



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 15.12.2025
Kabul Tarihi : 27.01.2026

Received Date : 15.12.2025
Accepted Date : 27.01.2026

DÜZ YÜZLÜ DİSK TİPİ MIKNATIS DEVRELERİNDE DİSK KALINLIĞININ MIKNATIS KUVVETİNE ETKİSİNİN DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DISC THICKNESS ON MAGNETIC FORCE IN FLAT FACED DISC TYPE OF MAGNETIC CIRCUITS

Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK (ORCID: 0000-0003-3292-8324)

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK, zkamis@uludag.edu.tr

ÖZET

Düz yüzlü disk tipi mıknatıs devrelerinde mıknatıs devresi boyutlandırıldıktan sonra mıknatıs kuvvetini etkileyen en temel parametreler bobin akımı (i) ve disk ile sabit kutup arasındaki hava aralığı mesafesidir (x). Mıknatıs devresi boyutlarına bağlı olarak belirlenen disk kalınlığı, mıknatıs direnci ve saçaklanma akılarını etkilediği için mıknatıs kuvvetini de etkilemektedir. Bu çalışmada, düz yüzlü disk tipi mıknatıs devrelerinde disk kalınlığının mıknatıs kuvvetine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla hava aralığı mesafesi (x), bobin akımı (i) ve disk kalınlığı (w) tasarım parametreleri olarak belirlenmiş ve bu parametreler için üçer seviye öngörülerek Taguchi L9 ortogonal dizisine göre deney tasarımı (DoE) oluşturulmuştur. Her bir kombinasyon için mıknatıs devresinin sağladığı mıknatıs kuvveti deneysel olarak ölçülmüştür. Mıknatıs devrelerinde mıknatıs kuvvetinin mümkün olduğu kadar yüksek olması gerektiğinden “daha büyük-daha iyi” performans kriteri ile sinyal/gürültü (S/G) oranı analizi uygulanarak en uygun parametreler ve parametrelerin önem sırası belirlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile her bir parametrenin mıknatıs kuvveti üzerindeki yüzdelik katkısı elde edilmiştir. Analiz sonucunda disk kalınlığının mıknatıs kuvveti üzerinde % 14,63 oranında etkili olduğu belirlenmiştir. S/G oranı değerleri kullanılarak parametrelere bağlı olarak mıknatıs kuvveti hesaplanmış ve hesaplanan değerlerle deney sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düz yüzlü disk tipi mıknatıs devresi, mıknatıs kuvveti, disk kalınlığı, Taguchi

ABSTRACT

In flat faced disc type of magnetic circuits, after the magnetic circuit is dimensioned, the primary parameters affecting the magnetic force are the coil current (i) and the air gap (x) between the disc and the fixed pole. The disc thickness, determined depending on the magnetic circuit dimensions, affects the magnetic force because it affects the magnetic reluctance and fringing fluxes. In this study, the effect of disc thickness on the magnetic force in flat faced disc type of magnetic circuits was experimentally investigated. For this purpose, the air gap (x), coil current (i), and disc thickness (w) were selected as design parameters, and the design of experiment (DoE) was created based on the Taguchi L9 orthogonal array with three levels assigned to each parameter. The magnetic force provided by the magnetic circuit was experimentally measured for each combination of parameters. Since the magnetic force in magnetic circuits should be as high as possible, the optimal parameters and contribution ratios were determined by applying signal-to-noise (S/N) ratio analysis with the "larger-the-better" performance criterion. The percentage contribution of each parameter to the magnetic force was determined using analysis of variance (ANOVA). The results indicated that the disc thickness has a 14.63% effect on the magnetic force. Subsequently, the magnetic force was calculated as a function of the parameters using the S/N ratios, and a good agreement was observed between the calculated values and the experimental results.

Keywords: Flat faced disc type of magnetic circuit, magnetic force, disc thickness, Taguchi

GİRİŞ

Mıknatıs devreleri, elektriksel sinyali mekanik harekete dönüştürmek amacıyla mekatronik sistemlerde yaygın olarak kullanılırlar. Mıknatıs devrelerinin hızlı cevap verebilmeleri için tepki sürelerinin mümkün olduğu kadar kısa olması ve bunun için sağladıkları mıknatıs kuvvetinin mümkün olduğu kadar yüksek olması gerekir. Bu nedenle, elektromıknatıs tasarımında mıknatıs devresi tasarım parametrelerinin uygun şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir (Duzgun & Sefkat, 2024; Kocacıçak, 2020; Kocacıçak & Demir, 2020; Sefkat, 2009; Sefkat, 2010; Topcu vd., 2008).

Mıknatıs devreleri doğası gereği oldukça karmaşık sistemlerdir ve temel denklemleri, sızıntı akıları, manyetik doyma ve girdap akımı etkileri nedeniyle doğrusal değildir. Doğrusal olmayan dinamik özelliklerinin analiz edilmesi için mıknatıs devresi modellerinden yararlanılabilir. Literatürde, mıknatıs devrelerinin tasarımı, modellenmesi, optimizasyonu ve çeşitli mühendislik alanlarında uygulaması üzerinde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Duzgun & Sefkat, 2024; Kocacıçak, 2020; Kocacıçak & Demir, 2020; Sefkat, 2009; Sefkat, 2010; Topcu vd., 2008; Yang vd., 2022).

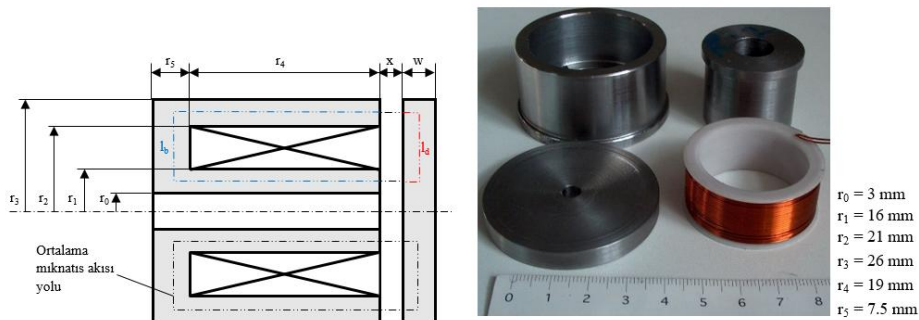
Mıknatıs devresi tasarım parametrelerinin etkileri analitik veya sayısal modeller kullanılarak analiz edilebileceği gibi deney verileri kullanılarak da analiz edilebilir (Lee vd., 2016). Ancak deney ile inceleme yaparken parametre sayısı ve seviyeleri arttıkça gerekli deney sayısı da artar. Deney tasarımı (DoE) yöntemi kullanılarak bu sayıyı azaltmak mümkündür (Kocacıçak & Acar, 2025). Taguchi ortogonal dizilerine göre oluşturulan deney tasarımı (DoE) yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Kocacıçak, 2025a; Turan vd., 2024). Elektromekanik sistemler için Taguchi temelli DoE uygulamaları da literatürde yer almaktadır (Demir & Akuner 2018; Demir & Kocacıçak, 2021; Hsiao vd., 2021; Kim & Doo, 2003; Lee vd., 2016; Parivar & Darabi, 2022; Sharma & Singh, 2021; Xu vd., 2015; Yan vd., 2023; Yang vd., 2021; Yang vd., 2022; Zhang vd., 2021; Zhang vd., 2022). Yapılan incelemelerden görüldüğü kadarıyla disk tipi mıknatıs devrelerinde Taguchi deney tasarımı uygulaması (DoE) ve disk kalınlığı üzerine yapılan bir çalışma halihazırda bulunmamaktadır. Çalışma bu açıdan literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, bir otomotiv uygulaması için tasarlanmış ve üretilmiş olan düz yüzlü disk tipi bir mıknatıs devresi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında hava aralığı mesafesi (x), bobin akımı (i) ve disk kalınlığının (w) mıknatıs kuvveti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu parametreler için belirlenen seviyelerine göre Taguchi L9 ortogonal dizi yaklaşımıyla bir deney tasarımı (DoE) oluşturulmuş ve DoE’deki her bir kombinasyon için statik halde mıknatıs kuvveti ölçülmüştür. Mıknatıs kuvvetini en yüksek yapacak parametre kombinasyonunu ve parametrelerin öncelik sırasını belirlemek için “daha büyük-daha-iyi” performans kriterine göre sinyal/gürültü (S/G) oranı analizi uygulanmıştır. Tasarım parametrelerinin mıknatıs kuvvetine katkı oranları ise varyans analizi (ANOVA) ile elde edilmiştir. Son olarak analiz sonuçlarının doğruluğunu göstermek için S/G oranı değerlerine bağlı olarak hesaplanan mıknatıs kuvveti değerleri ile deney sonuçları karşılaştırılmış ve hesaplanan değerlerin deney sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Düz Yüzlü Disk Tipi Mıknatıs Devresi

Bu çalışmada bir otomotiv uygulaması için tasarlanmış ve üretilmiş olan düz yüzlü disk tipi bir mıknatıs devresi ele alınmıştır (Şekil 1). Bu mıknatıs devresi akı yolu için seri, mekanik olarak paralel iki çalışma aralığına sahip olup hareketli elemanı disk şeklindedir. Bu yapı sayesinde küçük hava aralıklarında (x) yüksek mıknatıs kuvvetleri elde edilmekte ancak hava aralığı mesafesi arttıkça bu kuvvetler önemli ölçüde azalmaktadır. Bobin akımı arttıkça mıknatıs kuvveti de artmaktadır (Kocacıçak, 2020; Sefkat, 2009; Sefkat, 2010; Topcu vd., 2008).



Şekil 1. Düz Yüzlü Disk Tipi Mıknatıs Devresi

Disk tipi mıknatıs devresinin statik ve dinamik davranışları, elektrik, manyetik ve mekanik alt sistemlerinin birbiriyle etkileşimine bağlı olarak elde edilmektedir (Kocacıçak, 2020; Sefkat, 2009; Sefkat, 2010; Topcu vd., 2008). Mıknatıs devresinin bobinine uygulanan elektrik gerilimine (e) karşılık oluşan akım değişimi (i) sonucu devrede bir mıknatıs akısı değişimi oluşur. Kirchoff yasasına göre bu ifadenin matematiksel bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$e = Ri + \frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

Burada R bobinin elektriksel direncidir (Ω). Akı bağı (Ψ) mıknatıs akısına (ϕ), bobin indüktansına (L) ve bobin akımına (i) bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\psi = N\phi = Li \quad (2)$$

Burada N bobinin sarım sayısıdır.

Devrede oluşan mıknatıs akısı (1) ve (2) nolu denklemlerden aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\phi = \frac{1}{N} \int e - Ri \quad (3)$$

Magnetomotor kuvveti (Ni) mıknatıs akısına bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Ni = (R_b + R_h + R_d)\phi \quad (4)$$

Burada R_b , R_h ve R_d sırasıyla bobinin içinde bulunduğu sabit kutup, hava aralığı ve disk elemanın mıknatıs dirençleri olup

$$R_b = \frac{l_b}{\mu_0 \mu_r A}, \quad R_h = \frac{2x}{\mu_0 A}, \quad R_d = \frac{l_d}{\mu_0 \mu_r A} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada A etkin kesit alanı (m^2), l_b sabit kutuptaki akı yolu (m), l_d diskteki akı yolu (m), μ_0 hava aralığı geçirgenlik katsayısı (H/m) ve μ_r manyetik malzemenin izafi geçirgenlik katsayısıdır.

Hava aralığı mıknatıs geçirgenliğine ($P_h = 1/R_h$) bağlı olarak hava aralığında depolanan enerji aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$W = \frac{1}{2} \frac{\phi^2}{P_h} \quad (6)$$

Hava aralığında depolanan enerjinin hava aralığı mesafesine göre türevi mıknatıs devresinin sağladığı mıknatıs kuvvetini verir. Bu durumda, mıknatıs kuvveti mıknatıs akısına (ϕ) bağlı olarak aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$F_m = \frac{dW}{dx} = \frac{\phi^2}{\mu_0 A} \quad (7)$$

İndüktans sarım sayısı (N) ve hava aralığı geçirgenliğine (P_h) bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

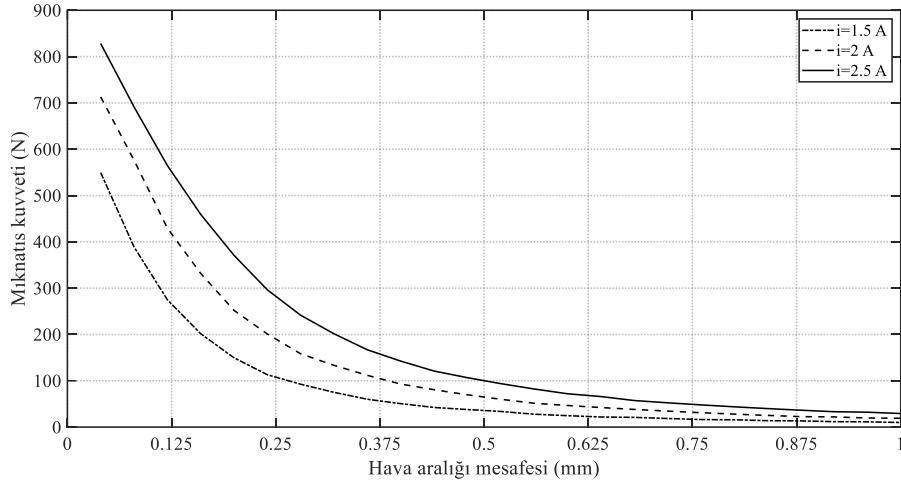
$$L = N^2 P_h = \frac{\mu_0 AN^2}{2x} \quad (8)$$

2 nolu denklemden ϕ çekilip (7) nolu denklemde yerine konulursa ve (8) nolu denklemdeki indüktans ifadesi kullanılırsa mıknatıs kuvveti, bobin akımı (i) ve hava aralığı mesafesine (x) bağlı olarak da aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_m = \frac{\mu_0 A (Ni)^2}{4x^2} \quad (9)$$

(9) nolu denklemden görüldüğü gibi mıknatıs kuvveti bobin akımının karesi ile artarken hava aralığı mesafesinin karesi ile azalmaktadır. Mıknatıs kuvveti karşı yay kuvvetini yendikten sonra disk harekete zorlanır.

Şekil 1' de boyutları verilen mıknatıs devresi için farklı akım değerlerinde teorik olarak elde edilen statik kuvvet-hava aralığı mesafesi değişim eğrileri Şekil 2' de verilmektedir. Disk kalınlığının mıknatıs kuvveti üzerindeki etkisi (7) ve (9) nolu denklemlerde doğrudan görülmemektedir. Bu nedenle disk kalınlığı statik karakteristik eğrilerinde teorik olarak belirgin bir etkiye sahip değildir.



Şekil 2. Statik Karakteristik Eğrileri

Disk kalınlığının etkisi mıknatıs kuvveti ifadelerinde açıkça gözükmemesine karşın disk kalınlığı akı yolunu (l_d) ve (5) nolu denklemden görüleceği üzere mıknatıs direncini etkilediği için mıknatıs kuvveti üzerinde etkilidir. Disk kalınlığının artması akı yolu ve buna bağlı olarak mıknatıs direncini arttırmaktadır. Disk kalınlığının fazla incilmesi de kayıp akıları arttırmaktadır. Mıknatıs direncinin ve kayıp akıların artması mıknatıs kuvvetini azaltmaktadır. Bu nedenle mıknatıs devresi tasarımında uygun disk kalınlığının belirlenmesi son derece önemlidir.

Deneyel Çalışmalar ve Deney Tasarımı (DoE)

Deneyel çalışmalar Şekil 3' te verilen deney düzeneği üzerinde yürütülmüştür. Aynı bobin tel çapı ve sarım sayısı için bobine farklı akımlar uygulanarak ve disk farklı hava aralığı mesafelerinde sabitlenerek mıknatıs devresinin sağladığı mıknatıs kuvveti %1 hassasiyet ile ölçülmüştür. Deneyler üç farklı akım değeri, üç farklı disk kalınlığı ve üç farklı hava aralığı mesafesi için tekrarlanmıştır.



Şekil 3. Deney Düzeneği

Bu çalışmada mıknatıs kuvvetini etkileyen hava aralığı mesafesi (x), bobin akımı (i) ve disk kalınlığı (w) tasarım parametresi olarak belirlenmiş ve bu parametrelerin seviyeleri Tablo 1' de gösterilmiştir. Şekil 1' de verilen düz yüzlü disk tipi mıknatıs devresi boyutlandırılırken disk kalınlığı (w) r_5 boyutu ile aynı seçilir (Roters, 1941). Bu nedenle deney tasarımında disk kalınlığı r_5 ' e eşit (7,5 mm) ve daha ince olacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 1. Tasarım Parametreleri ve Seviyeleri

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Hava aralığı mesafesi, x (mm)	0,25	0,5	0,75
Bobin akımı, i (A)	1,5	2	2,5
Disk kalınlığı, w (mm)	4	6	7,5

Bu çalışmada Taguchi ortogonal dizilerine göre deney tasarımı (DoE) oluşturulmuştur. Bu yöntem, tasarım parametrelerinin kombinasyon sayısını azaltarak belirli bir sistem içinde daha az sayıda deney ile sonuçların değerlendirilmesini sağlar. Bu yaklaşım, göreceli olarak daha önemli olan parametrelerin belirlenmesine imkân tanırken, önemsiz parametrelerin elenmesine olanak verir (Demir & Kocacıçak, 2021). Tablo 1’ de verilen tasarım parametreleri ve seviyelerine göre Taguchi L9 ortogonal dizisine göre deney tasarımı Tablo 2’ deki gibi oluşturulmuştur. Her kombinasyonda deneysel olarak ölçülen mıknatıs kuvveti değerleri de Tablo 2’ ye eklenmiştir.

Tablo 2. Taguchi L9 DoE Ortogonal Dizisi

Deney No	x (mm)	i (A)	w (mm)	F (N)
1	0,25	1,5	4	58,93
2	0,25	2	6	174,22
3	0,25	2,5	7,5	250,45
4	0,5	1,5	6	52,4
5	0,5	2	7,5	65,78
6	0,5	2,5	4	75,74
7	0,75	1,5	7,5	30,57
8	0,75	2	4	19,91
9	0,75	2,5	6	67,33

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sinyal/Gürültü (S/G) Oranı Analizi

Bu çalışmada Tablo 2’ de verilen kuvvet değerleri sinyal/gürültü (S/G) oranına çevrilerek analiz yapılmıştır. S/G oranları “daha büyük-daha iyi” performans kriterine göre (10) nolu denklem ile hesaplanmıştır (Arslanoğlu & Yigit, 2016; Kocacıçak & Acar, 2025; Kocacıçak, 2025b; Tuncel & Bayraklılar, 2024; Tutar vd., 2014). Her bir deney için hesaplanan S/G değerleri Tablo 3’ te verilmiştir.

$$S / G = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (10)$$

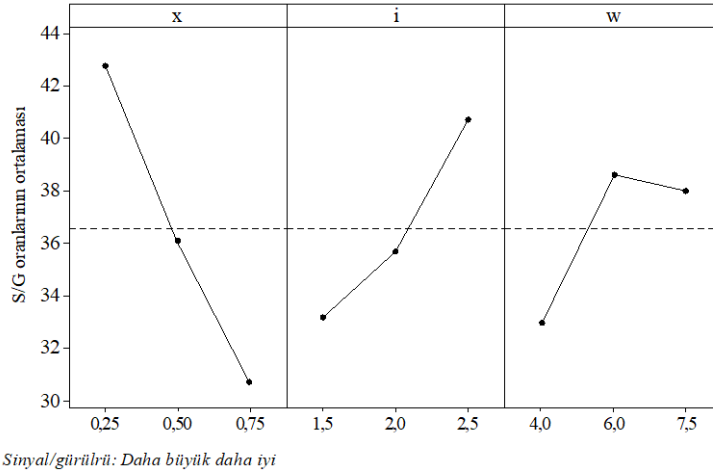
Burada y_i , i. deneyde ölçülen değer, n ise her bir kombinasyon için yapılan deney sayısıdır.

Tablo 3. Sinyal/Gürültü (S/G) Oranları

Deney No	S/G oranı
1	35,40673
2	44,82196
3	47,97442
4	34,38663
5	36,36188
6	37,58651
7	29,70591
8	25,98143
9	36,56417

Her parametre seviyesinin S/G oranlarının ortalama değerleri Şekil 4 ve Tablo 4’ te verilmiştir. Parametre seviyelerinde en büyük S/G oranları optimum performansı sağlar (Arslanoğlu & Yigit, 2016; Kocacıçak & Acar, 2025; Kocacıçak, 2025a; Kocacıçak, 2025b; Tuncel & Bayraklılar, 2024; Turan vd., 2024; Tutar vd., 2014). Şekil 4 ve Tablo 4’ e göre optimum kombinasyon $x=0,25$ mm, $i=2,5$ A ve $w=6$ mm olduğunda elde edilmektedir. Parametrelerin önem sırası ise $x>i>w$ ’ dir. Şekil 4’ ten görüldüğü gibi hava aralığı mesafesi (x) azaldıkça ve bobin akımı (i) arttıkça mıknatıs kuvveti artmaktadır. Ancak disk kalınlığı için ortalama değer daha yüksek mıknatıs kuvveti

sağlamaktadır. Çünkü disk kalınlığının artması akı yolunu arttırdığı için mıknatıs direncini arttırmakta ve kalınlığın azaltılması ise saçaklanma akılarını arttırdığı için mıknatıs kuvvetini azaltmaktadır.



Şekil 4. S/G Oranlarının Ortalamaları

Tablo 4. S/G Oranlarının Ortalamaları

Seviye	x	i	w
1	42,73	33,17	32,99
2	36,11	35,72	38,59
3	30,75	40,71	38,01
Fark	11,98	7,54	5,60
Sıralama	1	2	3

Varyans Analizi (ANOVA)

Bu çalışmada mıknatıs kuvvetini etkileyen parametrelerin etki oranlarını belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve analiz sonuçları Tablo 5' teki gibi elde edilmiştir. Analizin R-Sq değeri %93,40 olarak belirlenmiş olup, bu da sonuçların güvenilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 5' ten görüldüğü gibi ANOVA sonuçları, hava aralığı mesafesinin (x) mıknatıs kuvveti üzerinde %55,26' lık bir katkı oranıyla en etkili parametre olduğunu ortaya koymuştur. Bobin akımı (i) %23,51' lik bir katkı oranıyla ikinci, disk kalınlığı (w) %14,63 katkı oranıyla üçüncü etkili parametredir. Sonuç olarak, mıknatıs devreleri yakın mesafelerde yüksek mıknatıs kuvveti sağladığından diskin çalışma aralığı yani çalışılacak hava aralığı mesafesi mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir. Akım arttıkça daha yüksek mıknatıs kuvvetleri elde edilebilmektedir. Disk kalınlığının etkisi mıknatıs kuvveti hesabında doğrudan görülmemesine karşın ihmal edilebilecek düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Daha yüksek mıknatıs kuvveti için disk kalınlığının uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Mıknatıs devresi boyutlandırılırken disk kalınlığının Şekil 1' de verilen r_5 boyutunun yaklaşık %80' i kadar olması yeterli mıknatıs kuvveti sağlamaktadır.

Tablo 5. ANOVA Sonuçları

Kaynak	x	i	w	Hata	Toplam
Serbestlik	2	2	2	2	8
Kareler	24834	10566	6574	2967	44941
Katkı	55,26%	23,51%	14,63%	6,60%	100,00%
Kareler ort.	12417	5283	3287	1483	
F-Değer	8,37	3,56	2,22		
P-Değer	0,107	0,219	0,311		

Doğrulama Testleri

Her parametre seviyesinin ortalama değerleri kullanılarak tahmini S/G oranı (S/G') aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Arslanoğlu & Yigit, 2016; Tutar vd., 2014):

$$S/G' = S/G_{ort} + \sum_{i=0}^p (S/G_i - S/G_{ort}) \quad (11)$$

Burada S/G_{ort} tüm S/G oranlarının ortalaması, p parametre sayısı ve S/G_i her parametre seviyesinin ortalama S/G oranıdır. Hesaplanan S/G' değeri, daha büyük-daha iyi performans kriteri için aşağıdaki denklem kullanılarak mıknatıs kuvveti değerine dönüştürülmüştür (Tutar vd., 2014).

$$PV = 10^{-\frac{S/G'}{20}} \quad (12)$$

Bu çalışmada w=6 mm en uygun disk kalınlığı olarak belirlenmiştir. w=6 mm ve i=2.5 A için üç farklı hava aralığı mesafesinde (11) nolu denklem ile hesaplanan tahmini S/G oranları (S/G'), (12) nolu denklem ile hesaplanan tahmini mıknatıs kuvveti (F_m-tahmin) değerleri ve deneysel olarak ölçülen mıknatıs kuvveti (F_m-deney) değerleri Tablo 6' da verilmiştir. Tablo 6' dan görüldüğü gibi tahmin edilen değerlerle deneysel sonuçların uyumlu olduğu ve mevcut parametre seviyeleri için deney tasarımında bulunmayan farklı kombinasyonlar için de mıknatıs kuvveti değerlerinin yeterli doğrulukta hesaplanabileceği görülmektedir.

Tablo 6. i=2.5 A ve w=6 mm İçin Tahmin Ve Deney Sonuçları

x (mm)	S/G'	F _m -tahmin (N)	F _m -deney (N)
0,25	48,96564	280,73	291,77
0,50	42,34564	131,01	114,79
0,75	36,98564	70,68	67,33

SONUÇ

Bu çalışmada düz yüzü disk tipi mıknatıs devrelerinde disk kalınlığının mıknatıs kuvveti üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Mıknatıs kuvveti hava aralığı mesafesi (x) ve bobin akımına (i) bağlı olarak hesaplanırken, disk kalınlığı (w) mıknatıs kuvveti denkleminde yer almamaktadır. Ancak disk kalınlığı akı yolunu ve kayıp mıknatıs akılarını etkilediğinden mıknatıs kuvvetini etkilemektedir. Disk kalınlığının mıknatıs kuvveti üzerindeki etkisini analiz etmek için x, i ve w için uygun seviyeler belirlenerek Taguchi L9 ortogonal dizisine göre deney tasarımı (DoE) oluşturulmuştur. Deney tasarımında yer alan dokuz farklı kombinasyon için mıknatıs devresinde elde edilen mıknatıs kuvveti deneysel olarak ölçülmüştür. Mıknatıs devrelerinin yüksek mıknatıs kuvveti sağlaması istendiğinden “daha büyük-daha iyi” performans kriterine göre sinyal/gürültü (S/G) oranı analizi yapılmıştır. Analiz sonucuna göre x=0,25 mm, i=2,5 A ve w=6 mm en uygun parametre kombinasyonu olarak belirlenmiştir. Elde edilen grafiklerden hava aralığı mesafesi (x) azaldıkça ve bobin akımı (i) arttıkça mıknatıs kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir. Parametrelerin önem sırası ise x>i>w olarak tespit edilmiştir. Sonrasında parametrelerin etki yüzdelerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA sonucunda, hava aralığı mesafesi (x) %55,26' lık katkı oranıyla en etkili parametre olarak belirlenmiştir. Bobin akımı (i) %23,51' lik bir katkı oranıyla ikinci, disk kalınlığı (w) %14,63 katkı oranıyla üçüncü etkili parametre olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda mıknatıs devresi tasarlanırken disk kalınlığının da önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Son olarak yapılan analizlerin doğruluğunu göstermek amacıyla her parametre seviyesinin ortalama S/G oranları kullanılarak mıknatıs kuvveti hesaplanmış ve bu kuvvet değerlerinin deneysel olarak ölçülen kuvvetlerle uyumlu olduğu ortaya konmuştur.

Yapay Zeka Katkı Beyanı

Bu makale tamamen herhangi bir yapay zeka aracının yardımı olmadan yazılmış, düzenlenmiş, analiz edilmiş ve hazırlanmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazar tarafından oluşturulduğunu beyan ederim.

KAYNAKLAR

Arslanoğlu, N., & Yigit, A. (2016) Experimental investigation of radiation effect on human thermal comfort by Taguchi method. Applied Thermal Engineering, 92, 18-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.070>

- Demir, U., & Akuner, M.C. (2018). Design and optimization of in-wheel asynchronous motor for electric vehicle. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(4), 1517-1530. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416448>
- Demir, U., & Kocacıçak, Z. K. (2021). Performance assessments of the material for the traction motor cores of an electric racing kart. *Materials Testing*, 63(6), 519-528. <https://doi.org/10.1515/mt-2020-0085>
- Duzgun, E., & Sefkat, G. (2024). The design and analysis of a proportional solenoid with experimental validation of static and dynamic behaviour. *Applied Sciences*, 14(24), 11990. <https://doi.org/10.3390/app142411990>
- Hsiao, C.Y., Lai, C.H., Zheng, Z.X., & Li, G.Y. (2021). Design and implement of three-phase permanent-magnet synchronous wave generator using Taguchi approach. *Energies*, 14(7), 2010. <https://doi.org/10.3390/en14072010>
- Kim, J., & Doo, J. (2003). Magnetostrictive self-moving cell linear motor. *Mechatronics*, 13(7), 739–753. [https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(02\)00061-2](https://doi.org/10.1016/S0957-4158(02)00061-2)
- Kocacıçak, Z. K. (2020). Development of a bond graph model for electromechanical actuators. *Materials Testing*, 62(5), 459-464. <https://doi.org/10.3139/120.111504>
- Kocacıçak, Z. K., & Demir, U. (2020). Design and optimization of an electromechanical actuator for the latch of a foldable vehicle seat. *Materials Testing*, 62(7), 749-755. <https://doi.org/10.3139/120.111539>
- Kocacıçak, Z. K., & Acar, Z. (2025). Optimal hydraulic engine mount parameters using design of experiment (DoE) and response surface methodology. *Materials Testing*, 67(4), 728-736. <https://doi.org/10.1515/mt-2024-0422>
- Kocacıçak, Z. K., & Acar, Z. (2025). Taguchi-based grey relational analysis on multiple damping characteristics of a hydraulic engine mount. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 50(17), 13623-13634. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09510-8>
- Kocacıçak, Z. K. (2025a). Experimental investigation of a hydraulic engine mount by Taguchi method. *International Journal of Simulation Modelling*, 24(2), 203-212. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM24-2-710>
- Kocacıçak, Z. K. (2025b). Bir hidrolik motor takozunun taguchi yöntemi ile deneysel olarak incelenmesi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 15(2), 718-729. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1603760>
- Lee, T.C.H., Shin, B.H., & Bang, Y.B. (2016). Designing a permanent-magnetic actuator for vacuum circuit breakers using the Taguchi method and dynamic characteristic analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(3), 1655-1664. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2494006>
- Parivar, H., & Darabi, A. (2022). Taguchi method for design and optimization of a high-speed permanent magnet synchronous generator protected by retention sleeve. *Engineering and Applied Sciences*, 7(2), 21-28. <https://doi.org/10.11648/j.eas.20220702.12>
- Roters, H. C. (1941). *Electromagnetic devices*, John Willey, USA
- Sefkat, G. (2009). The design optimization of the electromechanical actuator. *Structural And Multidisciplinary Optimization*, 37(6), 635-644. <https://doi.org/10.1007/s00158-008-0254-3>
- Sefkat, G. (2010). Investigating static and dynamic characteristics of electromechanical actuators (EMA) with MATLAB GUIs. *Computer Applications In Engineering Education*, 18(2), 383-396. <https://doi.org/10.1002/cae.20279>
- Sharma, U., & Singh, B. (2021). Design and development of energy efficient single phase induction motor for ceiling fan using Taguchi's orthogonal arrays. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(4), 3562-3572. <https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3072020>
- Topcu, E.E., Kocacıçak Z.K., & Yuksel, I. (2008). Simplified numerical solution of electromechanical systems by look-up tables. *Mechatronics*, 18(10), 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2008.05.006>
- Tuncel, O., & Bayraklılar, M.S. (2024). The application of the Taguchi method for optimizing the compression strength of PLA samples produced using FDM, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 133-140. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1365534>
- Turan, M.K., Topcu, E.E., & Karpat, F. (2024). Modelling and investigation of a driver seat suspension with negative stiffness structure. *International Journal of Simulation Modelling*, 23(2), 275-286. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM23-2-684>

- Tutar, M., Aydin, H., Yuce, C., Yavuz, N., & Bayram, A. (2014). The optimisation of process parameters for friction stir spot-welded AA3003-H12 aluminium alloy using a Taguchi orthogonal array. *Materials & Design*, 63, 789-797. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.003>
- Yan, S., Zhang, X., Gao, Z., Wang, A., Zhang, Y., Xu, M., & Hua, S. (2023). Design optimization of a new hybrid excitation drive motor for new energy vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 14(1), 4. <https://doi.org/10.3390/wevj14010004>
- Yang, C., Cao, H., & Xing, S. (2021). Analytical calculation of magnetic circuit at key positions of axial-radial flux switched reluctance rim driven motor. In 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Korea, (pp. 2573-2578). <https://doi.org/10.23919/ICEMS52562.2021.9634275>
- Yang, L., Gao, T., Du, X., Zhai, F., Lu, C., & Kong, X. (2022). Electromagnetic characteristics analysis and structure optimization of high-speed fuel solenoid valves. *Machines*, 10(10), 964. <https://doi.org/10.3390/machines10100964>
- Xu, Z.H., Wang, S.C., Zhang, Z.W., Chin, T.S., & Sung, C.K. (2015). Optimization of magnetizing parameters for multipole magnetic scales using the Taguchi method. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(11), 3102204. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2015.2458017>
- Zhang, W., Shi, L., Liu, K., Li, L., & Jing, J. (2021). Optimization analysis of automotive asymmetric magnetic pole permanent magnet motor by Taguchi method. *International Journal of Rotating Machinery*, 2021, 6691574. <https://doi.org/10.1155/2021/6691574>
- Zhang, G., Tao, J., Li, Y., Hua, W., Xu, X., & Chen, Z. (2022). Magnetic equivalent circuit and optimization method of a synchronous reluctance motor with concentrated windings. *Energies*, 15(5), 1735. <https://doi.org/10.3390/en15051735>