

## RADYAL MANYETİK RULMAN İÇİN DEĞİŞKEN AĞIRLIKLIL PSO TABANLI ÇOK KİSTASLI BOBİN TASARIMI ENİYİLEMESİ

Tuna FERİK<sup>1, a)</sup>, Berk KURT<sup>1, b)</sup>, M. İ. Can DEDE<sup>2, c)</sup> ve Tolga CANKURT<sup>1, d)</sup>

<sup>1</sup>Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi (HKTm) San. ve Tic. A. S., ARGE Gebze 41400 Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir, Türkiye

<sup>a)</sup>tuna.ferik@hktm.com.tr, <sup>b)</sup>berk.kurt@hktm.com.tr, <sup>c)</sup>candede@iyte.edu.tr,

<sup>d)</sup>tolga.cankurt@hktm.com.tr

Bu çalışma, Aktif Manyetik Rulman (AMR) sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olan elektromıknatısların bobin tasarımına odaklanmaktadır. Elektromıknatıslar için tanımlanan sistem gereksinimleri ve tasarım parametrelerinin kısıtları çerçevesinde üç temel kısıtla, ısı kaybı, dinamik tepki hızı ve bobin kompaktlığına, göre bobin tasarımı eniyilenmiştir. Çalışmada radyal bir manyetik rulmanın karşılıklı tek bobinli elektromıknatıs çiftinin tasarımı manyetik yataklama yaptıkları eksende incelenmiştir. Çok amaçlı eniyileme süreci için değişken ağırlıklı Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması uygulanmıştır. Maliyet fonksiyonu, üç farklı kısıtla ait normalleştirilmiş değerlerin ağırlıklı toplamı ile tanımlanmıştır. Ağırlık katsayıları sistematik biçimde süpürülerek eniyileme algoritması birçok kez uygulanmış ve böylece üç boyutlu bir eniyileme uzayı elde edilmiştir. Bu sayede yapılacak bobin tasarımı için tasarımcı farklı kısıtların ağırlık oranlarını eniyileme algoritması sonucunu seçebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif Manyetik Rulman, Elektromıknatıs Tasarımı, Çok Amaçlı Optimizasyon

### Multi-Objective Coil Design Optimization for a Radial Magnetic Bearing Using Variable-Weighted PSO

#### ABSTRACT

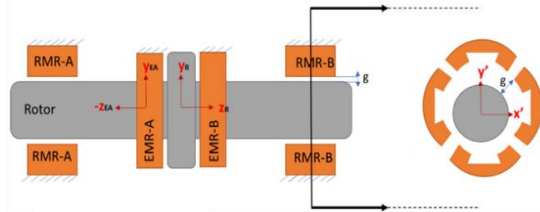
This study focuses on the coil design of electromagnets, a fundamental component of Active Magnetic Bearing (AMR) systems. Within the framework of the system requirements and design parameter constraints defined for electromagnets, the coil design was optimized according to three fundamental criteria: heat loss, dynamic response speed, and coil compactness. In this study, the design of a single-coil opposing electromagnet pair in a radial magnetic bearing was examined along the axis where they serve as a magnetic bearing. A variable-weight Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm was applied for the multi-objective optimization process. The cost function was defined as the weighted sum of the normalized values of three different criteria. The optimization algorithm was applied multiple times by systematically sweeping the weight coefficients, resulting in a three-dimensional optimization space. This allows the designer to select the weight ratios of different criteria for the coil design.

**Keywords:** Active Magnetic Bearing, Electromagnet Design, Multi-Objective Optimization

## 1. GİRİŞ

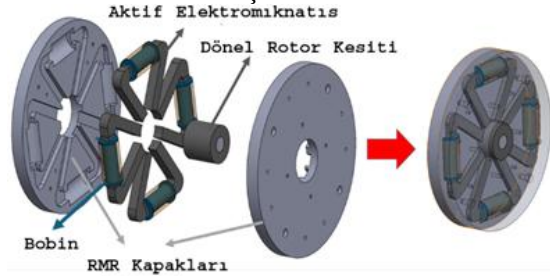
Manyetik Rulman sistemleri temassız yataklama kabiliyetleri sayesinde dünya çapında yüksek dönüş hızı, hiç veya düşük sürtünme ve uzun kesintisiz ömür gerektiren uygulamalarda yaygınlaşmaktadır. Yaygınlaşmanın ölçeğini küresel ekonomik hacim değişiminden gözlemlemek mümkündür. 2023 yılında MR küresel pazar hacmi 1,98 milyar ABD dolaryken, 2032 yılına kadar MR pazarının 3,34 milyar ABD doları büyüklüğüne ulaşması beklenmektedir[1].

Aktif manyetik rulman sistemleri farklı yapılandırmalarda oluşturulabilir. Örneğin radyal ekseninde temassız yataklama sağlayan 2 adet aktif radyal manyetik rulman (RMR) ve eksenel yönde temassız yataklama sağlayan 2 adet aktif eksenel rulman (EMR) kullanılabilir veya alternatif olarak hem eksenel hem de radyal yönde temassız yataklama sağlayabilen 2 adet konik aktif manyetik rulman kullanılabilir. Aşağıda verilen Şekil 1’de 2 adet RMR ve 2 adet EMR’den oluşan ve rotor dönüş eksenini hariç diğer tüm 5 ekseninde temassız yataklama sağlayan örnek bir manyetik rulman sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1 Örnek MR Sistemi

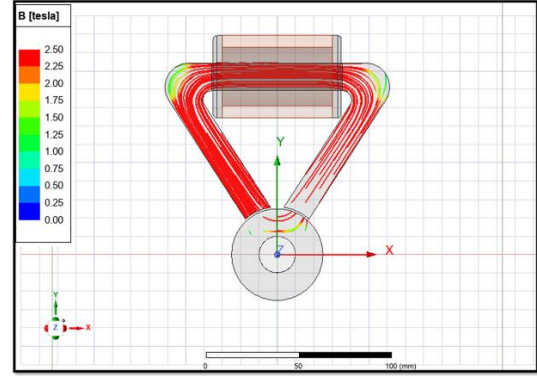
RMR ve EMR elemanları temassız yataklama için kullandıkları manyetik kuvveti içerdikleri elektromıknatıslar ile sağlarlar. Şekil 2’de tasarlanan ve üzerinde çalışılacak olan RMR örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2. RMR Tasarımı

Elektromıknatısın rotora uyguladığı manyetik çekim kuvveti, bobin tarafından üretilen

manyetomotor kuvvetinin manyetik iletkenliği yüksek olan c şekilli elektromıknatıs çekirdekleri üzerinden manyetik akının yönlendirilmesi ile gerçekleşmektedir. Yönlendirilen manyetik akı hava boşluğunun ve rotorun üzerinden geçerek manyetomotor kuvvetini oluşturan bobine geri dönmektedir. Sonlu elemanlar analizi yöntemi ile elde edilip görselleştirilen RMR içerisindeki manyetik akı yolu aşağıda bulunan Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3 RMR İçindeki Manyetik Akı Yolu

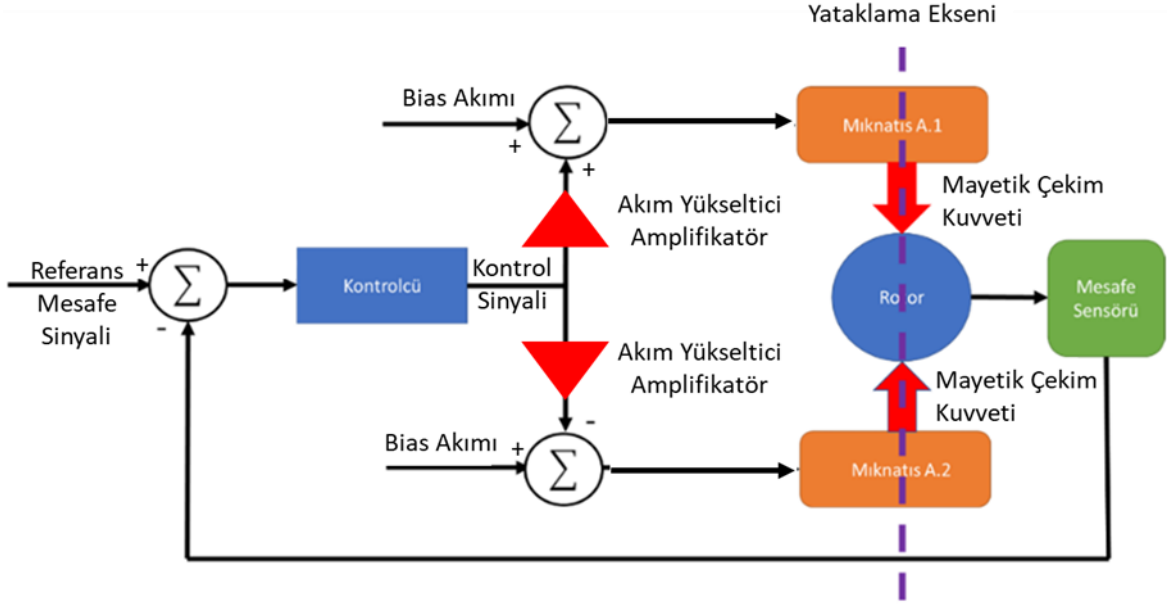
Çalışmanın nihai amacı dört elektromıknatıslı ve heteropolar sekiz kutuplu bir RMR geliştirmektir. Bu çalışmada ise bir RMR elemanının karşılıklı iki elektromıknatısının sağladığı yataklama incelenmiştir. RMR’ın karşılıklı iki aktif elektromıknatısının ilgili eksenlerinde gerçekleştirdiği manyetik çekim kuvveti tabanlı yataklama için bobin tasarım gerçekleştirilmiştir. Farklı isterlere yönelik potansiyel bobin tasarımları değişken ağırlıklı çok kıstaslı PSO algoritması otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Burada değişken ağırlık olarak bahsedilen ağırlıklar toplamları net maliyet değerini oluşturan her bir kıstasa özel tanımlanan maliyetinin ağırlık katsayılarıdır.

Bir sonraki bölümde hedef RMR sistemi tanıtılmıştır. Hedef sisteminin tanıtımını takiben bobin eniyilenmesinde kullanılacak kıstaslar tanıtılmıştır. Kıstaslar kullanılarak çok-amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır.

## 2. HEDEF RMR SİSTEMİ TANITIMI

İncelenen RMR’ın karşılıklı iki elektromıknatısı yatağın radyal yüklerini bir ekseninde karşılamaktadır. Elde edilen elektromıknatıs tasarımları diğer karşılıklı elektromıknatıs çiftine uygulanırsa radyal

eksende tam yataklama mümkün hale gelmektedir.



Şekil 4 Tek Eksen Yataklama Şeması

Elektromiknatisler kontrolcüden gelen bilgiye göre akım üreten akım sürücüler ile eylenir. Elektromiknatislere akım sürücülerden gelen akıma ek olarak sürekli sabit bir akım beslenir. Bu akıma bias akımı ( $i_b$ ) denir. Akım sürücüler elektromiknatislere eş ve zıt akımları besler.

Akım sürücülerin zıt çalışması sayesinde bir elektromiknatisin manyetik çekim kuvveti artarken diğerininki azalmaktadır. Tek eksenli yataklama yapan karşılıklı elektromiknatis çifti için kontrol şemasını içeren çalışma akış şeması Şekil 4'te verilmiştir. Bu şekilde de anlaşılacağı üzere kontrolcünün çıkışı kontrol sinyali ile oluşturulan akım bias akımı üzerine eklenerek yataklanan milin dönme ekseninde meydana gelen kaymalar giderilir.

### 3. BOBİN ENİYİLEMESİNDE KULLANILACAK KİTASLAR

Eniyilemesi yapılacak kıstaslar enerji kaybı, tepki hızı ve bobin kompaktlığı olarak seçilmiştir. Eniyileme sürecinde enerji kaybı düşürülmesi, tepki hızı artırılması ve konstrüksiyonel istelere göre tanımlanan yataklama sisteminin kompaktlığının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Kıstaslar enerji verimliliği, karbon salınımı, üretim maliyeti, alan maliyeti ve sistemin

başarı karakteristiğini doğrudan etkileyecek şekilde belirlenmiştir.

Tablo 1'de verilen parametreler yataklamanın çalışma şartlarına ve kullanılacak ekipmanın kabiliyetine göre belirlenebilir. Bu durumda eniyilemede kullanılacak değişkenler bias akımı ve bobin uzunluğu olarak seçilebilir.

Tablo 1. Sabit Parametreleri

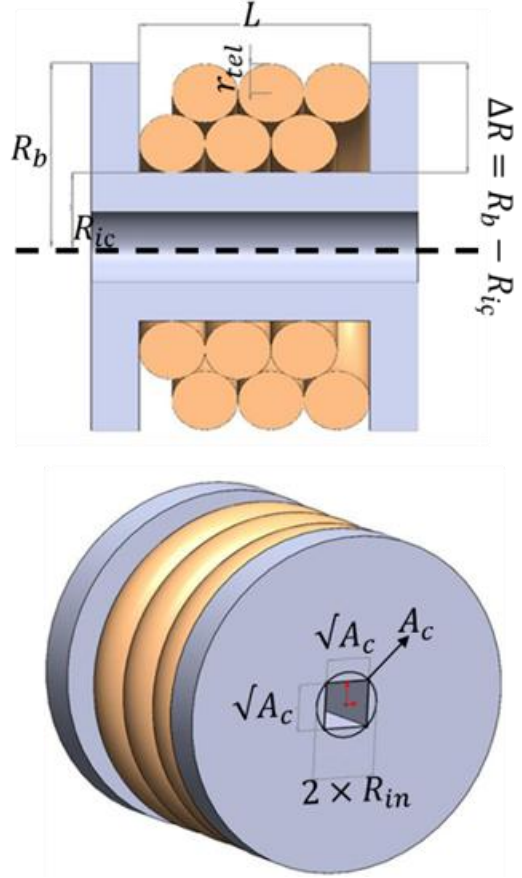
<u>Sembol</u>	<u>Acıklama</u>
$A_c$	Manyetik nüve kesit alanı
$g_0$	Hedef hava aralığı
$x$	Rotor yer değiştirmesi
$U_{amp}$	Akım yükseltici voltaj kapasitesi
$\alpha$	Manyetik kuvvet yön açısı
$\gamma$	Toplam akım kapasitesinin bias akımına oranı
$F_m$	Oluşturulan net manyetik kuvvet

#### 4. RMR İÇİN BOBİN ENİYİLEMESİ

Eniyileme çıktısı olarak elde edilecek elektromıknatısın tasarım parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Eniyileme Çalışması Sonucunda Elde Edilecek Tasarım Parametreleri

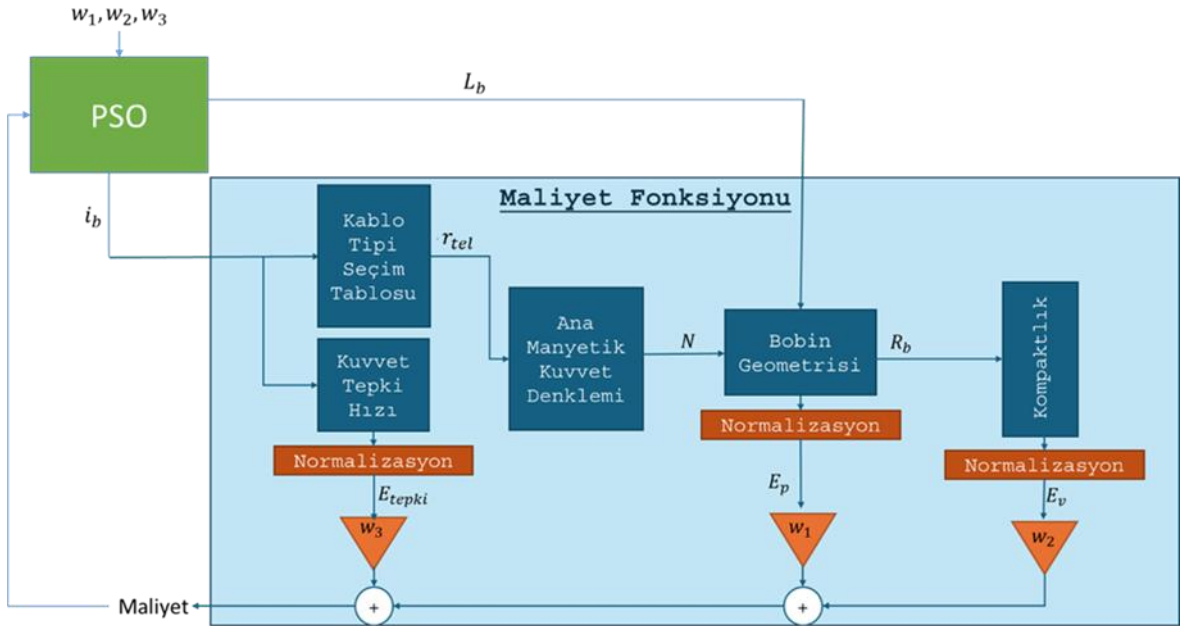
<b>Sembol</b>	<b>Açıklama</b>
$L_b$	Bobin uzunluğu
$R_b$	Bobin dış yarıçapı
$N$	Bobin için toplam tel sarım sayısı
$n_r$	Bir sarım katmanındaki tel sarım sayısı
$n_l$	Bobin tel sarım katmanı sayısı
$r_{tel}$	Bobin için sarım teli tipi ve yarıçapı
$L_{tel}$	Bobin tel uzunluğu



Şekil 5’te bobin üzerinde tasarım parametreleri gösterilmiştir.

Uygulanan değişken ağırlıklı PSO algoritması için algoritma akış şeması Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şekil 5. Bobin ve Üzerinde Bazı Tasarım Parametreleri



Şekil 6. Değişken Ağırlıklı PSO Algoritması Akış Şeması

Tablo 3'te ise Şekil 6'te kullanılan semboller açıklanmıştır.

Tablo 3. Algoritma Akış Şemasında Kullanılan Sembollerin Açıklamaları

<b><i>Sembol</i></b>	<b><i>Açıklama</i></b>
<b><i>i<sub>b</sub></i></b>	Bias akımı
<b><i>L<sub>b</sub></i></b>	Bobin uzunluğu
<b><i>N</i></b>	Bobindeki tel sarım sayısı
<b><i>R<sub>b</sub></i></b>	Bobin dış yarıçapı
<b><i>E<sub>teпки</sub></i></b>	Sistemin tepki süresi için hesaplanan maliyet değeri
<b><i>E<sub>p</sub></i></b>	Sistemin enerji kaybı için hesaplanan maliyet değeri
<b><i>E<sub>v</sub></i></b>	Sistemin hacimsel geometrisi için hesaplanan maliyet değeri

Algoritmada eniyileme işleminde kullanılan eniyileme değişkenleri ise başlangıçta uygulanabilirliği arttırmak adına sınırlandırılmıştır. Bias akımı  $i_b$  [5A-10A] ve bobin uzunluğu  $L_b$  [40mm – 200mm] aralığına kısıtlanmıştır.

#### 4.1. Maliyet Fonksiyonu Hesaplanması

Eniyileme algoritması ile en aza indirilmesi hedeflenen maliyet fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$Maliyet = w_1 \cdot E_p + w_2 \cdot E_v + w_3 \cdot E_{teпки} \quad (1)$$

Enerji kaybı için maliyet değeri  $E_p$  yaklaşık ısı kaybı değerinin ölçeklenerek yaklaşık 0 ila 1 değerleri arasına normalleştirilmiş halidir. Chiba et al.'a göre MR sistemlerinde elektromıknatısların ısı kaybı, bobin tel direnci üzerinden geçen akımın oluşturduğu enerji kaybına eş varsayılabilir [2]. Isı kaybı hesaplanması için kullanılan denklem aşağıdaki gibidir:

$$Isı Kaybı \approx \underbrace{\left( \frac{i_b \gamma}{En\ yüksek Akım} \right)}_{\text{Tel Öz Direnci}} \left( \frac{L_{tel} \rho_{tel}}{\pi(r_{tel} - t_e)^2} \right) \quad (2)$$

*Toplam Tel Direnci*

Burada  $t_e$  emaye kaplama et kalınlığını ifade etmektedir.

Bobin teli toplam uzunluğu  $L_{tel}$  hesaplanışı ilerleyen kısımlarda gösterilecektir.

Elektromıknatıs tepki hızı veya diğer bir değişle kuvvet değişim hızı için hesaplanan maliyet değeri ise bir saniyede ( $s$ ) sistemin uyguladığı kuvvet ( $N$ ) cinsinden net manyetik kuvveti değerinin değişim kapasitesinin ölçeklenerek yaklaşık 0 ila 1 arasına normalleştirilmiş halidir. Kuvvet değişim hızı için aşağıda kullanılan denklem kullanılmıştır [3].

$$Kuvvet Değişim Hızı = \frac{dF}{dt} = \frac{U_{amp} i_b \gamma}{2\gamma \cos(\alpha) g_0} \quad (3)$$

Bobin hacmine ilişkin tanımlanan maliyet fonksiyonu, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak farklı şekillerde kurgulanabilir. Bu çalışmada kompaktlık maliyet değeri, bobin uzunluğu ve yarıçapı toplamının ölçekleme ile yaklaşık [0, 1] aralığına normalleştirilmiş hali olarak tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında alternatif olarak, doğrudan bobin hacmine dayalı değerlendirme yöntemleri de test edilmiş; istenilen uzunluk değerleri belirlenip belirlenen sınır değerlerinin aşılması durumunda üssel maliyet artışı, altında kalması durumunda doğrusal maliyet artışı uygulayan stratejiler de değerlendirilmiştir. Ancak mevcut seçilen yöntem nispeten daha başarılı bulunmuştur.

Bobinin hacimsel geometrisi için hesaplanan maliyet değerinin elde edilmesinde kullanılan bobin uzunluğu eniyileme algoritmasından elde edilmektedir ve yarıçapı bilgisi ise hesaplanmaktadır. Bobin yarıçapının bulunması için kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$R_b[m] = R_{ic} + r_{tel} \sqrt{3} (n_l - 1) + 2r_{tel} \quad (4)$$



geometri kullanılarak aşağıdaki denklem elde edilmiştir. Bu denklemde bobinin iki boyutlu kesitindeki tel halkaları üç boyutta çember kesitli halka olarak varsayılmıştır.

$$L_{tel} \approx n_l n_r 2\pi (R_{iç} + r) + \sum_{i=0}^{n_l-1} n_r 2\pi [(i)r\sqrt{3}] \quad (10)$$

Denklem yeniden düzenlenip aşağıdaki formda yazılabilir.

$$L_{tel} \approx n_l n_r (2\pi) (R_{iç} + r) + n_r 2\pi r \sqrt{3} \left[ \frac{(n_l - 1)n_l}{2} \right]$$

Elde edilen bobin teli uzunluğu bilgisi ısı kaybı denklemi olan Denklem (2)'de kullanılarak yaklaşık ısı/enerji kaybı değeri hesaplanabilir.

#### 4.2. Değişken Ağırlıklı PSO Algoritması

Burada değişken maliyet ağırlıkları dışında kullanılan PSO algoritması maliyet değerini girdi alan ve bias akımı ve bobin uzunluğu değerini veren klasik bir PSO algoritmasıdır. Lokal en iyi değerlerden yani platolardan kaçınmak adına PSO ajanlarının yön belirlemede kullandığı bireysel en iyiye yönelim görece yüksek, küresel en iyiye yönelim görece düşük verilmiştir. Bu tutumun işlem süresini uzatmasına karşın çalışmanın bilgisayar yükü nispeten az olduğu için uygulanmıştır. Uygulamada kullanılan PSO algoritması parametreleri Tablo 5'te verilmiştir.

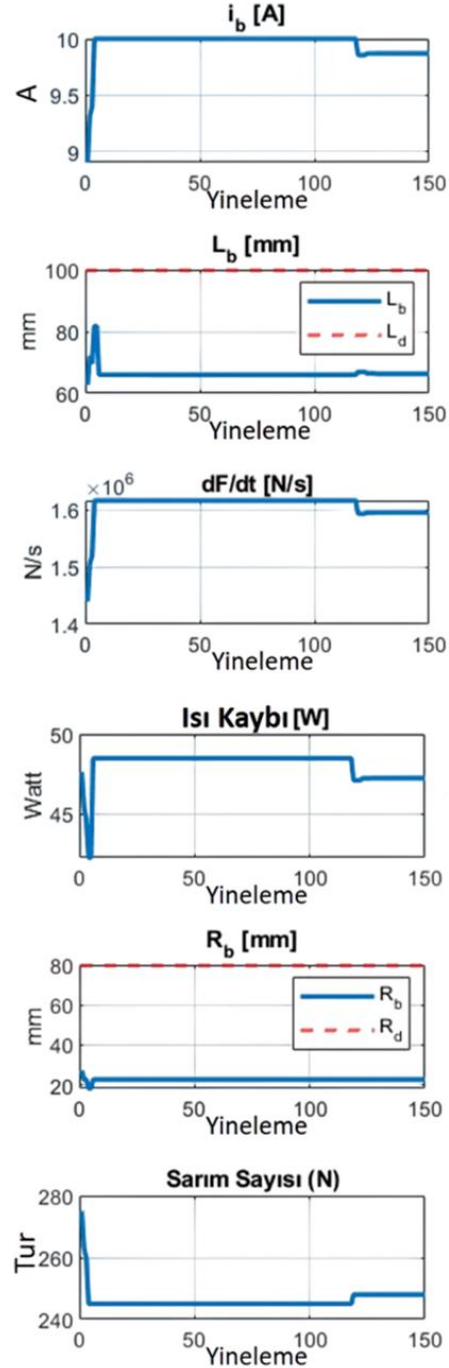
Tablo 5. Kullanılan PSO Parametreleri

PSO Parametresi	Değeri
Yineleme sınırı	150
Popülasyon Ajan Sayısı	30
Keşif Atıllığı(w)	0,8
Keşif Damperlemesi	0,95
Ajan Bireysel Yönelimi ( $C_1$ )	4
Ajan Küresel Yönelimi ( $C_2$ )	1

### 5. OPTİMİZASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ağırlıklı maliyet fonksiyonunun belirlenmesinde ağırlıklar  $w_1, w_2, w_3$  değerleri toplamları 1 edecek şekildedir. Bu katsayılara 0,1 değerinde sabit değişimler uygulanarak her biri için 0-1 değerleri arasında olası tüm

katsayılar durumlarında PSO algoritması ile eniyileme gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak ağırlık katsayılarının birbirine eşit yani  $w_1 = w_2 = w_3 = 1/3$  seçildiği bir durum için belirtilen PSO parametreleri ile gerçekleştirilen eniyileme sonucundan elde edilen bobin özellikleri sonuçları aşağıda bulunan Şekil 8'de gösterilmiştir.

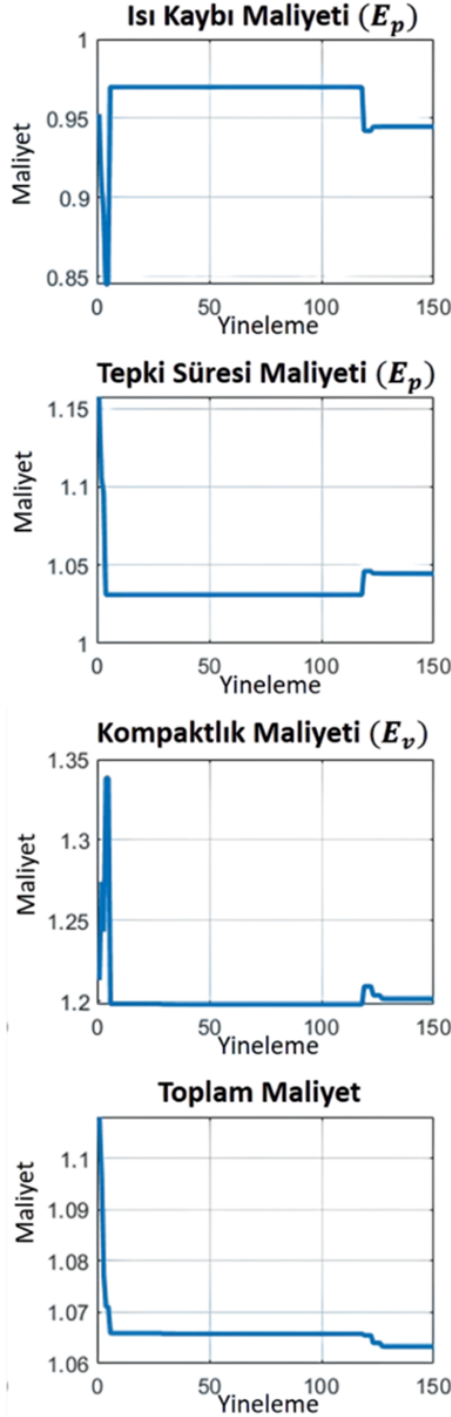


Şekil 8. PSO ile Elde Edilen Bobin Özellikleri

Bu grafiklerde bobin uzunluğu ( $L_b$ ) ve bobin yarıçapı ( $R_b$ ) grafiklerinde verilen ( $L_d$ ) ve

( $R_d$ ) değerleri tasarımda bobinin ölçülerinin geçmesi istenilmeyen sınırlardır.

PSO eniyilemesi sürecince değişimini gözlemlediğimiz bu özelliklerin aynı süreçte sahip olduğu maliyet değerlerinin seyri aşağıda bulunan Şekil 9'da verildiği gibidir.



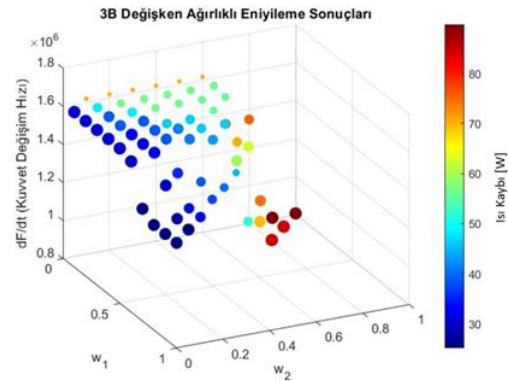
Şekil 9. PSO Sürecinde Maliyet Değerleri Değişimi

Maliyet grafiklerinde görüleceği üzere bu değerleri 0 ila 1 arasına normalize edilmesine

karşın kıstasların maliyet değerleri biri aşabiliyor. Bu durumun sebebi normalize etme işleminde kullanılan yöntemden kaynaklanıyor. Normalize edebilmek için maliyet değerleri farklı eniyileme süreçlerindeki en yüksek değerlerin ortalaması kullanıldı ve maliyet değerleri bu ortalama değere bölündü. Bu durum normalize etme işlemi için daha yüksek bir değer seçilmesi ile aşılabildi ancak normalize edilmiş maliyet değeri bir değerine ulaşmazdı. Bu değerler tasarımcıya fikir vermek için kullanılması sebebi ile eniyileme kıstaslarının normalize edilmiş maliyet değerlerinin bir değerini aşması bir problem olarak görülmemiştir.

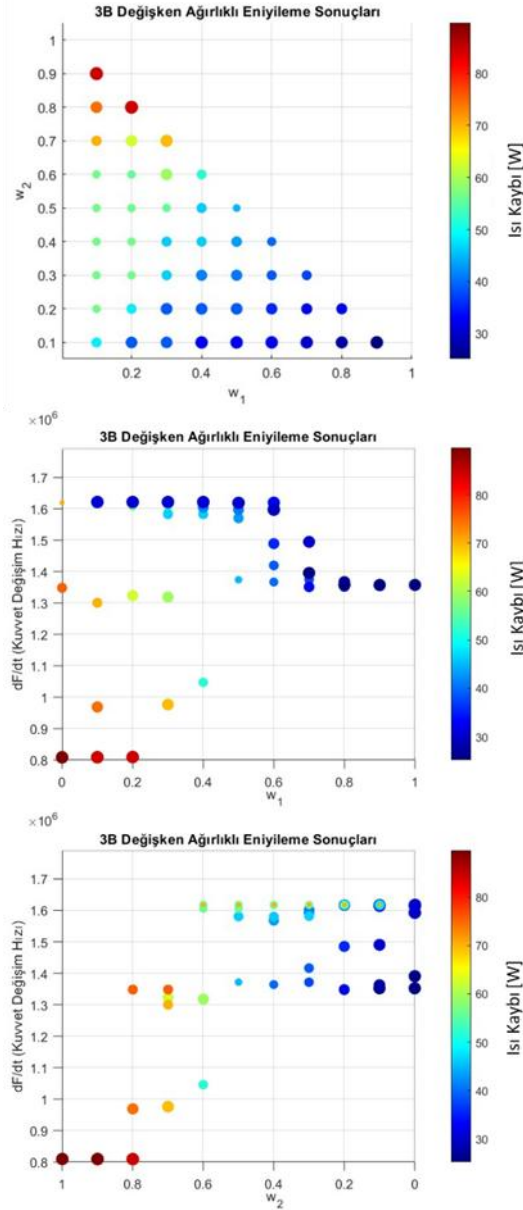
Eniyileme süreci yinelemeleri boyunca toplam maliyet değişimini gösteren Toplam Maliyet grafiği incelendiğinde tasarım eniyilenmesinin istikrarlı olduğunu gösterecek şekilde maliyetin azalma eğiliminde olduğu gözlenmektedir. Ancak, maliyetteki azalma oranı yaklaşık %4 mertebelerindedir. Bu durumun sebebi başlangıçta bias akımı ve bobin uzunluğunun eniyileme algoritmasının yöneleceği mertebelere sınırlanmasıdır. Daha yüksek gelişim görmek adına bu sınırlar daha serbest bırakılabilir.

Yalnızca eş maliyet ağırlığı için incelenmiş bu eniyileme süreçlerini genişletip maliyet ağırlıklarını 0,1 değerindeki adımlar ile 0,1 ila 1 arasında değiştirilip ağırlık toplamalarının bir edeceği şekilde bu eniyileme işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar beş bilgi barındırmaktadır. Yani bir grafiğe dökmek için beş boyut gerekmektedir. Bu sebeple değişken ağırlıklı PSO eniyilemesi genel sonucu için aşağıda Şekil 10'da sonuçların gösterildiği üç boyutlu (3B) grafik izometrik bakış açısında verilmiştir.



Şekil 10. 3B Değişken Ağırlıklı Eniyileme Sonuçları

Grafğin eksenleri manyetik kuvvet değişim hızı ve iki maliyet ağırlık değerini göstermektedir. Maliyet ağırlığı değerlerinin toplamı bir olduğu için üçüncüsünün (yani  $w_3$ ) bilgisinin verilmesine gerek duyulmamıştır. Grafikte küre olarak gösterilen her biri farklı maliyet ağırlığı kombinasyonuna sahip eniyileme sonuçlarının büyüklüğü tanımlanan kompaktlık bilgisi ile ilişkiliyken kürelerin rengi ise ısı kaybı değeri ile ilişkilidir. İzometrik bakış açısında verilmiş olan 3B değişken ağırlıklı eniyileme sonuçları grafđi bilgiyi daha anlaşılır aktarmak adına aşağıda Şekil 11’de farklı düzlemlerde verilmiştir.



Şekil 11. 3B Değişken Ağırlıklı Eniyileme Sonuçları Farklı Düzlemlerde

Çalışmanın çıktısının görselleştirilmesi için belirtilen üç boyutlu grafđin haricinde hem grafikte belirtilen bilgileri içeren hem de her eniyileme sonucu için bobin geometrik ölçüleri veya sarım sayısı gibi bobinin tasarım parametrelerini de içeren bir EXCEL tablosu da elde edilmektedir. Tasarımcı ister grafikten seçip kullanmak istediği verinin gerekli özelliklerini bu EXCEL tablosundan bulabilir veya EXCEL tablosunda önem sırasına göre sıralayıp seçimini oradan yapabilmektedir. Bahsedilen değişken ağırlıklı maliyet için eniyileme sonuçlarını içeren EXCEL tablosunun ilk 16 satırı sonraki sayfa başında Tablo 6’da gösterilmektedir.

Elde edilen bu çıktılar doğrultusunda tasarımcı uygun yönelimde eniyilenmiş tasarım parametrelerini tercih edebilecektir.

## 6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, bir radyal manyetik rulman geliştirme sürecinde elektromıknatis tasarım aşamasında karşılaşılan ihtiyaçlar doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar doğrultusunda prototip üretimler gerçekleştirilecektir. Prototiplerin test edilmesi ile çalışmanın deneysel doğrulaması gerçekleştirilecektir.

## 7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 3231423 no’lu TÜBİTAK projesi desteği ile HKTM firması tarafından yürütölmektedir.

## 8. KAYNAKÇA

- [1] Zion Market Research. (2024). Magnetic Bearings Market Size, Share, Growth & Trends 2032, Erişim: 18 Temmuz 2025. <https://www.zionmarketresearch.com/report/magnetic-bearings-market>
- [2] Chiba, A. (2005). *Magnetic Bearings and Bearingless Drives*, Elsevier/Newnes, Amsterdam.
- [3] Maslen, E. H., Schweitzer, G. (2009). *Magnetic Bearings: Theory, Design, and Application to Rotating Machinery*, Springer, Berlin
- [4] Béguin, J. (2006). *Modeling and Control of Active Magnetic Bearings*, Doktora Tezi, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne.

Tablo 6 Tablo Halinde Algoritma Çıktısı İlk 16 Satır

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$i_b$ [A]	$L_b$ [mm]	$R_b$ [mm]	Isı Kaybı[W]	$dF/dt \times 10^{-4}$ [N/s]	N[tur]
0,00	0,10	0,90	10,00	40,11	38,45	70,48	161,66	245
0,00	0,20	0,80	10,00	40,11	38,45	70,48	161,66	245
0,00	0,30	0,70	10,00	40,11	38,45	70,48	161,66	245
0,00	0,40	0,60	10,00	40,11	38,45	70,48	161,66	245
0,00	0,50	0,50	10,00	40,11	38,45	70,48	161,66	245
0,00	0,60	0,40	10,00	40,11	38,45	70,48	161,66	245
0,00	0,70	0,30	8,33	40,04	28,72	75,57	134,72	294
0,00	0,80	0,20	8,33	40,04	28,72	75,57	134,71	294
0,00	0,90	0,10	5,00	40,00	19,18	89,73	80,83	489
0,10	0,00	0,90	10,00	162,07	9,31	30,57	161,66	245
0,10	0,10	0,80	10,00	65,99	22,76	48,48	161,66	245
0,10	0,20	0,70	10,00	50,47	29,48	56,63	161,66	245
0,10	0,30	0,60	10,00	50,47	29,48	56,63	161,66	245
0,10	0,40	0,50	10,00	50,47	29,48	56,63	161,66	245
0,10	0,50	0,40	10,00	50,47	29,48	56,63	161,66	245
0,10	0,60	0,30	10,00	50,47	29,48	56,63	161,66	245