

# GERÇEKÇİ KAFA MODELLERİ KULLANILARAK ELEKTRO-MANYETİK KAYNAK GÖRÜNTÜLEME

Dr. Zeynep AKALIN ACAR

Doktora tezi yöneticisi: Prof. Dr. Nevzat G. Gençer

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Geçtiğimiz yüzyıl içinde, bilimsel araştırmalar sayesinde insan beyni ile ilgili birçok bilgi edinilmiştir. Bunların arasında beynin çeşitli bölümlerinin duyuşal işlevleri nasıl yerine getirdiği de bulunmaktadır. Bilginin nasıl edinildiği ve işlendiği ise etkileyici ancak çok daha zor bir problemdir. İnsan beyni, fonksiyonel ve anatomik yapısı itibari ile diğer organlara göre daha hassas ve karmaşıktır. Alzheimer, Parkinson, multiple skleroz, epilepsi, unutkanlık ve beyin tümörleri gibi birçok beyin kaynaklı hastalık ve bozukluk bireyleri ve toplumu tehdit etmekte ve araştırılması, anlaşılması ve tedavi edilmesi gerekmektedir.

Dr. Zeynep Akalin Acar'ın, ödüle layık görüldüğü doktora çalışması, beyin fonksiyonlarının anlaşılmasına katkıda bulunmak için gerçekleştirilmiştir. Beyin araştırmasındaki son çalışmalara katkıda bulunacak araçlar geliştirilmiş ve bir araştırma ortamı kurulmuştur.

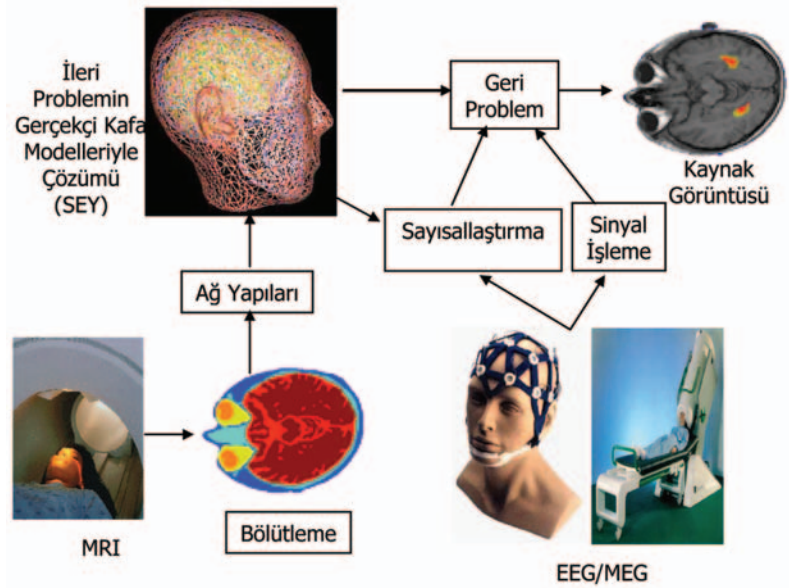
İnsan beyninde vücut fonksiyonları ile ilişkili olarak değişik noktalarda elektriksel aktiviteler meydana gelmektedir. Bu elektriksel aktiviteler kafa üzerine yerleştirilen elektrotlarla (elektroensefalografi - EEG) ve çok hassas magneto metrelerle (magnetoensefalografi - MEG) izlenebilir. Elektro-manyetik kaynak görüntüleme (EMKG), insan beyninde oluşan bu aktivitenin yer, yön ve şiddetlerinin kafa yüzeyinden

alınan potansiyel ve manyetik alan ölçümleri kullanılarak tespit edilmesidir. Şekil 1'de gerçekçi kafalar kullanılarak yapılan EMKG uygulamasının blok şeması gösterilmektedir.

Kaynakların yerlerini doğru olarak tespit edebilmek için ölçümlerin alındığı insan kafasının elektriksel ve geometrik özelliklerinin doğru olarak bilinmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle, öncelikle kafa sayısal olarak modellenmekte ve bu model içinde var sayılan elektriksel kaynaklar için elektrik ya da manyetik alan dağılımı çözümleri (ileri problem çözümü) ya-

pılmaktadır. Kaynakların yerini, şiddetini ve yönünü bulabilmek için ise farklı kaynaklar için ileri problem çözümünü gerektiren geri problem çözümleri yapılmaktadır. İleri problemi gerçekçi modellerle çözebilmek için sayısal yöntemler kullanılmaktadır.

Bu araştırma kapsamında yapılan çalışmaları üç ana başlık altında incelemek mümkün olacaktır. İlk olarak, kafa modeli üzerinde çözüm almak için kullanılacak sayısal yöntemler geliştirilmiş ve iyileştirilmiştir. İkinci olarak kafanın geometrik yapısına uygun modelin oluşturulması üzerinde çalışılmıştır. Son olarak, geri



Şekil 1: Elektro-Manyetik Kaynak Görüntüleme blok şeması

problem için genetik algoritma tabanlı çözüm yöntemleri geliştirilmiş ve çeşitli deneylerle geliştirilen EMKG platformunun doğruluğu sınanmıştır.

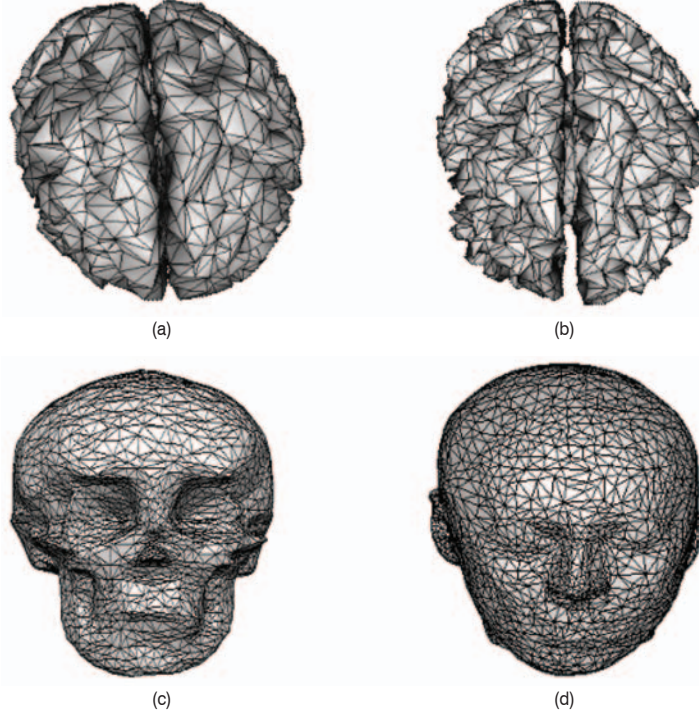
### **İleri problem çözümü**

İleri problemi çözmek için Sınır Elemanı Yöntemi (SEY) kullanılmıştır. SEY'de iletken cismin (bu problemde kafanın) yüzeyindeki potansiyel alan ve üzerindeki manyetik alan hesaplanır.

Bu çalışmada kullanılan SEY yönteminde ikinci derece elemanlar, tekrarlamalı integral hesaplaması ve izole problem yaklaşımı (İPY) kullanılarak çözümün doğruluğu artırılmıştır. Aynı zamanda SEY sayısal yöntemi ile ileri problem çözümünde çeşitli iyileştirmeler sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerden en önemli ileri problem çözümlerinin çok kısa sürelerle indirilmesi olmuştur. Bu amaçla belirlenen kafa modeline özgü model matrisleri hesaplamak için yöntemler geliştirilmiştir. Bu matrisler bir kere hesaplandıktan sonra ileri problem çözümlerini çok kısa sürelerde (mili saniyeler düzeyinde) gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Bu sayede geri problem çözüm süreleri de önemli ölçüde azalmıştır. Bir diğer iyileştirme ise beyin içinde, örneğin tümör gibi, farklı dokular olduğunda doğruluğu arttıracak yeni bir İPY formülasyonunun geliştirilmesidir. Bu sayede daha karmaşık modellerin yüksek doğrulukla çözülmesi mümkün olmuştur.

### **Modelin Oluşturulması**

Gerçekçi kafa modellerini elde edebilmek için kafanın içerisindeki dokuların sınırlarını belirlemek gerekmektedir. Bu amaçla üç boyutlu MR görüntülerinden bölütleme yapılmıştır. Bölütlemeye kafa görüntülerindeki aynı elektriksel iletkenliğe sahip vokseller (birim hacim elemanı) bir grup içinde toplanacak şekilde sınıflara ayrılır. Bu çalışmada kullanılan kafa modelleri üç boyutlu çok kipli manyetik rezonans (MR) görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir. Bölütleme



Şekil 2: (a) Gri madde, (b) beyaz madde, (c) kafatası, (d) kafa yüzeyi için oluşturulan ağ yapıları.

için yarı otomatik, hibrit bir algoritma geliştirilmiştir. Kafa derisi, kafatası, beyin sıvısı, beyaz cevher, gri cevher, gözler ve göz yuvarları olmak üzere toplam yedi doku ayrıştırılmıştır.

Bölütleme işleminden sonra elde edilen geometrik bilgiyi, SEY ile kullanılacak sayısal bir forma dönüştürmek gereklidir. SEY ile yüzeyler modellediği için, bir ağ oluşturma algoritması geliştirilmiş ve doku yüzeylerine oturtulan üçgen elemanlardan meydana gelen ağ yapıları elde edilmiştir. Bu elemanlar üzerinde potansiyel ve manyetik alanın değişimi ile eleman geometrisinin değişimi aynı fonksiyonlarla gösterilmektedir. Şekil 2'de gri madde, beyaz madde, kafatası ve kafa yüzeyi için oluşturulan ağ yapıları gösterilmiştir. Kafatasının orbita çukuruna oturan gözleri modele ekleyebilmek için kafatasının gözlerle temas ettiği ağ yapıları parçaları birleştirilerek tek bir ağ yapısına dönüştürülmüş ve ilk defa SEY ile kesişen dokular modellenmiştir. Tüm kafa için oluşturulan ağ yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.

### **Geri Problem**

İleri problem çözümlerini hızlı ve yüksek hassasiyetle çözebilen bir uygulama ve çözümler için kafa modelini oluşturduktan sonra sıra beyin içerisindeki kaynakların bulunmasına yani geri problemin çözülmesine gelmiştir. Bu çalışmada geri problem çözümü için global bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma (GA) kullanılmıştır.



Şekil 3: Tüm kafa için oluşturulan ağ yapısının kesit görüntüsü.

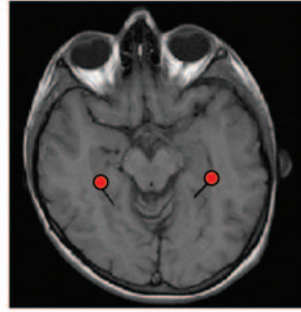
Üretilmiş verilerle yapılan denemelerde konumlandırma hatası, yedi bölmeli gerçekçi bir modelde sinyal gürültü oranı (SGO) 10 alındığında, EEG için 1.1 mm, MEG için ise 1.2 mm olmaktadır. Gerçekçi bir kafa modeline yerleştirilen tek bir kaynak gerçekçi modele en iyi uyacak bir küresel model ile araştırıldığında, konumlandırma hataları EEG ve MEG için 8.5 ve 7 mm'ye yükselmiştir. Benzer testler birden fazla kaynak yeri ile de gerçekleştirilmiş ve gerçekçi kafa modellerinin küresel modellere göre daha doğru sonuç verdiği kesin olarak gözlenmiştir.

## Deneyler

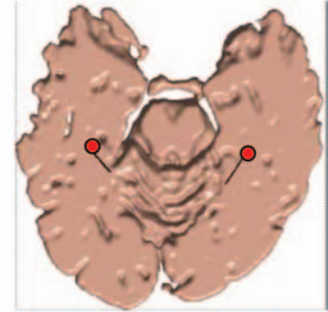
Bu çalışmada gerçekleştirilen EMKG yaklaşımı bir duyma deneyi ile elde edilen EEG ölçümlerinden kaynakları bulmak için de kullanılmıştır. Bu ölçümleri kafa modeli ile birlikte kullanabilmek için EEG ve MR görüntülerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Manyetik bir işaretleyicinin yardımı ile önce kafa üzerindeki elektrotların yerleri işaretlenir daha sonra da bir optimizasyon algoritması ile kafa modeli ile elektrot pozisyonları aynı koordinat sisteminde birleştirilir. Şekil 4'de 256 kanallı bir EEG başlığının kafa yüzeyindeki elektrot noktaları gösterilmektedir. Bu son aşamadan sonra sistem kafa üzerinden alınan EEG verilerini işleme-ye hazır hale gelmiştir.



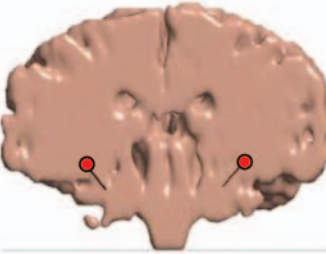
Şekil 4: 256 kanallı EEG başlığının kafa yüzeyinde işaretlenmiş elektrot noktaları.



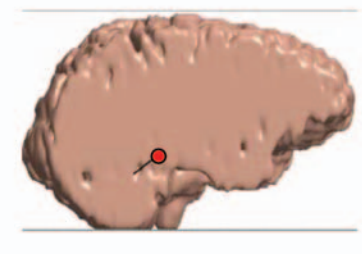
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5: İşitsel uyarı sonucu toplanan EEG verilerinden elde edilen kaynak görüntüleri. (a) MR görüntüsünde aksiyel kesitte, (b), (c), ve (d) beyin bölümlenmiş MR görüntüsünde çeşitli açılardan kaynak görüntüleri.

Hacettepe Üniversitesi Biyofizik Bölümü'nde Dr. Pekcan Ungan ve Dr. Süha Yağcıoğlu ile yapılan çalışmalarda aranan kaynaklar, doğru olarak Heschl girusunda tespit edilmiştir. Şekil 5'te, elde edilen kaynakların beyin görüntülerinde nereye karşılık geldiği gösterilmektedir. Sonuç olarak bu tez, gerçekçi kafa modelleri kullanarak EMKG ileri ve geri problemlerinin çözülmesi için komple bir platform oluşturmaktadır.

## Sonuç

Bu tez çalışması güncel ve aktif bir konuda yapılan, tıp bilimi, matematik, nümerik analiz, modelleme, veri toplama gibi birçok konuyu bir araya getiren, multi-disipliner bir çalışmadır.

Bilimsel yönden alanına özgün katkıları şu şekilde sıralanabilir:

1. MR verilerinden T1, T2 ve PY kullanan hibrit bir bölütleme algoritması geliştirilmesi,
2. Sınır elemanı yönteminin (SEY) daha gerçekçi kafa modelleri ile kullanımının sağlanması,
3. Gerçekçi kafa modelleriyle ileri problem çözümünün çok kısa sürelerle indirilmesi,
4. Beyin içinde farklı doku(lar) olduğunda BEM için yeni formülasyonun önerilmiş olması,
5. Sayısal deneylerde, beyin bölgesindeki dipol etkinliğinin yerinin oldukça yüksek duyarlılıkla tanımlanmış olması,
6. Geliştirilen EMSI yazılım altyapısının özgünlüğü.