

Manyetik Rezonans-Elektrik Empedans Tomografisinde (MR-EIT) Ayırt Edilebilirlik

Haluk Altunel, B Murat Eyüboğlu, Adnan Köksal*
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balgat, Ankara
e130503@metu.edu.tr, mevub@metu.edu.tr

*Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Beytepe, Ankara
koksal@hacettepe.edu.tr

Özet: Manyetik akı yoğunluğu, manyetik rezonans-elektrik empedans tomografisinde (MR-EIT) ölçülen büyüklüktür. Dışarıdan uygulanan akım, farklı iletkenlik dağılımlarında farklı akım dağılımına, dolayısıyla farklı manyetik akı yoğunluğu dağılımına yol açar. Bu gerçekten yola çıkarak, MR-EIT için ayırt edilebilirlik manyetik akı yoğunluğu esas alınarak tanımlanmıştır. Bu tanım genel olup, 2 ve 3 boyutlu her cisme uygulanabilir. Ayırt edilebilirlik değeri her cisim için analitik olarak hesaplanamayabilir. 2 boyutlu dairesel cisim için analitik çözüm mümkündür. Bu geometri için manyetik akı yoğunluğu ile elektrik empedans tomografisinde kullanılan yüzey potansiyeli temelli ayırt edilebilirlik tanımları karşılaştırılmış ve manyetik akı yoğunluğu ölçümlerinin daha ayırt edici olduğu gösterilmiştir.

1. Giriş

Biyolojik dokular arasındaki iletkenlik farklarından yola çıkarak iletkenlik görüntülerinin oluşturulması için Elektrik Empedans Tomografisi (EIT) geliştirilmiştir [1]. MRI sistemlerinden yararlanarak cisme verilen akım sonucu oluşan akım dağılımı da Manyetik Rezonans-Akım Yoğunluğu Görüntülenmesi (MR-CDI) ile görüntülenmiştir [2]. Manyetik Rezonans-Elektrik Empedans Tomografisi (MR-EIT) ise ölçülen manyetik akı yoğunluğu verisinden iletkenlik görüntüsünün oluşturulmasıdır [3].

Ayırt edilebilirlik ilk olarak EIT için ölçülen değer olan yüzey potansiyeline bağlı olarak tanımlanmıştır [4]. Ayırt edilebilirliğin arkasındaki ana fikir ise cismin içindeki iletkenlikte meydana gelecek bir değişim ölçülebilir bir değişikliğe yol açtığında EIT tarafından algılanabilir olmasıdır. MR-EIT için ayırt edilebilirlik ölçülen değer olan manyetik akı yoğunluğu bağlı olarak tanımlanmıştır [5]. Bu makalede manyetik akı yoğunluğu bağlı ayırt edilebilirlik tanımı belirtilmiş ve bu tanım 2 boyutlu dairesel cisme uygulanmıştır. Öte yandan bu tanım EIT için olan yüzey potansiyeline bağlı tanımla karşılaştırılmıştır.

2. Ayırt Edilebilirlik

MR-EIT için ayırt edilebilirlik ölçülen değer olan manyetik akı yoğunluğu bağlı olarak tanımlanmıştır [5].

$$\left| \vec{B}(\bullet, \sigma_1, j) - \vec{B}(\bullet, \sigma_2, j) \right| > \varepsilon \quad (1)$$

Burada

\vec{B} : Manyetik akı yoğunluğu

σ : İletkenlik dağılımı

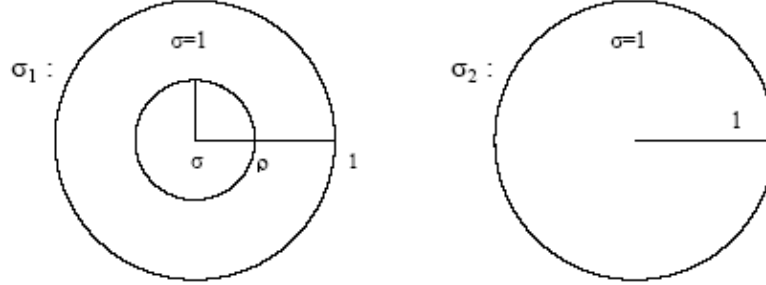
j : Akım yoğunluğu

ε : Kesinlik seviyesi

Bu ifade MR-EIT için ayırt edilebilirliği manyetik akı yoğunlukları arasındaki farkın MR-EIT sisteminin ölçüm kesinlik seviyesinden büyük olması şeklinde tanımlanmıştır. Farklı manyetik akı yoğunlukları farklı akım

dağılımından, dolayısıyla da farklı iletkenlik dağılımlarından kaynaklanmaktadır. Bu tanım 2 ve 3 boyutlu tüm cisimler için geçerlidir.

Her ne kadar tanımın sade de olsa ayırt edilebilirliğin analitik olarak elde edilmesi karmaşık geometrilere zorlaşmaktadır. Şekil 1'deki 2 boyutlu dairesel cisim ve merkezi konumlanmış yabancı cisim için ayırt edilebilirlik tanımının uygulanması ve analitik bir çözüme ulaşılması mümkün olmaktadır.



Şekil 1. σ_1 ve σ_2 için iletkenlik dağılımları.

Şekil 1'de σ iletkenliği ve ρ yarıçapı ile gösterilen kısım yabancı cisimdir. Analizin kolaylaştırılması için arka plan yarıçapları ve iletkenlikleri 1 olarak varsayılmıştır. Analize Biot-Savart bağıntısı ile başlanmıştır:

$$B_z(x, y) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{J_x(x', y')(y - y') - J_y(x', y')(x - x')}{R^3} ds' \quad (2)$$

Şekillerin dairesel olmaları sebebiyle bu bağıntı dairesel koordinatlara taşınmıştır:

$$B_z(r, \theta) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{J_r(r', \theta')r \sin(\theta - \theta') + J_\theta(r', \theta')(r' - r \cos(\theta - \theta'))}{R^3} ds' \quad (3)$$

Manyetik akı farklarını bulabilmek için akım yoğunluğu farklarına ihtiyaç vardır:

$$J_r(r, \theta, \sigma_2) - J_r(r, \theta, \sigma_1) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{n-1} \frac{2\mu_0 \rho^{2n}}{1 + \mu_0 \rho^{2n}} (C_n \cos n\theta + S_n \sin n\theta) \quad (4.a)$$

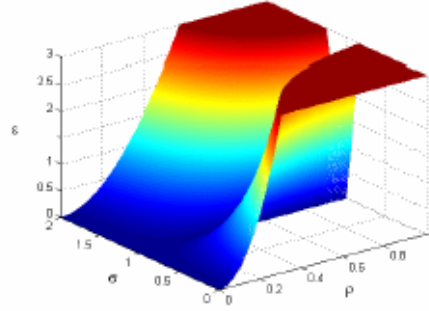
$$J_\theta(r, \theta, \sigma_2) - J_\theta(r, \theta, \sigma_1) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{n-1} \frac{2\mu_0 \rho^{2n}}{1 + \mu_0 \rho^{2n}} (-C_n \sin n\theta + S_n \cos n\theta) \quad (4.b)$$

Matematiksel işlemlerden sonra 2 boyutlu dairesel cisim ve merkezi yabancı cisim için ayırt edilebilirlik şu şekilde ifade edilir:

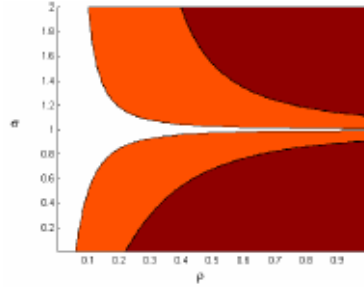
$$\|B_z(\sigma_1) - B_z(\sigma_2)\| \leq \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\mu_0 \rho^2}{1 + \mu_0 \rho^2} \iint \frac{\|r \sin(\theta - \theta')\| + \|r' - r \cos(\theta - \theta')\|}{(r^2 + r'^2 - 2rr' \cos(\theta - \theta'))^{\frac{3}{2}}} ds' ds \quad (5)$$

Ayırt edilebilirliğin farklı ϵ , σ ve ρ değerleri için grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Manyetik akı temelli ayırt edilebilirlik ve yüzey potansiyeli temelli ayırt edilebilirlik tanımları aynı problemde $\epsilon=0.1$ için Şekil 3'te karşılaştırılmıştır. Manyetik akı temelli ayırt edilebilirliğin daha geniş bir alan sağladığı görülmektedir. Bu da MR-EIT'nin EIT'ye oranla daha küçük cisimleri ayırt edebileceği sonucunu doğurmaktadır. Koyu renkli bölümler EIT tarafından ayırt edilebilmektedir. Açık renkli olan kısım ise MR-EIT tarafından fazladan ayırt edilen bölümleri göstermektedir. Yabancı cismin iletkenliğinin 1'e eşit olması durumunda her iki metod da cismi

ayırt edememektedir. Çünkü yabancı cisim ve arka plandaki cisimlerin aynı iletkenlik seviyesinde olması durumunda iletkenlik kökenli görüntüleme tekniklerinin uygulanması mümkün değildir.



Şekil 2. MR-EIT için manyetik akı yoğunluğu temelli ayırt edilebilirlik.



Şekil 3. Keskinlik seviyesi $\epsilon=0.1$ iken, yüzey potansiyeli temelli ayırt edilebilirlik (koyu renk) ve manyetik akı temelli ayırt edilebilirliğin sağladığı geliştirme (açık renk).

3. Sonuç

MR-EIT için ayırt edilebilirlik, ölçülen değer olan manyetik akı yoğunluğuna bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu tanım 2 boyutlu dairesel cisimlere uygulanmış ve analitik olarak ayırt edilebilirlik elde edilmiştir. Manyetik akı temelli ayırt edilebilirlik tanımı (MR-EIT) yüzey potansiyeli temelli tanımla (EIT) aynı problem için karşılaştırılmış ve manyetik akı temelli olan tanımın daha iyi ayırt edilebilirlik sağladığı görülmüştür. Burada karşılaştırmayı yapabilmek için EIT ve MR-EIT sistemlerinin aynı keskinlik seviyesine sahip olduğu varsayılmıştır. Ancak gerçek sistemler arasında farklar bulunabilir.

Ayırt edilebilirlik tanımının yapılmasındaki esas amaçlardan birisi EIT temelli sistemlerde akım optimizasyonunu sağlamaktır. Bu şekilde en iyi görüntüleme şansını verecek akım verme stratejisi belirlenebilecektir. Ayrıca 2 boyutlu ve 3 boyutlu daha karmaşık cisimlerin ayırt edilebilirliklerinin bulunması da bundan sonra yapılması gerekenlerdendir. Dolayısıyla akım verme stratejisinin optimizasyonu daha karmaşık geometrilere uyarlanabilecektir.

Kaynaklar

- [1]. Boone K., Barber D. ve Brown B. "Imaging with electricity: report of European concerted action on impedance tomography", J. Med. Eng. Technol., 21, s201-232, 1997.
- [2]. Scott G. C., Joy M L. G., Armstrong R. L. ve Hankelman R. M. "Measurement of non-uniform current density by magnetic resonance", IEEE Trans. Med. Imaging, 10, s362-374, 1991.
- [3]. Birgül Ö., Eyüboğlu B. M. ve İder Y. Z., "Experimental results for 2D magnetic resonance electrical impedance tomography (MR-EIT) using magnetic flux density in one direction", Phys. Med. Biol., 48, s3485-3504, 2003.
- [4]. Isaacson D., "Distinguishability of conductivities by electric current computed tomography", IEEE Trans. Med. Imaging, 5, s91-95, 1986.
- [5]. Altunel H., Eyüboğlu B. M. ve Köksal A. "Distinguishability for magnetic resonance-electrical impedance tomography (MR-EIT)", Physics in Medicine and Biology dergisine yayımlanmak üzere gönderildi, 2006.