık sargı uyarımında yaklaşık 25 N'luk yay kuvveti aşılabilmektedir. Tasarımı ve uygulaması yapılan elektromanyetik eyleyici otomotiv sanayinde kullanılan mekanizması ile çalışan geleneksel motor yapısının değiştirilerek, halen Gazi Üniversitesi'nde AR-GE çalışması devam eden basınçlı hava motorunun eyleyici sisteminin geliştirilmesi için kullanılacaktır. Geliştirilen eyleyici sistemi tamamlandığında, basınçlı hava motorları için çevre dostu bir teknoloji elde edileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 2. Uygulanan gerilim ile sargı akımlarının değişimi (Changing of Coil Current by Excitation Voltage)

Uygulanan Gerilim (V)	Tel çapı 1.7 mm (550 tur)	Tel çapı 2.2 mm (350 tur)
	Akım (A)	Akım (A)
1	1,8	4,0
2	3,1	7,7
3	4,8	11,3
4	6,1	14,0
5	8,8	16,9
6	9,1	20
7	10	23
8	11,5	25,3
9	12,8	28
10	14	
11	15	
12	16,2	

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sahu, S., "Some Feasibility Investigations on Pneumatic Primemover for a Small Vehicle", M.S(r) thesis, Mechanical Engg. Department, IIT Delhi, 10-15, 2000.
2. Kamaş, Z., Yüksel, İ., "Yay Enerjisinin Elektromekanik Eyleyici Mekanizmalarının performansına katkısı", **Mühendis ve Makine**, Cilt 46, Sayı 543, 39-50, 2005.
3. Trajkovic, S., Milosavljevic, A., Tunestal, P., Johansen, B., "FPGA Controlled Pneumatic Variable Valve Actuation", **Society of Automotive Engineers (SAE)**, 01-0041, 2006.
4. Tai, C., Tsao, T., Tsao, C., "Control of An Electromechanical Actuator For Camless Engines", Proceedings of the American Control Conference Denver, Colorado June 4-6, 2003.
5. Wang, Y., Megli, T., Haghgooye, M., "Modeling and Control of Electromechanical Valve Actuator", **Society of Automotive Engineers (SAE)**, 01-1106, 2002.
6. Kawabe, T., "Initial Condition-Adaptive Robust Control for a High-Speed Magnetic Actuator", **Control Engineering Practice**, Volume 11, Issue 6, 675-685, 2003.
7. Kamaş, Z., Yüksel, İ., "An Investigation of Effect of Applied Electrical Voltage On System Dynamic Behavior and Energy Consumption of An Electromechanical Valve Actuator", **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi** 17 (3): 161-177, 2004.
8. Sağıroğlu, S., Salman, M.S., "Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Elektromanyetik Kumandalı Eyleyici Mekanizmasının Tasarımı, İmalatı Ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması", **Teknoloji**, cilt 10, sayı 2, 113-122, 2007.
9. Cope, D., Wright, A., "Electromagnetic Fully Flexible Valve Actuator", **Society of Automotive Engineers (SAE)**, 01-0044, 2006.
10. Guru, B., Hızıroğlu, H. R., **Electric Machinery and Transformers**, (USA), 1995.
11. Gürdal, O., Fenercioğlu, A., "Helisel Yapılı Anahtarlamalı Relüktans Motorun (HY-ARM) Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Statik Manyetik Analizi", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 22, No:2, 315-322, 2007.
12. Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr.C., Umans, S.D., **Electric Machinery**, Metric Editions, Electrical Engineering Series, 2003.
13. Gürdal, O., **Elektromanyetik Alan Teorisi**, Nobel Yayın Dağıtım, Türkiye, Ankara, ISBN 975-591-178-2, 2000.
14. Corporation Maxwell 3D&2D and Optimetrics® help files, "Design Optimization of Fast-Acting Actuators Including Eddy Effects and Magnetic Diffusion", **Actuator Design: Meeting your Customer's Requirements for Success**, 2006.

