
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 30.05.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 05.06.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.327117	

Elektromıknatıs tetiklemeli mikro valf tasarımında ortaya çıkan toplam hata ve belirsizliklerin analizi

Ceren Genç¹, Yasemin Karadana², Vezir Ayhan*³

ÖZ

Hata ve belirsizlik analizi ürünün üretim aşamasına ulaşmadan iş adımlarında gerçekleştirilen ölçümlerde meydana gelebilecek olası hataların belirlenmesi ve önlenmesi için uygulanan teknik bir yöntemdir. Arge, ürün tasarımı, kalite ve üretim iyileştirme gibi incelemeye konu olan çalışmaya göre olası hata türünün belirlenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Ölçümün gerçekleştirildiği her yerde hatalar mevcuttur. Bu sebepten ölçüm sonuçları verilirken ölçülen değer belirsizliği verilmelidir. Yani, ölçülen büyüklüğün gerçek değerinin belirli bir olasılıkla bulunduğu aralık belirtilmelidir. Yapılan bu çalışmada, elektromanyetik tetiklemeli valf tasarımının gerçekleştirilmesi esnasında deneysel ve teorik çalışmalarda meydana gelen hata oranı ve belirsizlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, elektromanyetik bir valf tasarımında karşılaşılan olası hatalar ve belirsizlik değerleri hesaplanmış ve ölçüm sonuçlarına ait veriler toplam belirsizlik değerleriyle birlikte verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hata analizi, üretim iyileştirme, belirsizlik analizi, risk

Analysis of total errors and uncertainties on electromagnet triggered micro valve design

ABSTRACT

Analysis of total errors and uncertainties is a technical method to identifying and prevention potential errors that may occur on product before reaching the manufacturing stage. It is used for determining probable error types in R&D, product design, quality and production improvements etc. There are always errors in every step of measurement. For this reason the measurement results should be given the uncertainty of the measured value. So, it should be specified certain probability of the true value of measured. In this study, error rate and uncertainty analysis in experimental and theoretical trials that may occur obtained during the realization of the electromagnet triggered micro valve design. As a result, encountered potential errors and uncertainties of electromagnetic valve design were calculated and dates of measured results with uncertainty values were given.

Keywords: Error analysis, production improvements, uncertainty analysis, risk

¹Ceren Genç Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

²Yasemin Karadana – Astra Medikal

³Vezir Ayhan - Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir nesnenin bazı özelliklerinin standart birimlere göre belirlenmesi olarak tanımlanan ölçme işlemi, hiçbir zaman mutlak doğrulukla gerçekleştirilememektedir. Doğruluğu etkileyen en önemli faktör ise ölçümler sırasında ortaya çıkan hatalardır. Ölçüm sonucundan elde edilmek istenen değerle, gerçekte ölçme sürecinde elde edilen değer arasındaki farka ölçme hatası denir. Tüm ölçüm sonuçları ölçme araçlarının kısıtları, ölçme alanı, ölçme süreci ve insan hatalarından dolayı gerçek değil, yaklaşık değerler olarak elde edilebilmektedir. Bu nedenle bir ölçümde mümkün olan en çok hatayı bulmak ve belirsizliği en aza indirmek genel hedefdir[1]. Hatalar genel olarak iki sebepten dolayı ortaya çıkmaktadır. Bunlar sistematik hatalar ve rastlantısal hatalar olarak tanımlanmaktadır[2]. Sistematik hata; ölçüm düzeneğinin ve ölçü aletinin yapısından kaynaklanan ve tüm ölçümlerde kendini tekrarlayan hatalardır. Sistematik hatalar genellikle yanlış ölçüm aracı / ölçek seçimi, yanlış ölçüm süreci gibi nedenlerle meydana gelmektedir. Bu tür hatalar ölçüm cihazlarından ve sisteminden kaynaklandığı için belirlenmesi ve giderilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Rastlantısal hatalar ise; tesadüfi olarak çeşitli öngörülemeyen unsurlardan kaynaklanan hatalardır. Ölçüm sayısını arttırmak ve tecrübeli birisinin ölçümleri gerçekleştirmesi ile bu hataların azaltılması veya etkilerinin kaldırılması mümkündür. Özetle, bir ölçümedeki tam hata payı bilinemediği gibi ölçülen şeyin gerçek değerini bilmek mümkün değildir. Dolayısıyla ölçüm sonuçlarının doğruluğu ve kesinliğinin belirsizlik analizi ile tespit edilmesi deneysel ve teorik çalışmalarda oldukça önem arz eden bir konudur. Ölçü sisteminde sistematik hataların belirlenmesinde birkaç yöntem mevcuttur. Bunlardan biri de “belirsizlik analizi” yöntemidir. Belirsizlik analizi sonuçların hassasiyeti hakkında yöntemsel bir yaklaşım sunar. Bu yaklaşım ile olası hatalar için bir aralık belirlenmektedir. Belirsizlik analizi ile ölçüm sonuçlarına en büyük hataya neden olan değişkenin hemen tespit edilebilmesi mümkündür. Bu sayede, ölçüm sonuçlarının sadece yorumlanmasına değil, aynı zamanda uygun ölçüm metodu ve ölçüm aralığının seçilmesinde de önemli rol oynayacaktır. Ölçülen büyüklüklerden hangisinin toplam hata üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunun belirlenmesi, ölçümlerin daha hassas yapılması için önlem almayı gerektirdiğinden sonuçların belirsizliğinin

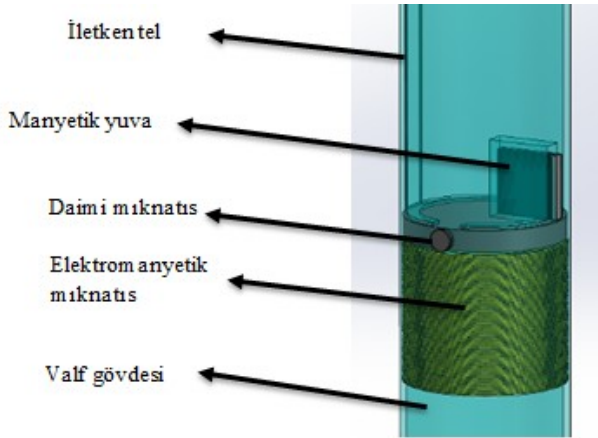
azalmasına ve bu sayede arzu edilen kesin ve doğru sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Ölçüm sonuçlarının doğru ve güvenilir olması özellikle üretime yönelik kalite artışını beraberinde getirecektir.

Bu çalışmada tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilen elektromanyetik tetiklemeli bir mikro valfin çalışma parametrelerine etki eden faktörlerin hata oranları belirsizlik analizi yöntemi ile tespit edilmiştir. Geliştirilen valf elektromıknatis ve mıknatisin aynı ortamda ve aralarında belirli mesafe bulunması durumunda oluşan elektromanyetik çekim kuvveti sayesinde çalışmaktadır. Bobin ve mıknatis arasında oluşan elektromanyetik çekim kuvveti direkt olarak tek bir formülle ve ayrıca tek bir cihaza bağlı olarak hesaplanıp ölçülemediğinden dolayı çalışmada öncelikle bu çekim kuvvetini oluşturan manyetik alanların belirsizlik yöntemi ile hata oranlarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak daimi mıknatis için hata oranı bulunmuştur. Bir sonraki adımda elektromıknatis için hata oranı hesaplanmıştır. Son olarak elektromıknatis ve mıknatisin aynı ortamda bulunması durumu için hata oranı belirsizlik analizi yöntemi ile hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Elektromıknatis tetiklemeli mikro valf tasarımında kullanılan ölçümler, yöntemleri ve ölçümlerde kullanılan cihazların özellikleri aşağıda verilmiştir. Hata ve belirsizlik analizi yapılması için gereken ölçümler dört ana başlık altında toplanmıştır. İlk olarak daimi mıknatisin manyetik alanı ölçümleri, devamında elektromıknatisin manyetik alanı sonrasında her iki mıknatisin aynı ortamda bulunması durumunda oluşan manyetik alan ölçümleri ve en son her iki mıknatisin etkileşimi ile oluşan kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Üç farklı durum için manyetik alan ölçümü alınmasının sebebi; bilindiği gibi daimi mıknatisin ve elektromanyetik mıknatisin buldukları ortamda tek başlarına farklı, birlikte (etkileşim halinde) olduklarında farklı manyetik alanların ortaya çıkmasından dolayıdır. Prototipi üretilen elektromıknatis tetiklemeli mikro valfin izometrik ve kesit görünümü Şekil 2.1’ de görülmektedir. Aşağıdaki şekilde şematize edilen valf bileşenleri; daimi mıknatis, daimi mıknatisin açık ve kapalı

konumda durmasını sağlayan manyetik yuva, elektromanyetik mıknatis görevi gören bir bobin, bobine elektrik veren iletken tel ve tüm bu parçaların oturduğu ve içerisinden akışkan geçen silikon bir gövdeden oluşmaktadır.

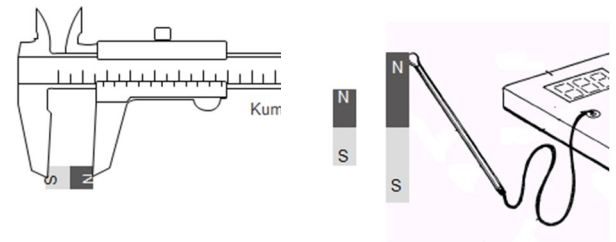


Şekil 2.1. Elektromıknatis tetiklemeli mikro valfin izometrik ve kesit olarak şematize edilmiş görüntüleri (Electromagnetically triggered microvalves are isometric and sectioned figures)

2.1. Daimi Mıknatisin Manyetik Alan Ölçümleri (Magnetic Field Measurements of The Permanent Magnet)

Çalışmada, tasarlanan valfin elektromanyetik kuvvetinin hesaplanabilmesi için derecesine, şekillerine ve kutuplarına göre neodyum mıknatisların manyetik alan hesaplamaları gerçekleştirilmiştir[3]. Manyetik malzemelerin şekillerine (silindir, prizma, delikli) bağlı olarak farklı geometri ve farklı derecelerdeki mıknatisların ölçümü, kutupsal olarak ölçülmüş, uzaklığa bağlı olarak manyetik alan değerinin değişimi incelenmiştir. Elde edilen veriler, hesaplanan veriler ile karşılaştırılarak deneysel farklar çıkarılmıştır.

Deneyleerde manyetik malzemelerin dış ölçülerinin ölçümünde kullanılmak üzere 0-150 mm ölçüm aralığına sahip, hata payı $\pm\%2$ olan Absolute Digimatic marka kumpas kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan manyetik malzemelerin ölçülerine göre teorik olarak manyetik alan hesaplanabilmektedir.

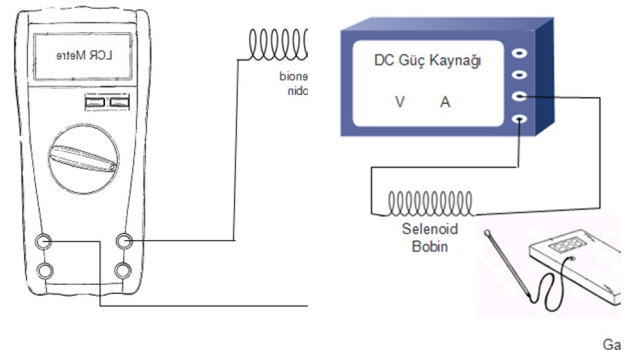


Şekil 2.2. Daimi mıknatisin manyetik alan ölçümü (Magnetic field measurement of permanent magnet)

Manyetik alan ölçümlerinde 0-300 mT ölçüm aralığına sahip, hata payı $\pm\%5$ olan EXTECH MF100 model AC/DC manyetik alan ölçüm cihazı (Gaussmetre) kullanılmıştır. Şekil 2.2' de daimi mıknatisin manyetik alan ölçümünde kullanılan cihazlar verilmiştir.

2.2. Elektromıknatisin Manyetik Alan Ölçümleri (Magnetic Field Measurements of The Electromagnet)

Bu aşamada valfi kontrol eden elektromıknatisin optimum değerlerini belirlemek, teorik sonuçlar ile karşılaştırmasını yapmak ve sistemin pili en iyi şekilde kullanımını sağlayabileceği iç direnç ve indüktans değerini belirlemek için bir dizi çalışma yapılmıştır. Öncelikle, farklı bobin çaplarında, aynı sarım sayısında sarılan bobinlerin iç direnç ve indüktans değerlerinin farklı tel çaplarına göre kıyaslaması yapılması amacı ile teorik ve pratik değerler kıyaslanmış, hata oranı hesaplanmıştır. Daha sonra, Bobine DC güç kaynağı bağlanarak elektromıknatislik özelliği kazandırılmıştır[4].



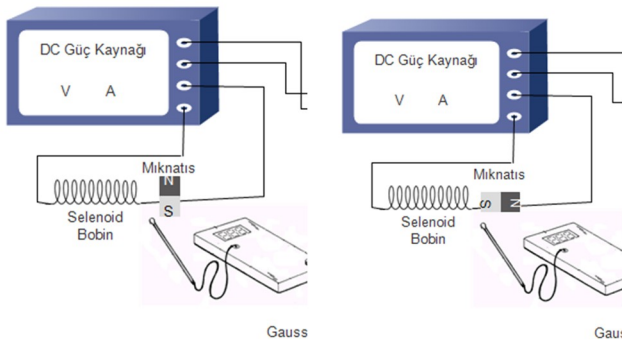
Şekil 2.3. Elektromıknatisin manyetik alan ölçümü (Magnetic field measurement of electromagnet)

Bu esnada oluşan manyetik alan değeri de Gaussmetre ile ölçülmüştür. Elektromıknatis tasarımı sonucu oluşturulan bobinin iç direnç ve

indüktans değerlerinin ölçümünde hata payı $\pm\%0.5$ olan EXTECH LCR200 model LCR metre kullanılmıştır. Elektromıknatisa DC güç kaynağı olarak hata payı $\pm\%10$ olan Yıldırım Elektronik marka Y-0012/1 model güç kaynağı kullanılmıştır. Şekil 2.3’ de elektromıknatisın manyetik alan ölçüm yönteminin şematik şekli verilmiştir.

2.3. Elektromıknatis ve Daimi Mıknatisın Aynı Ortamda Bulunması Durumunda Oluşan Manyetik Alan Ölçümleri (Magnetic Field Measurements of The Permanent Magnet and Electomagnet in the Same Environment)

İki daimi mıknatis aynı ortamda bulunması durumunda aralarındaki mesafeye bağlı olarak bir çekme/itme kuvveti oluştururlar[5]. Elektromıknatis özelliği kazandırılmış selenoid bobin ve daimi mıknatisın aynı ortamda bulunması durumunda meydana gelen manyetik alan değerleri ve çekim kuvveti oluşturmaktadır[6,7]. Bobin ve mıknatisın aynı ortamda bulunması durumunda farklı kutuplanmaların olması durumlarından mıknatisın rotasyonel hareket yönleri ve oluşan çekim kuvveti belirlenmiştir.

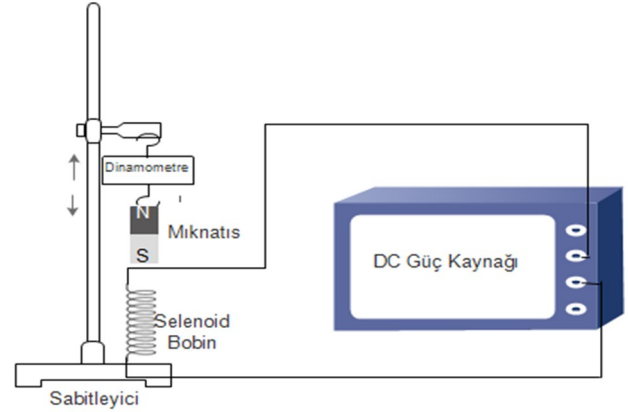


Şekil 2.4. Bobin ve mıknatisın birlikte manyetik alan değerinin ölçümü (Measurement of coil and magnet together with magnetic field)

Kutuplanma şekli sağ-sol şeklinde olan (diametrically magnet) mıknatis ve kutuplanma şekli alt-üst şeklinde olan (axially magnet) mıknatis ile rotasyonel hareketler incelenmiştir. İki manyetik malzemenin bir araya geldiğinde ortamdaki manyetik alan gaussmetre ile ölçülmüştür. Şekil-2.4’ te elektromıknatis özelliği kazandırılmış selenoid bobin ve daimi mıknatisın aynı ortamda bulunması durumunda meydana gelen manyetik alan değerlerinin ölçülmesinde kullanılan sistemin şematik şekli verilmiştir.

2.4. Daimi mıknatis ve Elektromıknatis Arasında Oluşan Kuvvet Ölçümleri (Measurement of the Force Between The Permanent Magnet and Electomagnet)

Elektromıknatisın itme ve çekme kuvveti değerleri Şekil-2.5’ te verilen ölçüm düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuvvetin ölçülmesinde ölçüm aralığı 0-5 N olan, hata payı $\pm\%1$ olan YISIDA DS-2 marka dinamometre kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Elektromıknatisın itme ve çekme kuvvetinin ölçümü (Measurement of pushing and pulling force of electromagnet)

3. HATA ANALİZİ (ERROR ANALYSIS)

Elektromanyetik tetiklemeli bir mikro valfin çalışmasında meydana gelen hata oranlarının ve bu hatanın en fazla hangi kısımdan meydana geldiğinin tespit edilmesi için hata analizleri aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda ve ölçülen büyüklükler kullanılarak hesaplanan sonuçlarda büyüklüklerin hata oranları, deney ekipmanlarının kalibrasyonları yapıldıktan sonra cihaz üreticileri tarafından belirlenen hata oranları baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Kısmi diferansiyel yöntem olarak da bilinen belirsizlik analizinde n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçümde;

R: Ölçülecek boyut,

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$: Ölçümü etkileyen parametreler,

$w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$: Bağımsız değişkenle ilgili hata oranı olarak kabul edilirse;

Toplam hata oranı W_R şu şekilde ifade edilir:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} W_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

ya da

$$\frac{W_R}{R} = \left[\left(\frac{W_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{W_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \left(\frac{W_{x_3}}{x_3} \right)^2 + \dots + \left(\frac{W_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Burada belirsizlik analizinin en büyük üstünlüğü, en büyük hataya sebep olan değişkenin hemen tespit edilebilmesidir.

4. VALF TASARIMI ÖLÇÜMÜNDE ORTAYA ÇIKAN TOPLAM HATALARIN ANALİTİK İFADELERİNİN ELDE EDİLMESİ (OBTAIN ANALYTIC VALUES OF TOTAL ERRORS WHEN MEASURING VALVE DESIGN)

İki manyetik malzeme arasında oluşan çekim kuvveti denklem 3 ve denklem 4 kullanılarak denklem 5'teki gibi hesaplanmıştır:

$$F_m = (\pi \times \mu_0 \times (2 \times H_1) \times R^4) \times \left(\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2 \times D)^2} - \frac{2}{(x+D)^2} \right) \quad (3)$$

$$B = \mu \times H \quad (4)$$

olduğundan;

$$F_m = \left(\frac{4 \times \pi \times B_1 \times B_2 \times R^4}{\mu_0} \right) \times \left(\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2 \times D)^2} - \frac{2}{(x+D)^2} \right) \quad (5)$$

Denklemlerde kullanılan ifadelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

F_m : Mıknatıs çekim kuvveti (N),

μ_0 : Manyetik Geçirgenlik (H/m),

H : Manyetik alan şiddeti (A/m),

R : Valf ve mıknatıs yarıçapı (m),

x : Valf ve mıknatıs arasındaki mesafe (m),

D : Mıknatıs Kalınlığı (m),

B : Manyetik akı yoğunluğu (T)

Bu denklem üzerinden hareketle, her bir manyetik alan değeri formülde değeri yerine girilerek manyetik çekim kuvveti bulunabilmekte ve manyetik alan ölçümü Gaussmetre ile Tesla ya da Gauss birimi ile ölçülebilmektedir. Bu sebeple öncelikle manyetik alan değerlerinin ayrı ayrı belirsizlik analizi yapıp, ardından manyetik çekim kuvvetinin belirsizlik analizi hesaplanmıştır.

5. BELİRSİZLİK HESAPLAMALARI (CALCULATION OF UNCERTAINTY)

5.1. Daimi mıknatısın manyetik alan hesaplamasında oluşan belirsizlik hesaplaması (Calculation Uncertainty in Magnetic Field of The Permanent Magnet)

Mıknatısın manyetik alan ölçümü hata payı denklem 6'da verilen formül üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle mıknatıs seçiminde malzeme ve mıknatısın boyutsal hesaplamalarında yapılan hata payı bulunmuştur:

$$B = \frac{B_r}{2} \times \left(\frac{D+z}{\sqrt{R^2+(D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2+z^2}} \right) \quad (6)$$

Burada;

B_r : Rezidüel manyetik alan (T)

R : Mıknatısın yarıçapı (m)

D : Mıknatısın Kalınlığı (m)

z : Mesafe (m) ' ifade etmektedir.

B_r (Rezidüel manyetik alan değeri) nin hata payı $\pm 5\%$ alınmıştır.

Denklemlerde verilen toplam hata oranı formülünden belirsizlik değeri denklem 7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
W_{B1} &= \left[\left(\frac{W_{B_r}}{B_r} \right)^2 + \left(\frac{R^2 \times \sqrt{R^2 + z^2}}{R^2 + (D+z)^2 \times ((D+z) \times \sqrt{R^2 + z^2} - z \times \sqrt{R^2 + (D+z)^2})} W_D \right)^2 \right. \\
&+ \left(\frac{R^2 \times (R^2 + z^2)^{3/2} - (R^2 + (D+z)^2)^{3/2}}{(R^2 + z^2) \times (R^2 + (D+z)^2) \times ((D+z) \times \sqrt{R^2 + z^2}) - (z \times \sqrt{R^2 + (D+z)^2})} W_z \right)^2 \\
&\left. + \left(\frac{R \times (z \times [(R^2 + (D+z)^2]^{3/2}) - (D+z) \times (R^2 + z^2)^{3/2}]}{((D+z) \times \sqrt{R^2 + z^2}) \times (R^2 + z^2) \times ((D+z) \times \sqrt{R^2 + z^2}) - (z \times \sqrt{R^2 + (D+z)^2})} W_R \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)
\end{aligned}$$

Denklem 7’de kullanılan ifadelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

W_{B1} : Daimi mıknatıs manyetik alan hata oranı
 W_{B_r} : Mıknatısın rezidüel manyetik alan değerinin hata oranı
 W_D : Mıknatısın kalınlık ölçümündeki hata oranı
 W_z : Mıknatısın ölçüm cihazına olan uzaklığının ölçülmesindeki hata oranı
 W_R : Mıknatısın yarıçap ölçümündeki hata oranı

Bu aşamada mıknatısın manyetik alan değerinin belirsizlik analizi yöntemi ile hata payı hesaplanmıştır. Elde edilen denklemde Tablo 5.1 A’ da verilen değerler yerlerine koyularak manyetik malzemenin manyetik alan ölçümlerindeki hata değeri belirsizlik analizi ile elde edilmiştir. Mıknatısın manyetik alan hata oranı W_{B1} : 0,099328 = ±%9,9 olarak elde edilmiştir.

5.2 Elektromıknatısın Manyetik Alan Değeri Hesabında Oluşan Belirsizlik Hesaplaması (Calculation Uncertainty in Magnetic Field of The Electomagnet)

Elektromıknatısın manyetik alan değeri formülünün en açık hali kullanılarak belirsizlik analizi hesaplanmıştır.

$$B = \mu \times H \quad (4)$$

$$H = \frac{F_{mmf}}{l_b} \quad (8)$$

$$F_{mmf} = N \times I \quad (9)$$

$$V = I \times R_{iç} \quad (10)$$

$$N = \frac{l_t}{2 \times \pi \times (r_b + \frac{r_t}{2})} \quad (11)$$

$$B = \frac{v}{R_{iç}} \times \left(\frac{l_t}{2 \times \pi \times (r_b + \frac{r_t}{2})} \right) \times \mu \quad (12)$$

Burada;

B : Manyetik akı yoğunluğu (T)

μ : Manyetik Geçirgenlik (H/m)

H : Manyetik alan şiddeti (A/m)

r_b : Bobin yarıçapı (m)

r_t : Tel yarıçapı (m)

N : Bobin sarım sayısı

I : Akım değeri (A)

V : Gerilim/ Volt (V)

$R_{iç}$: Bobin iç direnci (Ω)

l_b : Bobin boyu (m)

l_t : Bobinde kullanılan tel boyu (m)

F_{mmf} : Manyetomotor kuvveti (amper-sarım) ifade etmektedir.

Denklem 12 kullanılarak elektromıknatisin manyetik alan değeri hesabında oluşan belirsizlik hesaplanarak hata payı bulunmuştur.

$$W_{B2} = \left[\left(\frac{\partial B}{\partial V} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial R_{iç}} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial l_t} W_3 \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial l_b} W_4 \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial r_b} W_5 \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial r_t} W_6 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

$$W_{B2} = \left[\left(\frac{W_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{W_{R_{iç}}}{R_{iç}} \right)^2 + \left(\frac{W_{l_t}}{l_t} \right)^2 + \left(\frac{W_{r_b} \times (-2r_b + r_t)}{2(r_b)^2} \right)^2 + \left(\frac{W_{l_b}}{l_b} \right)^2 + \left(\frac{W_{r_t}}{2(r_t)^2} \times \left(r_b + \frac{r_t}{2} \right) \right)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

Burada;

W_{B2} : Elektromıknatisin manyetik alan ölçümünde oluşan hata oranı

W_V : Güç kaynağından çekilen gerilim değeri hata oranı

$R_{iç}$: Bobin iç direnci (Ω)

V : Gerilim/ Volt (V)

$W_{R_{iç}}$: Bobinin iç direnç ölçümündeki hata oranı

W_{l_t} : Tel boyu ölçümünde oluşan hata oranı

l_t : Bobinde kullanılan tel boyu (m)

W_{r_b} : Bobin yarıçapı ölçümünde oluşan hata oranı

r_b : Bobin yarıçapı (m)

r_t : Tel yarıçapı (m)

W_{l_b} : Bobin boyu ölçümünde oluşan hata oranı

l_b : Bobin boyu (m)

W_{r_t} : Tel yarıçapı ölçümünde oluşan hata oranı' nı ifade etmektedir.

Bu aşamada elektromıknatisin manyetik alan değerinin belirsizlik analizi yöntemi ile hata payı bulunmuştur. Tablo 5.2-B'de verilen değerler kullanılarak elektromıknatisin manyetik alan değerinde meydana gelen hata oranı tespit edilmiştir. Hata oranı W_{B2} : 0,066211 = \pm %6 olduğu tespit edilmiştir.

5.3. Çekim Kuvveti Hesaplamasında Kullanılan Formül Üzerinden Belirsizlik Hesaplaması (Calculation Uncertainty with Formula Which is Used for Gravitational Force)

Çekim kuvveti hesaplamasında kullanılan formül üzerinden hata analizinin yapılması amacı ile belirsizlik analizi yöntemi manyetik alan çekim kuvveti formülüne de uygulanmıştır.

$$F_m = \left[\frac{\pi \times B_1 \times B_2 \times R^4}{\mu_0} \right] \times \left[\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2 \times D)^2} - \frac{2}{(x+D)^2} \right] \quad (15)$$

Burada;

F_m : Bobin-Mıknatis çekim kuvveti(N)

μ_0 : Manyetik Geçirgenlik (H/m)

R : Valf ve mıknatis yarıçapı (m)

x : Valf ve mıknatis arasındaki mesafe (m)

D : Mıknatis Kalınlığı (m)

B_1 : Mıknatis manyetik akı yoğunluğu (T)

B_2 : Elektromıknatis manyetik akı yoğunluğu (T)' nu ifade etmektedir.

$$W_{F_m} = \left[\left(\frac{\partial F_m}{\partial B_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial F_m}{\partial B_2} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial F_m}{\partial R_1} W_3 \right)^2 + \left(\frac{\partial F_m}{\partial R_2} W_4 \right)^2 + \left(\frac{\partial F_m}{\partial x} W_5 \right)^2 + \left(\frac{\partial F_m}{\partial D} W_6 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$W_{F_m} = \left[\left(\frac{W_{B1}}{B_1} \right)^2 + \left(\frac{W_{B2}}{B_2} \right)^2 + \left(\frac{W_{R1}}{R_1} \right)^2 + \left(\frac{W_{R2}}{R_2} \right)^2 + \left(-2 \times \left(\frac{1}{x^3} + \frac{1}{(x+2 \times D)^3} - \frac{2}{(x+D)^3} \right) \times \left(x^2 + (x+2 \times D)^2 - \frac{(x+D)^2}{2} \right) W_x^2 + \left(-4 \times \left(\frac{1}{(x+2 \times D)^3} - \frac{1}{(x+D)^3} \right) \times \left(x^2 + (x+2 \times D)^2 - \frac{(x+D)^2}{2} \right) W_D^2 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

Buradaki ifadelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

W_{F_m} : Bobin-Mıknatis çekim kuvveti ölçümünde oluşan hata oranı

W_{B1} : Mıknatisin manyetik akı yoğunluğu ölçümünde oluşan hata oranı

B_1 : Mıknatis manyetik akı yoğunluğu (T)

W_{B2} : Elektromıknatisin manyetik akı yoğunluğu ölçümünde oluşan hata oranı

B_2 : Elektromıknatis manyetik akı yoğunluğu (T)

W_{R_1} : Mıknatis yarıçapı ölçümünde oluşan hata oranı

R_1 : Mıknatis yarıçapı (m)

Denklem 17' de Tablo 5.1-C'de verilen değerler kullanılarak manyetik alan çekim kuvvetinde meydana gelen hata oranı tespit edilmiştir. Hata oranı W_{F_m} : 0,100085 = $\pm\%10$ olarak hesaplanmıştır.

Bu esnada çalışmada bahsi geçen sağ-sol şeklinde kutuplu mıknatisın seçilme sebebi de deneysel çalışmada, 90°lik hareket yaptığından ancak; alt-üst şeklinde kutuplu mıknatisa 180°lik hareket yaptığından, sıvı akışını kontrol etmek amacı ile sağ-sol kutuplu mıknatisın kullanılması gerektiği görülmüştür.

Tablo 5.1. Belirsizlik hesaplamalarında kullanılan değerler ve hesaplanan hata sonuçları (Values used in uncertainty calculations and calculated error results)

A-Daimi mıknatis manyetik alan ölçümü hata hesaplamasında kullanılan değerler (5.1)		B- Elektro mıknatis manyetik alan ölçümü hata hesaplamasında kullanılan değerler (5.2)		C-Valf çekim kuvveti ölçümü hata hesaplamasında kullanılan değerler (5.3)	
W_{B_r}	0,05	W_V	0,1	W_{B_1}	0,1
W_D	0,02	$W_{R_{iç}}$	0,005	W_{B_2}	0,06
W_z	0,02	W_{l_t}	0,02	W_{R_1}	0,02
W_R	0,02	W_{r_b}	0,02	W_{R_2}	0,02
R	5mm	W_{r_t}	0,02	W_x	0,02
D	1mm	W_{l_b}	0,02	W_D	0,02
z	0,001	V	2	B_1	2500
B_r	1,42	$R_{iç}$	10	B_2	3
		l_t	0,05	R_1	0,005
		r_b	0,005	R_2	0,005
		r_t	0,0001	x	0,001
		l_b	0,03	D	0,001
Sonuç 5.1		Sonuç 5.2		Sonuç 5.3	
W_{B_1} : 0,099328 = $\pm\%9,9$		W_{B_2} : 0,066211 = $\pm\%6$		W_{F_m} : 0,100085 = $\pm\%10$	

W_{R_2} : Bobin yarıçapı ölçümünde oluşan hata oranı

R_2 : Bobin yarıçapı (m)

W_x : Valf ve mıknatis arasındaki mesafe ölçümünde oluşan hata oranı

x : Valf ve mıknatis arasındaki mesafe (m)

W_D : Mıknatis kalınlığı ölçümünde oluşan hata oranı

D : Mıknatis kalınlığı (m)

6. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yapılan bu çalışmada; tasarlanan döner kapaklı mikro elektro-manyetik valf in manyetik/elektromanyetik davranışındaki bileşenler ele alınarak, deneysel çalışmalarda hata analizinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu sistem için hata oluşturan kriterler belirlenerek hataların dereceleri ve miktarları tespit edilmiştir.

Sistemdeki en büyük hata değeri daimi mıknatis manyetik alanın ölçümü (1. adım) ve Valf çekim kuvveti ölçümünden (3. adım) kaynaklandığı tespit edilmiştir. Elektro mıknatis manyetik alan ölçümünde (2. adım) ise hata değeri daha düşük bir değerde olduğu (W_{B_2} : 0,066211 = $\pm\%6$) tespit edilmiştir. 1. adımın yüksek çıkmasının sebebi; rezidüel manyetik alanın hata payının yüksek olmasıdır (-/+0.5) ve hesaplanan hata oranı W_{B_1} : 0,099328 = $\pm\%9,9$ olarak bulunmuştur. 3. adımdaki hata oranının hesabında ilk ve ikinci adımlardaki hata paylarının da hesap içerisinde kullanılmasından dolayı hata oranı yüksek bulunmuştur. 3. Adımda hesaplanan hata oranı W_{F_m} : 0,100085 = $\pm\%10$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla deney düzeneğinde ölçümlerde kullanılan, özellikle 1. Adımda daimi mıknatis manyetik alan ölçümünde kullanılan cihazların

hassasiyetlerinin arttırılması gerektiği görülmüştür.

Bu çalışmanın ileride yapılacak olan deneysel çalışmalardaki hata analizlerinin tespitinde araştırmacılara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Akpınar E. K., “Deneysel Çalışmalardaki Hata Analizine Bir Örnek: Kurutma Deneylerindeki Hata Analizi”, Mühendis ve Makina Dergisi, 46(540),41-48, 2005.
- [2] Holman J.P., “Experimental Methods for Engineers”, McGrawHill Book Company, 37-52, 1971.
- [3] J. M. Camacho and V. Sosaa, “Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry”, Revista Mexicana de Física E 59 (2013) 8–17, 8 January 2013.
- [4] Manish Jain (1990) “Build your own coils and transformers” BPB publications B-14, Connaught place, new Delhi-1 India.
- [5] E. V.Villanueva, V. Zermeno, and V. Sosa, “Calculation of vertical force between finite, cylindrical magnets and superconductors”, REVISTA MEXICANA DE FÍSICA 54 (4) 293–298, 22 April 2008.
- [6] Vokoun, David; Beleggia, Marco; Heller, Ludek; Sittner, Petr, “Magnetostatic interactions and forces between cylindrical permanent magnets”. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 321 (22): 3758–3763, 2009.
- [7] D. S. Shu’aibu and, S. S. Adamu, Design, “Development and Testing of an Electromagnet for magnetic levitationsystem”, Bayero University, Kano Nigeria, 2015.