



Bu bir MMO yayınıdır

AKIŞKAN KONTROLÜNDE KULLANILAN SOLENOİD VANA BOBİNLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE TASARIMI

Ender OĞUZ¹

Yaşar MUTLU¹

¹ SMS Sanayi Malzemeleri ve Satış A.Ş.



AKIŞKAN KONTROLÜNDE KULLANILAN SOLENOİD VANA BOBİNLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ VE TASARIMI

Ender OĞUZ¹, Yaşar MUTLU²

SMS Sanayi Malzemeleri ve Satış A.Ş.

e-mail: ¹eoguz@sms-tork.com.tr, ²ymutlu@sms-tork.com.tr

ÖZET

Teknoloji ilerledikçe sistemlerde kontrol daha da ön plana çıkmaktadır. Verimli yapılan kontrol işlemlere zaman ve nakit kazandırmaktadır. Akışkan kontrolünde ise uzaktan ve hızlı bir şekilde kontrol solenoid vanalarla sağlanmaktadır. Bu çalışmada solenoid vana yapısı, çalışma prensibi incelenmiş; mevcut bobinler deneylerle ve analiz programlarıyla incelenmiş, verimi artırmak için optimum bir tasarım yapılmış ve üretilmiş prototip de aynı inceleme işlemlerinden geçirilmiştir. Bu inceleme işlemleri sırasında kullanılan denklemlere değinilmiş, elektromanyetik teorilerden bahsedilmiştir. 220 VAC ile çalışan, 10 W güç harcayan solenoid bobin için tasarım sonuçları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Solenoid vana, Solenoid Vana Bobini, Elektromıknatis, Elektromanyetizma, Akışkan Kontrolü.

ABSTRACT

As the technology improves control systems stand out even more. Efficient control brings time and money to the businesses. In fluid control that's provided by solenoid valves fast and remotely. This study presents that the solenoid valves' structure, working principle, investigation of available solenoid coils by experiments and analysis programs, and an optimal design to increase the efficiency. And same review procedures used for produced prototype. Also equations and referred magnetic theories used in the investigation mentioned during this procedure. Then the design results were given for a solenoid coil working with 220 V AC, consuming 10 W powers.

Key Words: Solenoid Valve, Solenoid Valve's Coil, Office Electromagnet, Electromagnetism, Fluid Control.

1. GİRİŞ

Akışkanların olduğu neredeyse her yerde solenoid vanalarla kontrol sağlanmaktadır. Basit teknolojisi ve kompakt yapıda olmaları, güvenilir ve ucuz olmaları solenoid vanaların çok geniş bir alanda kullanılmasına sebep olmuştur. Solenoid vanalar bugün farklı alanlarda kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe, tıp sektöründe, robotikte, çamaşır, bulaşık makinesi gibi ev eşyalarında, tarımda ve peyzajda sulama sistemlerinde vb. akışkanların olduğu birçok yerde solenoid vanaların kullanıldığı görülmektedir.

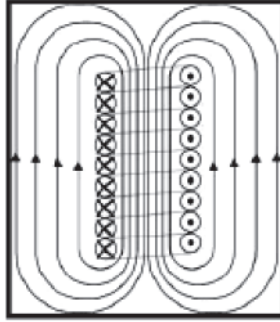
Solenoid vanaların teknolojisi basit olduğu kadar tasarımları birçok değişkene bağlıdır. Optimal bir tasarım için solenoidin çekme kuvveti, kalkış akımı büyüklüğü, manyetik malzemenin analizi, çekirdek şekli, sargıların ısınması göz önüne alınır. Bu çalışmada üretilebilir bir tasarım için mevcut vanaların standart boyutları kullanılacaktır. Bu da ekonomik tasarım sağlayacaktır. Bu sebeple teorik hesaplardan ziyade ampirik denklemler kullanılacaktır.

2. SOLENOİD VANANIN MODELLENMESİ

2.1. Elektromanyetik Modeli

Solenoid bobine bir gerilim uygulandığında sargılardan bir akım akacak ve akan bu akım iletken etrafında bir manyetik alan oluşturacaktır. Lorentz yasasına göre bu manyetik alan bir elektromanyetik kuvvetin oluşmasını sağlayacaktır.

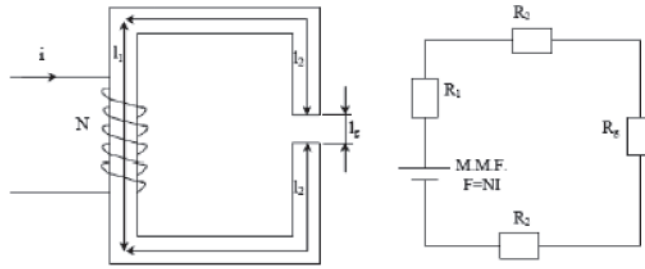
Eğer bir bobin N sarım sayısında sarılırsa üzerinden akım geçtiğinde Şekil 1'deki gibi etrafında bir manyetik alan oluşacaktır.



Şekil 1. Üzerinden akım akan bir bobinin etrafındaki manyetik alan [1]

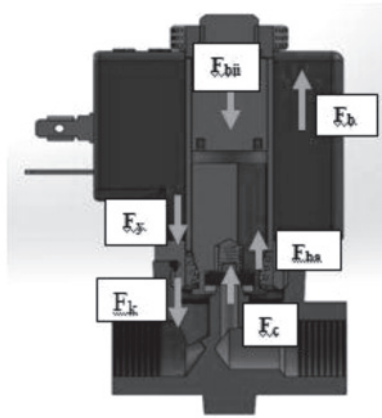
$$F = N.I \text{ (A)} \quad (1)$$

Elektromanyetik kuvvet ya da MMK 'amper-sarım' olarak da ifade edilir. Sarım boyutsuz bir değer olduğundan MMK'nin boyutu amper [A] olarak kabul edilir.



Şekil 2. Manyetik devre ve eşdeğer elektrik devresi [2].

2.2. Mekanik Modeli



Şekil 3. Çekirdek üzerindeki kuvvetler.

Modelden anlaşılacağı gibi akışkan vanadan girdiğinde çekirdek üzerinde bir basınç uygular. Bu basıncın çekirdek yüzeyindeki kuvveti $F_{b\bar{u}}$ 'dür. Aynı basınç, çekirdeğe alt yüzeyden de bir kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvet de F_{ba} 'dır. Çıkıştaki basıncın da çekirdek üzerinde bir kuvveti vardır, $F_{\bar{c}}$. Ayrıca çekirdeğin ilk pozisyonuna gelmesini sağlayan yayın da uyguladığı bir kuvvet vardır. Bu da F_y 'dir. Çekirdeğin ağırlığı da F_k olarak verilmiştir. Bobinin ürettiği çekme kuvveti ise F_o 'dir.

$$F_{b\bar{u}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot P_g \quad (2)$$

$$F_k = m \cdot g \quad (3)$$

$$F_y = k \cdot \Delta x \quad (4)$$

$$F_{\bar{c}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot P_{\bar{c}} \quad (5)$$

$$F_{ba} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot P_g \quad (6)$$

$$W_b = L \cdot \frac{I^2}{2} \quad (7)$$

$$F_b = \frac{\partial W_f}{\partial x} \quad (8)$$

$$F_b = \frac{I^2}{2} \cdot \frac{\partial L}{\partial x} \quad (9)$$

Vana kapalı olduğunda:

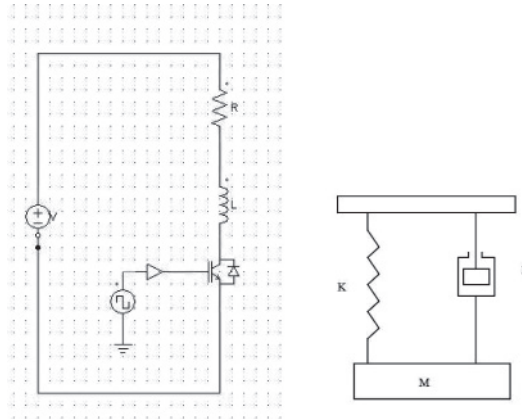
$$F_{b\bar{u}} + F_y + F_k > F_{ba} + F_{\bar{c}}$$

Vana açık olduğunda:

$$F_{b\bar{u}} + F_y + F_k < F_{ba} + F_{\bar{c}} + F_b$$

Yukarıdaki kuvvet dengesine göre vananın açık olduğu ve kapalı olduğu pozisyonlar görülebilir.

2.3. Elektromekanik Modeli



Şekil 4. Solenoid bobin sistemi, elektriksel ve mekanik gösterimi [2].

Şekil 4'de görülen elektrik devresi basit olarak modellenmiştir. R sargı direncidir. L ise sargının endüktansdır. Yani R ve L solenoid bobini simgeler. Anahtar kapandığında solenoid bobinde bir elektromotor kuvvet endüklenir.

Denklem (10)'da görüleceği gibi sargı direnci üzerinde bir gerilim düşümü olur. Bu direnç üzerinden akım geçtiği için sargıların ısınmasına da sebep olur.



$$V = R \cdot I + L \frac{di}{dt} \quad (10)$$

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \quad (11)$$

Şekil 4'de görülen ise sistemin basitleştirilmiş mekanik modelidir. M piston kütleini temsil eder. B viskoz sönümlendiriciyi, K ise yay sabitini temsil eder.

$$f(t) = K \cdot x(t) \quad (12)$$

$$f(t) = B \cdot v(t) \quad (13)$$

$$f(t) = M \cdot a(t) \quad (14)$$

Bu denklemler karakteristik denklemlerdir. v(t) hızı, a(t) ise ivmeyi temsil etmektedir. Bu denklemlerden yola çıkılarak;

$$F(t) = K \cdot x(t) + B \cdot v(t) + M \cdot a(t) \quad (15)$$

denklemleri elde edilir. Laplace dönüşümü yapıldığında

$$F(s) = K \cdot X(s) + B \cdot s \cdot X(s) + M \cdot s^2 \cdot X(s) \quad (16)$$

denklemleri ortaya çıkar. Denklem (16)'den sistemin transfer fonksiyonu elde edilir.

$$F(s) = (M \cdot s^2 + B \cdot s + K) \cdot X(s) \quad (17)$$

Sistemin transfer fonksiyonu (17)'deki gibidir[3].

$$\frac{X(S)}{F(S)} = \frac{1}{M \cdot s^2 + B \cdot s + K} \quad (18)$$

3. Mevcut Solenoid Bobinlerin İncelenmesi

3.1. Isınma Deneyi

Elektromekanik aletlerde bu kayıplar ısınma sebebiyle ortaya çıkarlar. Çevreyle ısı alış verişi dengeleninceye kadar alet ısınmaya devam eder. Bu alışveriş esnasında ısının bir kısmı da alet üzerinde birikir ve onun da ısınmasına yol açar.

Solenoid bobinlerde akım geçtiğinde, bobinin bakır sargılarının iç direncinden kaynaklanan ısı kaybı oluşur. Bobinin ne kadar ısınacağını bu kayıplar belirler. Bobinin ömrü bu kayıplara bağlıdır, çünkü sargı yalıtımlarını en çok zorlayacak olan ısınmadır.

Bobindeki ısınma sargısının direnci ile ilişkilidir. Yapılan deneylerde sargıların ne kadar ısındığı direnç artışı yöntemi ile belirlenmiştir. Sıcaklık ve direnç arasındaki doğru orantıdan faydalanarak sıcaklık artışı direnç artışı takip edilerek belirlenmiştir. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır[16].

$$R_2/R_1 = (\Theta_2 + 235) / (\Theta_1 + 235) \quad (19)$$

Alternatif Akım Bobininin Deneyinin Yapılışı

Alternatif akım bobinlerin çektiği akımı ve etkin gücü ölçmek için bir wattmetre kullanılır. Solenoidlerde güç ve direnç testi aynı deney seti üzerinde yapılabilir. Bir seçici anahtar kullanarak bobinin hem güç değerini hem de direnç değerini ölçmek olanaklıdır. Bobinin direnç ortalama sargı sıcaklığı değerini belirlemek için ölçülür. Bobin yüzey sıcaklığı bir termometre yardımıyla ölçülür.

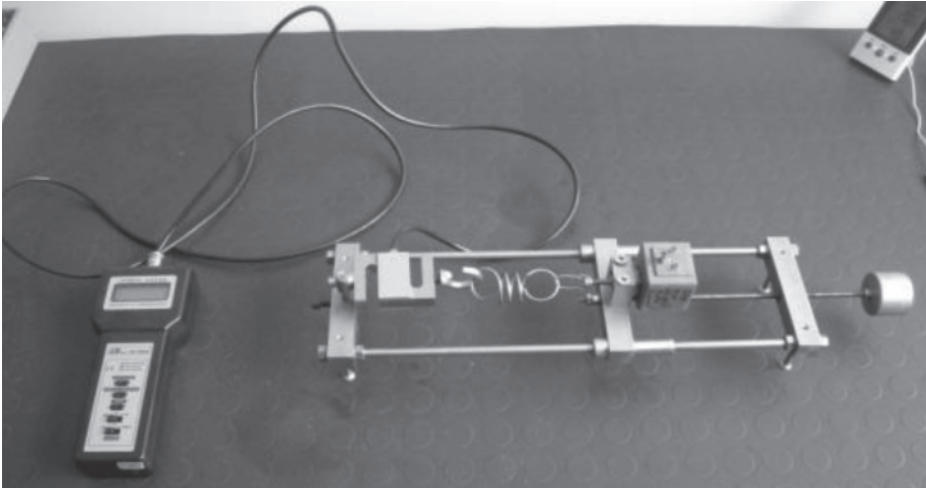
Doğru Akımla Çalışan Bobinlerin Deneyi

Doğru akım bobinlerinde uygulanan gerilim ile çekilen akımın çarpımı etkin güç değerini, bu iki değer bölümü bobin direnç değerini verdiği için herhangi bir seçici anahtara gerek yoktur, bu nedenle yalnızca bir açma kapama anahtarı kullanılır. Yapılması gereken şey, uygun zaman aralıklarına gerilim ve akım değerlerini okuyup kaydetmektir.

Bu deneyde de aynı şekilde ortam sıcaklığı ve direnç artışından faydalanılarak bobin ısınması hesaplanabilir. Doğru akım bobinlerde çekilen tüm güç bakır kayıplarına gittiğinden demir kaybı ve güç faktörü hesabı söz konusu değildir.

3.2. Kuvvet Deneyleri

Kuvvet deneyi, solenoid bobinlerin çekirdeği tutma kuvveti (statik kuvvet) için yapılır. Çekirdeği çekme kuvveti dinamik bir kuvvet olduğundan özel bir deney düzeneğiyle ya da bir model öngörüsü ile belirlenebilir. Ancak tutma kuvveti de solenoid bobinin performansı hakkında çok önemli bilgiler verir. Şekil 5'de solenoid bobinin tutma kuvvetini belirlemek için özel olarak hazırlanmış deney düzeneği görülmektedir.

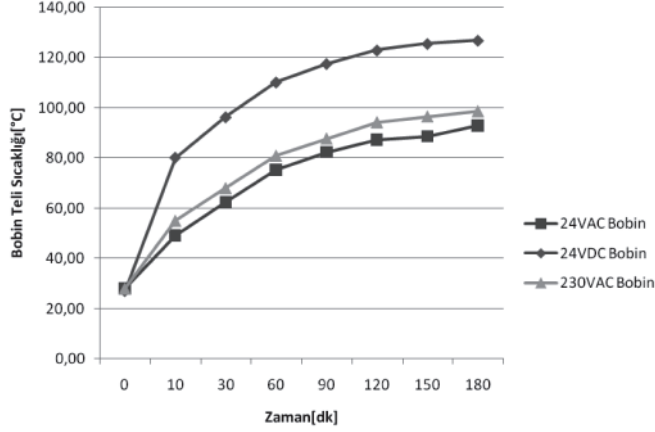


Şekil 5. Kuvvet deneyleri özel aparatı

3.3. Ölçümler

3.3.1 Isınma Deneyi

Yapılan ısınma deneylerinin sonuçları aşağıdadır. Görüldüğü gibi doğru akımla çalışan bobin en çok ısınan bobindir. Bu da şunu göstermektedir ki doğru akımla çalışan bobinler çekirdeği çektikten sonra enerjilerinin çoğunu ısınmaya harcarlar.



Şekil 6. 24VAC, 24VDC ve 230VAC bobin sarım ısınma grafikleri

3.3.2 Kuvvet Deneyi

Yapılan kuvvet deneyinin ölçümleri aşağıdadır. Yine görülmektedir ki doğru akımla çalışan bobinin kuvveti en yüksektir. Bunun nedeni alternatif akımla çalışan bobinlerin çalışmaya başladığı anda kalkış akımı çektiği için ilk andaki çekme kuvveti yüksektir fakat daha sonra daha düşük bir kuvvetle çekirdeği yukarıda tutar. Doğru akımla çalışan bobinlerde ilk çalışma anındaki akımla tutma akımı aynıdır. Başta gereken büyük kuvveti sağlayabilmesi için tasarlarken buna göre yüksek kuvvete göre tasarım yapılır.

Tablo 1. Kuvvet deneyi ölçüm sonuçları

Bobin Çeşidi	Kuvvet[N]	
	Başlangıçta	Isınma Deneyinin Sonunda
24VAC 15VA	22,4	19,2
24VDC 18W	78	63
230VAC 15VA	20,2	19,8

4. Tasarım

Tasarımda, hesaplarla iyi bir sonuç elde etmenin yanında ortaya çıkan prototipin üretilebilir olması da göz önünde bulundurulmalıdır.

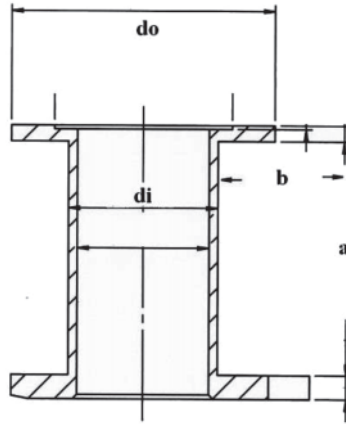
Solenoid bobinin tasarımında önceden belirlenmesi gerekenler,

- Manyetik akı yoğunluğu
- Çekim kuvvetinin en büyük değeri
- Armatür şekli
- Bobin çapı
- Sargıların ne kadar ısınacağı
- Manyetik malzemenin analizi

şeklinde sıralanabilir. Bu parametreler belirlenirken, optimizasyon adına, teorik hesapların yanında daha çok ampirik hesaplar belirleyici olur. İletken çapı, bobinin genişliği ve yüksekliği, sarım sayısı gibi parametreler; uygulanacak gerilime, istenen çekim kuvvetine ve solenoidin gücüne göre belirlenir. Bu değerler bobinin az çok ekonomik boyutlarını ve de ısı dağılımını da belirler.

$$d_{\text{ort}} = \frac{d_{\text{iç}} + d_{\text{dış}}}{2} \quad (19)$$

$$l_{\text{ort}} = \pi \cdot d_{\text{ort}} \quad (20)$$



Şekil 11. Makara boyutları

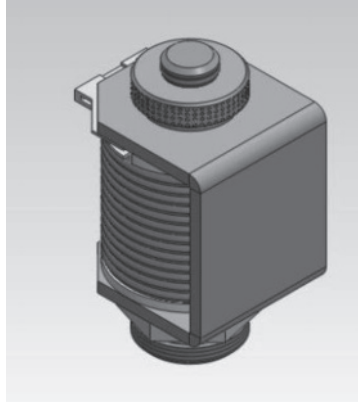
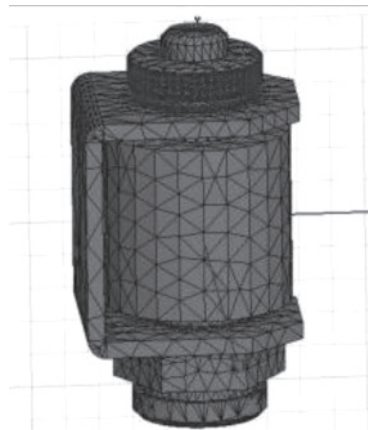
$$N = \frac{a \cdot b \cdot k_w}{A_c} \quad (21)$$

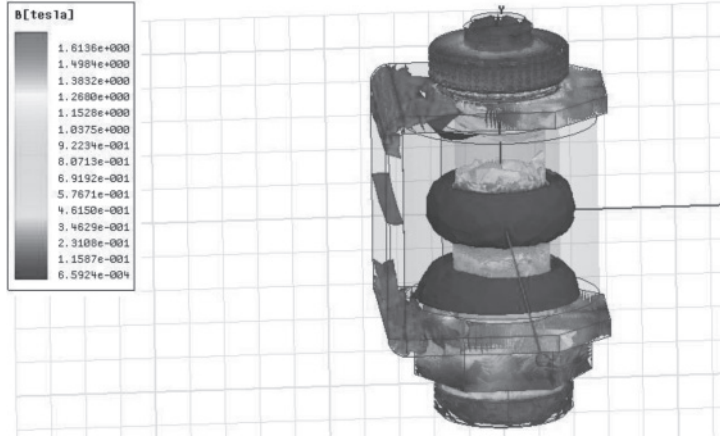
$$R = \frac{\rho N^2 l_{\text{ort}}}{a \cdot b \cdot k_w} \quad (22)$$

Tablo 2. Tasarım çıktıları

Çalışma Gerilimi-AC (V)	220
Güç (W)	10
Akım (A)	0,104
Endüktans (mH)	640
Direnç(başlangıç) (ohm)	777
Bobin yarıçapı (mm)	15
Tel Çapı-r(mm)	0,12
Sarım sayısı	7400
μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$
μ_r	125000
Magnetik akı_B (T)	0,086363636
Kuvvet_F (N)	20,8

4.1. Tasarlanan Ürünün Analizi

**Şekil 12.** Tasarlanan bobinin 3D programda görünümü**Şekil 13.** Tasarlanan ürüne manyetik analiz programının uyguladığı ağ yapısı.

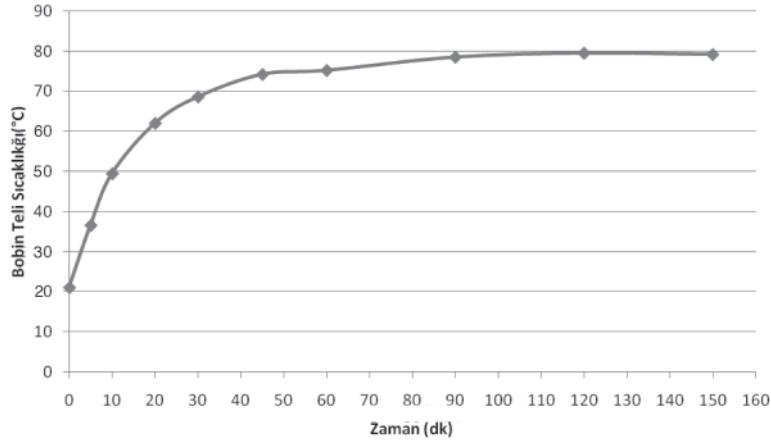


Şekil 14. Manyetik alan analizi sonucu

Manyetik alan analizi programı hesapları sonucunda elde edilen kuvvet değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 3. Manyetik kuvvet değerleri

	F(x)	F(y)	F(z)	Mag(F)
Toplam[N]	19.75	4.35	-0.49	19.67



Şekil 15. Yeni tasarlanan bobin için sarım ısınma grafiği.

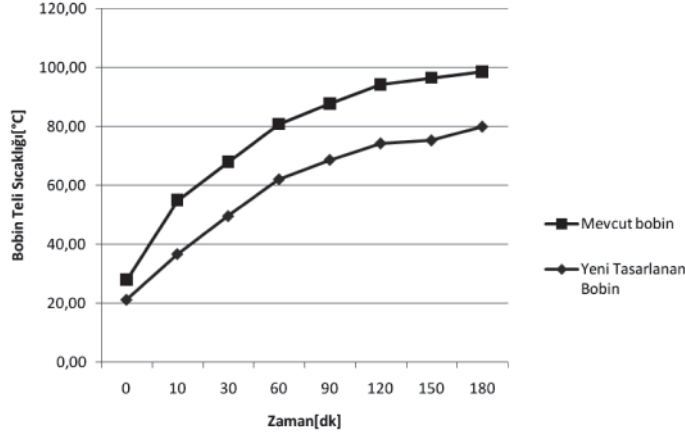
SONUÇ

Bu çalışmada temel denklemler ve dinamik denklemler verilerek, yapılan deneyler anlatıldıktan sonra elde edilen sonuçları verilmiş, manyetik alan analizi yapılmış, tasarım adımları anlatılmıştır.

Tasarlanan solenoid bobine de diğer bobinlere uygulanan performans analizi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda istenilen değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

- Yeni tasarlanan bobinlerde %20 oranında ısınma probleminde iyileştirme yapılmıştır.
- Deneyde ölçülen kuvvet değeri ve analizde ortaya çıkan kuvvet değeri arasında %5 bir yakınlık bulunmaktadır. Tasarlanan bobinin performansı beklendiği gibidir.

Tasarlanan bobinde ısınma açısından bir iyileşme sağlandığından ürünün ömründe bir uzama sağlandı ve ürün kalitesinde bir artış gerçekleştirildi.



Şekil 16. Mevcut-Yeni Tasarlanan bobin ısınma karşılaştırması

KAYNAKLAR

- [1] BISHOP H. R. "The Mechatronics Handbook", 2002, Chapter 20 FEURICH, H., "Saniteartech-nik", Krammer Verlag, 1995.
- [2] Url- 1 < <http://www20.uludag.edu.tr/~mtd> >, alındığı tarih 10.05.2014
- [3] BAYAT F, TEHRANİ A. F., DANESH M., Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, "Static and Dynamic Simulation of a Proportional Control Valve Using ANSYS/Emag", Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics April 13-15, 2011, Istanbul, Turkey

SEMBOLLER

Θ_2	Sargının ölçülen son sıcaklığı
Θ_1	Sargının başlangıç sıcaklığı
R_2	Deney sonunda ölçülen sargı direnci
R_1	Deneye başlamadan önce ölçülen sargı direnci
P_g	Giriş basıncı [pascal]
$F_{b\ddot{u}}$	Çekirdeğin üstünden etkileyen kuvvet [N]
D	Çekirdek çapı [m]
F_k	Çekirdek kütle kuvveti [N]
F_y	Yay Kuvveti [N]

m_{ϕ}	Çekirdek kütle [kg]
g	Çekirdek Özgül Ağırlık [m/s^2]
k	Yay katsayısı [N/m]
Δx	Yay sıkışma miktarı [m]
P_{ϕ}	Çıkış basıncı [pascal]
d	Orifis çapı [m]
F_{ϕ}	Çıkış kuvveti [N]
F_{ba}	Giriş basıncının çekirdeğin altına uyguladığı kuvvet [N]
F_b	Bobin çekme kuvveti
W_{ϕ}	Çekirdeği çekmek için yapılan iş
i	Bobinin çektiği akım[A]
h	Bobin yüksekliği [mm]
d_i	Bobin iç çapı [mm]
d_o	Bobin dış çapı [mm]
d_{ort}	Ortalama bobin çapı [mm]
k_w	Dolgu faktörü
l_{ort}	Ortalama sargı boyu (m)
a	Sargı kesiti yüksekliği (mm)
b	Sargı kesiti genişliği (mm)

ÖZGEÇMİŞ

Ender OĞUZ

1988 yılı Kocaeli doğumludur. 2012 yılında İTÜ. Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2013 Güz yarıyılında Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2012 yılı Ağustos ayından beri SMS TORK Sanayi Malzemeleri ve Üretim A.Ş. firmasında ARGE biriminde Elektrik Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Yaşar MUTLU

1980 İran doğumludur. 2009 yılında İTÜ Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2011 yılında İTÜ Makina Mühendisliği Isı-Akış Yüksek lisans programını bitirmiştir. Şu anda İTÜ Makina Mühendisliği Doktora Eğitimi devam etmektedir. 2012 yılı Ocak ayından SMS Sanayi Malzemeleri ve Üretim A.Ş. firmasının AR-GE birimini yönetmektedir.