

# HOMOJEN OLMAYAN MANYETİK ALANLARDA MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME İÇİN KALICI MIKNATIS TASARIMI

Hüseyin Yiğitler, B. Murat Eyüboğlu  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Çankaya, Ankara  
[e119873@metu.edu.tr](mailto:e119873@metu.edu.tr), [bme@xxx.edu.tr](mailto:bme@xxx.edu.tr),

**Özet:** Kalıcı mıknatısların yarattığı manyetik alan, kalıcı mıknatısın şekline, mıknatısın üretimine ve kullanılan maddenin cinsine bağlı olarak şekillendirilebilmektedir. Üretim teknolojisi ve üretimde kullanılan maddesi bilinen bir mıknatısın manyetik alan dağılımı değiştirilmek istenirse, manyetik alan dağılımı mıknatıs geometrisinin fonksiyonu olur. Bu çalışmada, uzayın belirli bir bölgesinde istenilen manyetik alan dağılımını yaratan kalıcı mıknatıs düzenleşimlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

## 1. Giriş

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) sisteminde, atomların manyetik özelliklerinden faydalanarak uzaydaki yerlerini belirlemek için homojen ana manyetik alan kontrollü olarak heterojen hale getirilir. Homojen ana manyetik alanı yaratmak için, genellikle, büyük ve pahalı olan dirençli veya süper iletken sargılar kullanılır. Ancak, MRG’de kullanılan manyetik alanları yaratmak için doğası gereği heterojen manyetik alan yaratan kalıcı mıknatıslar da kullanılabilirler. Kalıcı mıknatısların heterojen manyetik alanlarının MRG sistemlerinde kullanımı, yeni sistemlerin tasarımını ve farklı görüntü oluşturma tekniklerinin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Kalıcı mıknatısların yarattığı manyetik alan, kalıcı mıknatısın şekline, mıknatısın üretim teknolojisine ve kullanılan malzemeye bağlı olarak biçimlendirilebilmektedir [1]. Bu değişkenler uygun şekilde seçilerek uzayın belirli bir bölgesinde istenilen manyetik alan dağılımı elde edilebilir. Üretim teknolojisi ve üretimde kullanılan malzeme özellikleri bilinen bir mıknatısın manyetik alan dağılımı, mıknatıs geometrisinin fonksiyonudur. Dolayısıyla, istenilen manyetik alan dağılımına sahip olan mıknatıs geometrisi, uygun matematiksel teknikler kullanılarak bulunabilir [2].

Uzaydaki manyetik alan dağılımı, farklı kaynaklardan gelen manyetik alanların doğrusal toplamıdır. Birden fazla mıknatısın etkin olduğu ortamlarda, bu mıknatısların toplam manyetik alan dağılımı, her bir mıknatısın pozisyonuna ve bu mıknatısların etkin olan kutuplarına bağlıdır.

Bu çalışmada, uzayın belirli bir bölgesinde istenilen manyetik alan dağılımını yaratan kalıcı mıknatıs düzenleşimlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak, tek bir mıknatısın geometrisi; daha sonra da birden fazla mıknatısın uzaydaki yerleşimleri ve etkin olan kutuplarının tipi eniyilenecek istenilen manyetik alan dağılımına ulaşmaya çalışılmıştır. Bu problemin çözüm kümesinin çok sayıda yerel çözüm içermesinden dolayı her iki aşamada da genetik teknikler evrensel çözüme yaklaşmakta kullanılmıştır. Çözümün, evrensel çözüme yeterince yaklaştığı düşünüldüğünde gradyan tabanlı olmayan eniyileme yöntemleri kullanılarak evrensel çözüme ulaşılmıştır.

## 2. Teori

Yukarıda da belirtildiği gibi kalıcı mıknatısların yarattığı manyetik alan kalıcı mıknatısın şekline, mıknatısın üretimine ve üretimde kullanılan maddenin cinsine göre değişmektedir. Bilinen alaşımlardan üretilen ve mıknatıslanmanın homojen olduğu mıknatıslar için mıknatısın şekli değiştirilebilir parametre olmaktadır. Kalıcı mıknatıslar gibi kaynaklı manyetik alanların hesaplanmasında sayıl alanların varlığı kullanılabilir [2,3]. Bu durumda manyetik alan:

$$\vec{H} = -\nabla(V_m) \quad (1)$$

formülü ile hesaplanabilmektedir. Bu formülde  $V_m$  sayıl alanıdır.  $V_m$  de aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$V_m = \frac{1}{4\pi} \left[ \int_V \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{M}}{r} dV - \int_S \frac{\vec{M}}{r} \cdot d\vec{S} \right] \quad (2)$$

$\vec{M}$  mıknatıslanma vektörünü,  $r$  kaynak noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklıktır [3]. Homojen mıknatıslanma dağılımı için  $\vec{\nabla} \cdot \vec{M} = 0$  ve entegralin alındığı yüzeyin normali ile  $\vec{M}$  in yönü aynı ise,  $V_m$  aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$V_m = -\frac{M_0}{4\pi} \int_S \frac{1}{r} dS \quad (3)$$

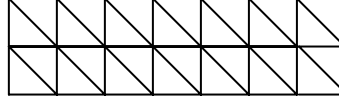
(1) ile (3) birleştirilerek ve gradyan operatörünün gözlem noktaları için geçerli olduğu göz önünde bulundularak;

$$\vec{H} = \nabla \left( \frac{M_0}{4\pi} \int_S \frac{1}{r} dS \right) = \frac{M_0}{4\pi} \int_S \nabla \left( \frac{1}{r} \right) dS \quad (4)$$

elde edilir. İntegralin hesaplanması sırasında mıknatısın şeklinin bilinmesi gerekmektedir, çünkü integralin sınırlarını mıknatısın şekli belirlemektedir. Manyetik alanın hesaplanabilmesi için, mıknatıs yüzeyinin doğru biçimde temsil edilmesi gerekmektedir. Herhangi bir yüzey

$$z = f(x, y) \quad (5)$$

ile ifade edilebilir. Dolayısıyla,  $-xy$  düzleminde sınırları bilinen bir şeklin yüksekliği (5) kullanılarak bulunabilir. Ancak, bilgisayarda  $x$  ve  $y$  sürekli olmadığından, (5)'in alacağı değerler de sürekli olmaz. Bu sebeple,  $-xy$  düzlemi ızgarayla ifade edilmiştir. Izgara kullanılan eleman tipleri şekil 1' de verilmiştir.



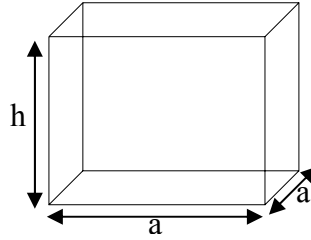
Şekil 1: Kullanılan ızgaranın bir bölümü

Şeklin sonlu elemanlarla ifadesindeki doğruluğu artırabilmek için, köşe noktalarının bilinen değerlerinden hareketle bir elemanın içindeki bilinen yükseklik değerleri doğrusal aradeğerleme kullanılarak artırılabilir. Bunu yapabilmek için, söz konusu ızgara elemanının düzlem denkleminde ihtiyaç duyarız. Böylece, (4) kesikli olarak hesaplanabilir.

### 3. Yöntem

Bu çalışmada, istenilen manyetik alanın yaratılması hedeflendiği için problemin çözümü için üç adım belirlenmiştir. İlk olarak kullanılacak ortalama mıknatısın biçimi seçilmeli ve seçilen biçimin en uygun boyutları belirlenmelidir. İkinci olarak, seçilen biçimin yüzey alanı eniyilenmelidir. Son olarak, elde edilen yüzey şekline sahip mıknatısların birden fazlasının bir arada kullanarak manyetik alanın dağılımı eniyilenmelidir.

Bu problemde, her adımda kullanılacak temel mıknatıs şeklinin kare prizma olması kararlaştırılmıştır. Bu nedenle, eniyilenecek boyutlar, yüzey şekli ve birden fazla mıknatısın yerleşimi hep aynı biçimi baz alarak yapılmıştır. Şekil 2'de eniyilenecek mıknatıs biçimi gösterilmiştir:



Şekil 2: Mıknatıs biçimi

Sabit hacimli kare prizma bir mıknatısta depolanmış manyetik enerji sabit olduğundan, mıknatıs boyutlarının eniyilenmesi sırasında eniyilenecek parametre  $h$ 'in  $a$ 'ya oranı olmaktadır. Elde edilen oran sonuçlar bölümünde verilmiştir.

Mıknatıs biçimi ve boyutları belirlendikten sonra, mıknatıs yüzeyinin belirlenmesi için genetik teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler, bu problemin çok sayıda yerel eniyi çözüm noktası olması sebebiyle, evrensel eniyi çözüme yaklaşmak için kullanılmıştır.

Bu aşamada, herhangi bir yüzey şekline sahip mıknatısın yarattığı alanın istenilen manyetik alana yakınlığını ölçmek amacıyla (6)'daki ifade kullanılmıştır:

$$F = \alpha_1 E_{istenilen} - \alpha_2 E_{DIS} - 1000 \alpha_3 |V_{simdiki} - V_{sabit}| \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da  $E$  enerjii,  $V$  ise hacmi ifade etmektedir. Bu ifadede, kullanılan "İsten." ve "DIŞ" ifadeleri uzayın belli bölgelerini ifade etmektedir. İstenilen bölge ve dış bölgeler Şekil 3'te gösterilmiştir:

DIŞ7	DIŞ6	DIŞ5
DIŞ8	İsten.	DIŞ4
DIŞ 1	DIŞ2	DIŞ3

Şekil 3: Bölge tanımları

Birim mıknatısın yüzey şekli belirlendikten sonra, bu mıknatısların birden fazlası kullanılarak uzayın istenilen bölgesinde istenilen özellikleri taşıyan manyetik alanı yaratabilen birden fazla mıknatısın yerleştirilmesi gerekmektedir. Problemin bu kısmında eniyilecek parametreler; birim mıknatısların uzaydaki yerleri ve kutupsal dizimleri olarak belirlenmiştir. Problemin bu kısmında da iç içe geçmiş dört genetik algoritma kullanılmıştır. Kullanılan eniyileme fonksiyonu ise istenilen bölgedeki manyetik enerjiyi büyütme isterken manyetik alan büyüklüğünün birinci uzamsal türevlerinin büyüklüğünü sabit tutmak ve ikinci uzamsal türevlerini sıfırlamak istemektedir.

Problemin her iki kısmında da kullanılan genetik algoritmalarından sonra, evrensel çözüme ulaşmayı garantilemek için gradyan tabanlı olmayan eniyileme teknikleri kullanılmıştır.

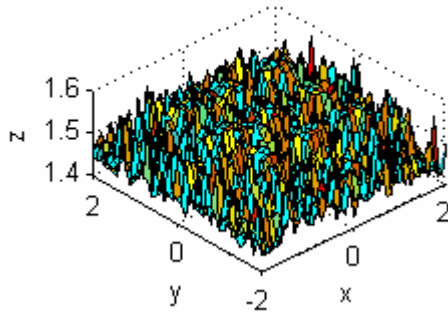
#### 4. Sonuçlar

Mıknatısın boyutlarının belirlenmesi esnasında *Steepest Descent* algoritması kullanılarak:

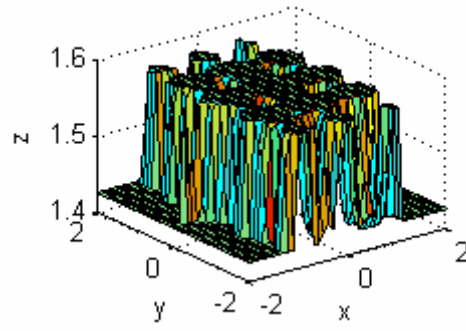
$$k = \frac{h}{a} = 0.7466$$

olarak bulunmuştur. Bu oranı yaklaşık olarak sağlayan  $a = 4$ ,  $h=3$  olarak kullanılmıştır.

Birim mıknatısın yüzeyin eniyilenmesiyle elde edilen yüzey şekli Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

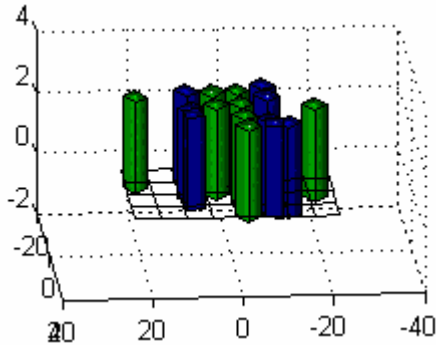


Şekil 4: 1000 Genetik algoritma adımı sonunda elde edilen yüzey şekli

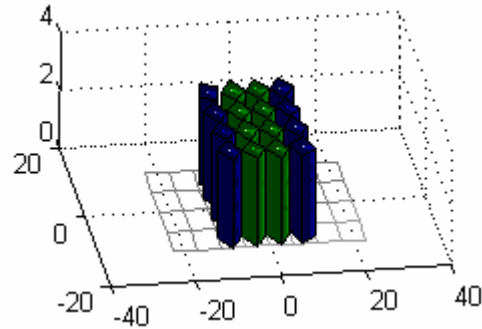


Şekil 5: gradyan tabanlı olmayan algoritmanın 11 turu sonunda elde edilen yüzey şekli

Birden fazla mıknatısın uzaydaki yerleşimini ve kutupsal dizimini Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6: 350 Genetik algoritma adımı sonunda elde edilen mıknatıs yerleşimi



Şekil 7: gradyan tabanlı olmayan algoritmanın 8 turu sonunda elde edilen mıknatıs yerleşimi

Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilen şekillerde açık renkli gösterilen mıknatısların S kutupları istenilen bölgeye bakarken, açık renkli olanların N kutupları istenilen bölgeye bakmaktadır.

#### 5. Teşekkür

BAP-2005-03-01-00-05 ve BAP-2006-07-02-00-01 kodlu projelere maddi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- [1]. Pablo J. Prado, "Single sided imaging sensor," Magnetic Resonance Imaging, Volume 21, Issue 3-4, s. 397-400 Nisan-Mayıs 2003.
- [2]. Amikam Aharoni, Introduction to Theory of Ferromagnetism, Oxford University Press, New York, ABD, 1996.
- [3]. B. Bleaney ve B. Bleaney, Electricity and Magnetism, Oxford University Press, 3. basım, Londra, İngiltere, 1976.