

# İndüklenmiş Akım Manyetik Rezonans-Elektriksel Empedans Tomografi

Levent Özparlak, Y. Ziya İder

Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent, Ankara

[ozparlak@ee.bilkent.edu.tr](mailto:ozparlak@ee.bilkent.edu.tr), [ider@ee.bilkent.edu.tr](mailto:ider@ee.bilkent.edu.tr)

**Özet:** İndüklenmiş Akım Manyetik Rezonans-Elektriksel Empedans Tomografi iki fazda incelenebilir: İleri problem bilinen öziletkenlik dağılımından nesnedeki potansiyel alanın, dahili burgaç akımlarının ve bu akımların yarattığı manyetik akı yoğunluğunun bulunması olarak tanımlanırken ters problem ölçülen manyetik akı yoğunluğundan öz direnç dağılımını, öziletkenliğin tersi, bulur. İleri problemin sayısal gerçekleştirilmesi Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılmaktadır. Dört harici dairesel sargı teker teker uyarılmakta ve her durum için manyetik akı yoğunluğunun ölçüldüğü kabul edilmektedir. Ters problemde Sonlu Farklar Yöntemi kullanılmaktadır. Her sargı için elde edilen matrisler birleştirilmekte ve çözüm bu matrisle yürütülmektedir. Bu yöntem her kesit için uygulanmaktadır. Geriçatma algoritması özyinelemeli olarak yapılmakta ve her özyinelemede bir önceki bulunan öz direnç dağılımı kullanılmaktadır. İlk özyinelemede bir örnek öz direnç dağılımı kabul edilmektedir. Bu makalede, benzetim sonuçları sunulmakta ve memnun edici öziletkenlik geriçatmalarının elde edildiği gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İndüklenmiş Akım MR-EET, Sonlu Elemanlar Yöntemi, MR-EET, Sonlu Farklar Yöntemi

## 1. Giriş

İndüklenmiş Akım Manyetik Rezonans-Elektriksel Empedans Tomografi (İA MR-EET), elektrotları kullanmak yerine harici sargılardan alternatif akım manyetik akı yoğunluğu üreterek nesne içerisinde akım indüklemeye dayalı yeni bir yöntemdir. Elektrotların kullanılmaması elektrotların yakınlığında yoğun akımların oluşmasını ve elektrotların neden olduğu duygunluk yapaylığını önlemektedir. İA MR-EET iki fazda incelenebilir: İleri Problem ve Ters Problem. İleri problem nesnenin içindeki potansiyel alanın çözümü, dahili burgaç akım yoğunluğunun bu bilgiden elde edilmesi ve bu akım yoğunluğunun yaratacağı manyetik akı yoğunluğunun bulunması olarak tanımlanabilir. Diğer yandan, ters problem bilinen, örneğin ölçülen, manyetik akı yoğunluğundan nesne içindeki öziletkenlik dağılımının bulunmasıdır. İleri ve Ters problemlerin eşitliklerinin türetmeleri [1] de açıklanmaktadır. İleri problemde nesne içindeki  $\phi$  potansiyel alanı şu şekilde ilintilendirilmektedir:

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla \phi) = -\omega \vec{A} \cdot \nabla \sigma . \quad (1)$$

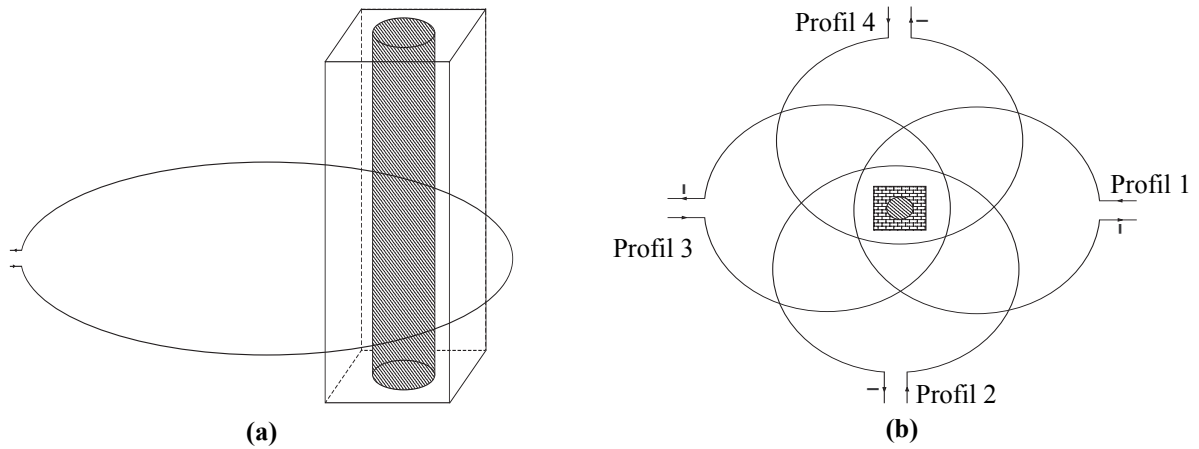
Bu eşitlik için sınır koşulu ise şu şekilde olacaktır:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -\omega \vec{A} \cdot \hat{n} . \quad (2)$$

Burada,  $A$  harici sargıların yarattığı vektör manyetik potansiyeli,  $\sigma$  dahili öziletkenlik dağılımını ve  $n$  de sınırdaki birim dışı doğru vektörü ifade etmektedir. Ek olarak, iletken bir ortamdaki akım yoğunluğunun şu şekilde ifade edildiği bilinmektedir:  $\vec{J} = \sigma \vec{E} = \sigma(-\nabla \phi - \omega \vec{A})$ .  $J$  tarafından üretilen manyetik akı yoğunluğu ise Ampere Kanunu kullanılarak bulunur. Ters problem durumuna bakacak olursak, düşük frekanslarda aşağıdaki eşitliği bulmak oldukça kolaydır:

$$\nabla \rho \times \vec{J} - \rho \nabla^2 \frac{\vec{B}^s}{\mu_0} = -\omega \vec{B}^p . \quad (3)$$

$B^s$  ve  $B^p$ , sırasıyla, burgaç akımlarının (ikincil) ve harici sargıların oluşturdukları (birincil) manyetik akı yoğunluklarını ifade etmektedir ve  $\rho = 1/\sigma$  durumu geçerlidir. Bu vektör eşitliğinin z bileşeni



**Şekil 1 (a) Bir akım indüklenme profilinin üç boyutlu görünümü (b) Bir nesne için dört farklı akım indüklenme profilinin tepeden görünüşü**

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} J_y - \frac{\partial \rho}{\partial y} J_x - \rho \frac{\nabla^2 B_z^s}{\mu_0} = -\omega B_z^p \quad (4)$$

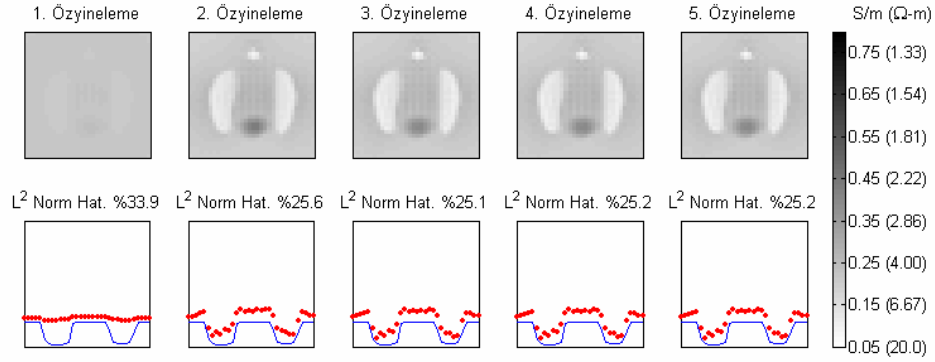
şeklinde olur. Bu noktada MRG kullanarak nesneyi çevirmeden ikincil manyetik akı yoğunluğunun sadece z bileşeninin ölçülebileceğine dikkati çekmek gerekir ve bu nedenle ters problem bu durum göze alınarak ilintilendirilmiştir. Bu makalede, ileri ve ters problemlerin çözümleri için sayısal yöntemler geliştirilmekte ve bu yöntemler bir benzetim hayaletine uygulanmaktadır.

## 2. Yöntem

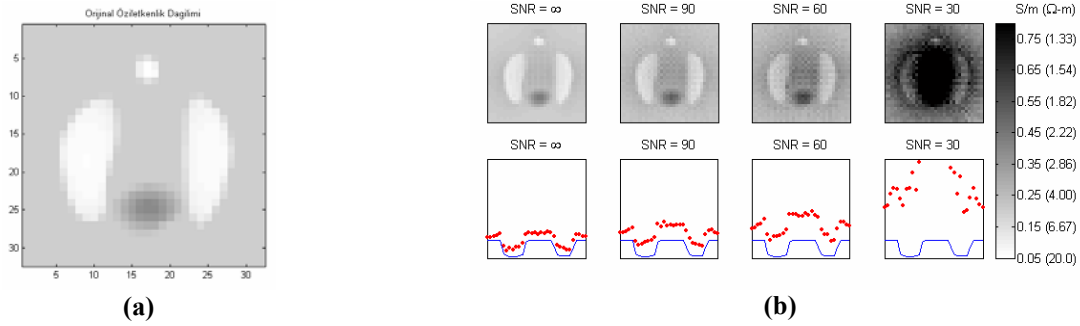
x, y, z yönlerinde 32 cm, 32 cm ve 64 cm boyutlarındaki bir dikdörtgensel prizma benzetim hayaleti olarak alınmıştır. Bu hayalette (Şekil 1), arkaplan öziletkenliği insan vücudunun ortalama öziletkenliğine yakın olan 0.2 S/m olarak alınmıştır. Benzetimlerde öziletkenliği 0.055-0.4 S/m arasında değişen yapay bir insan göğüs kesiti kullanılmıştır. Benzetimler için kullanılan harici sargılar 192 sm çapındadır. Bu sargılar birer birer uyarılmakta ve her bir durum için ikincil manyetik akı yoğunluğunun,  $B_z^s$  ölçüldüğü kabul edilmektedir.

İleri problemin sayısal olarak gerçekleştirilmesi Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak yapılmaktadır. Benzetim amaçlı verilerin gerçekleştirilmesi için, birincil manyetik akı yoğunluğu ve birincil manyetik vektör potansiyeli sayısal tümleştirme kullanılarak hesaplanmaktadır. Bilinen bir öziletkenlik dağılımı için, dahili burgaç akımı yoğunluğu SEY kullanılarak hesaplanmaktadır. SEY algoritması 6 tetrahedrondan oluşan 1x1x1 sm boyutlarında küplerden oluşan bir dikdörtgensel göz kullanır [2]. Her küpte birörnek öziletkenlik dağılımı ve her tetrahedronda düzlemsel potansiyel dağılımı varsayılmaktadır. Gözde 70785 düğüm ve 393216 tetrahedron bulunmaktadır. Son olarak ikincil manyetik akı yoğunluğu Biot-Savart Kanunu kullanılarak sayısal olarak hesaplanmaktadır. Bu iki alan ters problemin çözümü sırasında benzetim verisi olarak kullanılmaktadır.

Nesnenin herhangi bir kesitindeki özdirencini geriçatmak için, (4) özyineli olarak çözülmektedir. Başlangıç olarak birörnek özdirenc dağılımı alınmakta ve dahili akım yoğunluğu SEY kullanılarak hesaplanmaktadır. Ters problem sonlu farklar yöntemi ile çözülmekte ve çözümde  $B_z^s$ 'in ölçüldüğü ve  $J_x$  ve  $J_y$ 'in ileri çözücü tarafından hesaplandığı kabul edilmektedir. Küplerin merkezleri göz noktaları olarak alınmaktadır. Bir kesitteki bütün küplerde elde edilen eşitlikler birleştirildiğinde 1024 bilinmeyenli bir matris eşitliği elde edilmektedir. Bu durumda her akım indüklenme profili için elde edilen matrisler birleştirilecek olursa tümleşik sistem eşitliği adını verdiğimiz yeni bir eşitlik oluşur. Bu tür bir eşitlik 1024 bilinmeyen özdirenc değerini bulmak için en küçük kareleri elde edecek doğrultuda çözülebilir. Bu yordam bütün kesitler için tekrarlanmaktadır. İkinci ve daha sonraki özyinelemelerde, bir önceli özyinelemede bulunan özdirenc dağılımı başlangıç noktası olarak alınmaktadır. Ek olarak belirtmek gerekir ki iki-



**Şekil 2 Benzetim hayaleti için özyineleme sonuçları**



**Şekil 3 (a) Orijinal öziletkenlik dağılımı (b) Değişik gürültü seviyeleri için geriçatma sonuçları**

den fazla akım indükleme profili kullanıldığında sistem matrisinin koşul numarası belirgin bir şekilde gelişmektedir.

### 3. Sayısal Sonuçlar

Şekil 2 de benzetim hayaleti için yapılan geriçatmanın özyineleme sonuçları verilmektedir. 5. özyinelemeden sonra sonuçların daha fazla yakınlaşmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 2'deki sonuçlar için oluşturulan matrisin koşul numarası ortalama 37.5 olmaktadır. Şekil 3(a) orta kesitteki orijinal öziletkenlik dağılımını göstermektedir. Şekil 3(b)'de cismin ortasında bulunan kesit için değişik gürültü seviyelerindeki geriçatma sonuçları verilmektedir.

### 4. Sonuçlar

Bu makalede, İndüklenmiş Akım Manyetik Rezonans-Elektriksel Empedans Tomografi adında yeni bir teknik önerilmektedir. Bu algoritma üç boyutlu nesnelerin öz direnç dağılımlarını görüntülemek için önerilmektedir. Geriçatma algoritmasında en az iki akım indükleme profili kullanılması durumunda kullanılan sistem matrisinin koşul numarası oldukça iyi gözükmetedir. Ayrıca, yöntem yüksek uzaysal çözünürlüğe sahiptir.

Çözümün bir özyinelemesi kullandığımız benzetim hayatleti için yaklaşık 72 dakika almaktadır. Algoritma Pentium IV 2.8 GHz ve 1 GB DDR-RAM'e sahip bir makinede MATLAB üzerinde yapılmıştır.

### Kaynaklar

- [1] İder Y. Z. ve Özparlak L., Induced Current MR-EIT: Theoretical Formulation, XII. Int. Conf. on Elec. Bioimp. & V. EIT., 2004.
- [2] İder Y. Z. ve Onart S., Algebraic Reconstruction for 3D MR-EIT using one component of magnetic flux density, IOP Physiological Measurement Vol. 25, s.281-294, Şubat 2004.