

CEP TELEFONLARININ İNSAN KAFASINDA ENDÜKLEDİĞİ ÖZGÜL SOĞURMA ORANININ SAYISAL HESABI

Tanju YELKENCİ
Marmara Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Göztepe, İstanbul
tyelkenci@eng.marmara.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, mobil telefon cihazlarının 915 MHz (GSM) ve 1.9 GHz (DECT) çalışma frekanslarında insan kafasında endüklediği özgül enerji soğurma oranına (SAR) ilişkin elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuştur. Hesaplamalarda $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ çözünürlüğe sahip, MRI kayıtlarından elde edilen anatomik kafa ve el modelleri kullanılmıştır. Özel olarak, örneğin gözlük çerçevesi, diş kronları gibi metalik objelerin kafa içerisinde endüklenen alanların yükselmesine sebep olup olmadığı incelenmiştir. Sayısal hesaplamalarda zaman domeninde sonlu farklar (FDTD) algoritması kullanılmıştır. Özgül soğurma oranının, GSM ve DECT sistemleri için müsaade edilen maksimum yayın güçlerinde, uluslararası normlarda öngörülen sınırları aşmadığı gösterilmiştir.

1. Giriş

Elektromagnetik alanlar ve dalgalar, kayıplı dielektrik ortamlarda ısı enerjisinin açığa çıkmasına neden olurlar. Elektromagnetik ışımının etkisi altındaki vücut dokusu da kayıplı dielektrik malzemeler gibi bir davranış sergiler ve yutulan EM enerjideki aşırı artış, sağlığa zararlı etkilere yol açabilir. Bu nedenle birçok ulusal ve uluslararası standart kurulu, insan organizmasının maruz kalabileceği ısı artışın sağlığa zararlı etkilere neden olmayacağı sınırlarını vermekte; bu değerler yapılan çalışmalar ve yeni bulgular ışığında güncellenmektedir [1]. Isıl artış etkisinin ölçüsü, özgül soğurma oranı ile

$$SAR = \frac{\sigma E_m^2}{2 \rho} \quad (1)$$

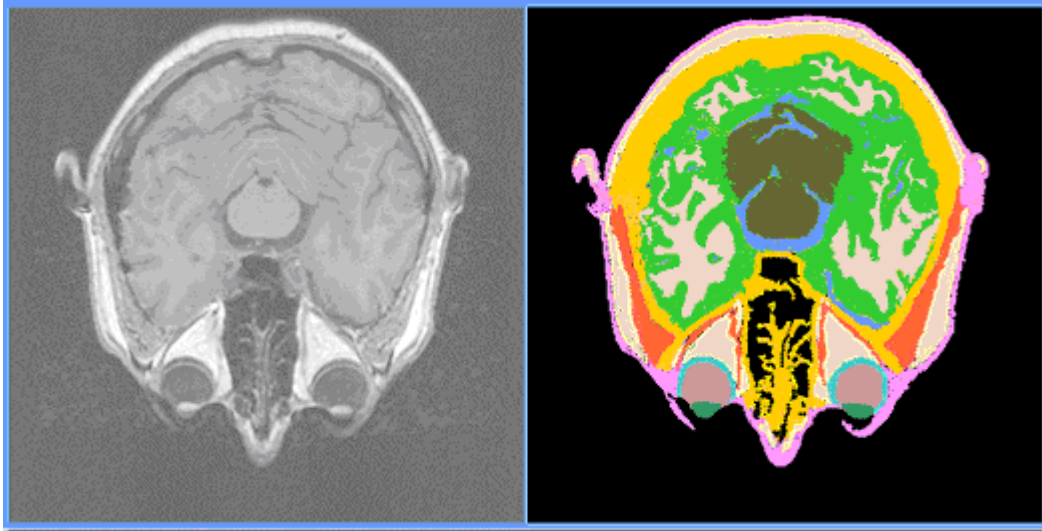
şeklinde tanımlanır ve birim ağırlık başına yutulan EM gücü [W/kg] gösterir. Bu ifade, fizyolojik dokular için de geçerli olmakla birlikte, doku içerisinde elektrik alan şiddetinin ölçülmesinin zorluğu aşikardır. İn vivo SAR ölçümü pratikte imkansız olduğundan, SAR değerlerinin belirlenmesi için genelde iki yöntem başvurulmaktadır. SAR değerleri, ya insanın elektromagnetik özelliklerine benzeyen fantomlar üzerinde alan sondaları vasıtasıyla ölçmeler yapılarak [2], ya da organizma içinde endüklenen elektrik alan şiddeti bilgisayar simülasyonları ile hesaplanarak belirlenir [3,4].

Bu çalışmada, cep telefonu kullanımı halinde insan kafası ve elinde oluşan SAR değerleri ve bu değerlere gözlük, diş kronları gibi metalik objelerin etkileri, $f=915 \text{ MHz}$ (GSM) ve $f=1.9 \text{ GHz}$ (DECT) frekansları için FDTD yöntemi ile sayısal olarak araştırılmıştır.

2. Kafa, el ve cep telefonu modelleri

SAR hesaplamalarında güvenilir sonuçlar elde etmek için temel koşulların başında, anatomik bakımdan doğru modellerin kullanılması gelmektedir. Bu çalışmada kullanılan kafa ve el modelinin esası, özel olarak gerçekleştirilen özgün iki MRI kayıt seti ile meydana getirilmiştir. İlk kayıt seti süjenin kafasına ait olup, 2 mm kalınlıkta, 256×256 pixel çözünürlüğe sahip 150 slayttan oluşmaktadır. İkinci kayıt seti ise karton cep telefonu maketi ile telefon eder pozisyonundaki süjenin eline ait olup, 2 mm kalınlıkta, 256×256 pixel çözünürlüğe sahip 140 slayttan ibarettir.

Modelin geliştirilmesinde önemli bir adımı, MRI kayıtlarında farklı gri tonları ile karakterize edilen deri, yağ, kas, kemik v.b. gibi belirli doku türlerinin ayırt edilmesi oluşturmuştur. Segmentlere ayırma işlemi, MR tomografisinden bilinen gri değer aralıkları yardımıyla otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemi takiben, anatomik kesit resmi, FDTD algoritmasının hesap uzayına uygun olarak ayrıklaştırılmıştır (Şek.1).

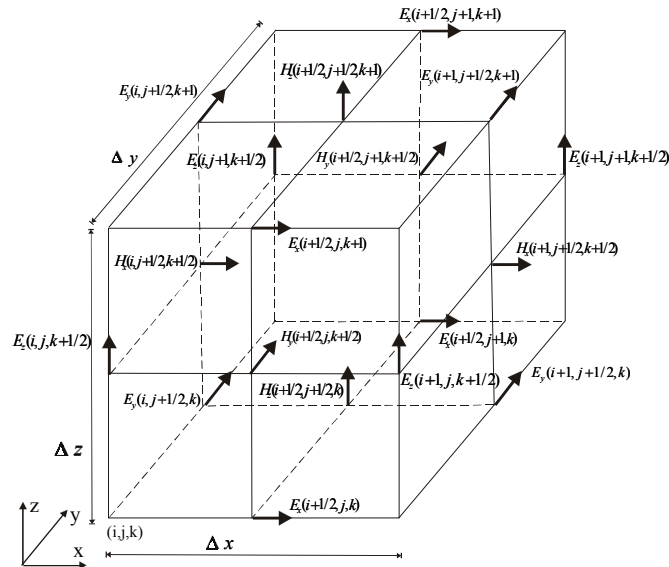


Şek. 1. Gözlerin bulunduğu bölgeye ilişkin kesitte solda MRI kaydı, sağda ise bunun farklı dokulara göre segmentlere ayrılmış hali görülmektedir.

Cep telefonu, dielektrik malzeme kaplı ($\epsilon_r = 4.2$), 13 cm x 4 cm x 2.4 cm ebatlı, metalik dikdörtgenler prizması ile modellenmiştir. Dörttebir dalga boyu uzunluklu monopollü anten ($f=915$ MHz için $l=8.2$ cm; $f=1.9$ GHz için $l=4$ cm) dikdörtgenler prizmasının küçük yüzeyi üzerine yan yüzlerden 0.6 cm uzaklıkta olacak şekilde, köşeye yerleştirilmiştir. Anten besleme gerilimi, cep telefonunun boş uzayda çıkış gücü 1W olacak şekilde seçilmiştir.

2. Zaman domeninde sonlu farklar yöntemi

Sonlu farklar yaklaşımında prensip, diferansiyel denklemdeki diferansiyellerin oranını, farkların oranı şeklinde ifade ederek, diferansiyel denklemi cebrik hale sokmaktır. Kaynakları içermeyen Maxwell denklemleri söz konusu olduğunda, rotasyonel içeren ifadeler kartezyen koordinatlarda birbirleriyle küplümlü, birinci mertebeden altı kısmi türevli lineer diferansiyel denklem içeren bir sistem oluştururlar. Bu diferansiyel denklem sistemi, Şek.2 de gösterilen elementer FDTD hücresi yardımıyla ayrıştırılıp düzenlenirse, üç elektrik ve üç magnetik alan bileşenini içeren iteratif denklemler elde edilir [5].



Şek. 2. Elementer FDTD hücresinde elektrik ve magnetik alan bileşenlerinin konumu [5].

Elementer hücre yardımıyla, örneğin x doğrultusunda $(i+1/2, j, k)$ konumunda, $(n+1)\Delta t$ anında elektrik alan bileşeninin ifadesi

$$E_{x,i+1/2,j,k}^{n+1} = \alpha_x(i+1/2, j, k) E_{x,i+1/2,j,k}^n + \beta_x(i+1/2, j, k) \left[\frac{H_{z,i+1/2,j+1/2,k}^{n+1/2} - H_{z,i+1/2,j-1/2,k}^{n+1/2}}{\Delta y} - \frac{H_{y,i+1/2,j,k+1/2}^{n+1/2} - H_{y,i+1/2,j,k-1/2}^{n+1/2}}{\Delta z} \right] \quad (2.a)$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$\alpha_x(i, j, k) = \left(1 - \frac{\sigma(i, j, k)\Delta t}{2\varepsilon(i, j, k)} \right) / \left(1 + \frac{\sigma(i, j, k)\Delta t}{2\varepsilon(i, j, k)} \right) \quad (2.b)$$

ve

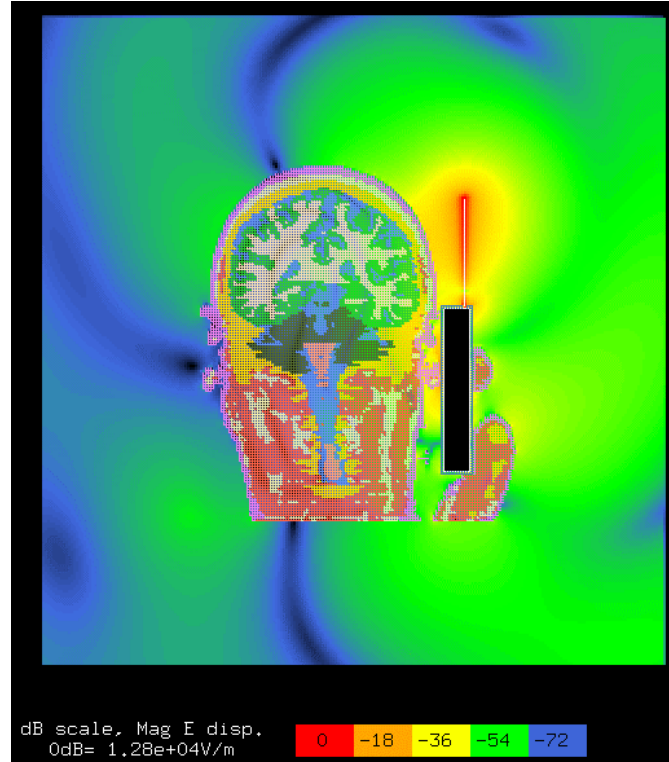
$$\beta_x(i, j, k) = \left(\frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k)} \right) / \left(1 + \frac{\sigma(i, j, k)\Delta t}{2\varepsilon(i, j, k)} \right) \quad (2.c)$$

konmuştur. Diğer elektrik ve magnetik alan bileşenleri, benzer formülasyonlarla ifade edilebilir.

Gözönüne alınan hesaplama uzayının sınırları, mümkün mertebe yansıtmasız dizayn edilmiş olmalıdır. Bu amaçla, hesaplama uzayının sınırlarında birinci ve ikinci mertebeden Mur sınır koşulları kullanılmıştır [6].

FDTD hücresinin boyutları 2 mm, hesaplama zaman aralığı $\Delta t=3.85$ ps alınmıştır. 13 farklı doku türüne göre segmentlerine ayrıştırılan anatomik kafa/el modelinde, kafa modeli 771080 adet hücreden, el modeli ise 64394 adet hücreden oluşmaktadır. FDTD hesap uzayı $f=915$ MHz için (241x266x250), $f=1.9$ GHz için ise (181x206x190) boyutlarında seçilmiştir.

Şek.3 de, hesaplanan elektrik alan şiddetinin ani değerlerinin antenin yakın civarında maksimum değerine ulaştığı, antenden biraz uzaklaştığında önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.



Şek. 3. 1 W çıkış gücünde, $f=915$ MHz çalışma frekansında mobil telefon cihazının oluşturduğu elektrik alan şiddetinin ani mutlak değerlerinin değişimi.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada hesaplamalar, iki ayrı kafa, el ve cep telefonu modeli baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Birinci modelde anten eksenini kafa eksenine paralel durumdadır. İkinci modelde ise, normal telefon etme pozisyonunda olduğu gibi, anten eksenini kafa eksenine göre 60° dndrlmştir. Her iki model de, diş kronları, gözlük erevesi gibi metalik objelerin eklenmesiyle modifiye edilmiştir. SAR değerleri, sekiz değişik model varyasyonu için, hem $f=915$ MHz hem de $f=1.9$ GHz frekanslarında hesap edilmiştir.

En büyük SAR değerlerinin, anten ekseninin kafa eksenine paralel durumunda oluştuğu grlmştir. $f=915$ MHz için tek bir hesaplama hücresinde en büyük SAR değeri 45.5 W/kg bulunmuştur. Bu hücrenin ağırlığı $8.8 \cdot 10^{-3}$ mg dir. Gzlk, diş kronları gibi metalik objelerin varlığı, bulunan SAR değerinin değişiminde ihmal edilecek kadar kk bir etkiye sahiptir. $f=1.9$ GHz için benzer hesaplamalarla 32.5 W/kg sonucu elde edilmiştir. Noktasal tepe değerler çok farklı olabildiğinden, tüm emniyet standartları 1 g, 10 g veya 100 g dokulardaki ortalama değerler için ngrlmştir. Örneğin, 10 g doku için ortalama alındığında bu SAR değerleri 915 MHz de 2.8 W/kg, 1.9 GHz de ise 6.4 W/kg olmaktadır.

ICNIRP standardına göre 10 g kafa dokusunda, genel halk için müsaade edilen en yüksek ortalama SAR değeri 2 W/kg dir [1]. Diğer taraftan, GSM900 sisteminde cep telefonlarının maksimum çıkış gücü 1/8 zaman çarpanı ile 2 W olarak verilmektedir. Bunun sürekli halde 0.25 W ıkış gücüne karşı geldiği gözönünde bulundurulursa, $f=915$ MHz için hesapladığımız SAR değerinin $0.7 \text{ W/kg} < 2 \text{ W/kg}$ olduğu görülür. DECT standardı ise cep telefonları için maksimum çıkış gücünü 24 zaman çarpanı ile 250 mW olarak öngörmektedir. Buna göre $f=1.9$ GHz için hesapladığımız SAR değerinin $0.07 \text{ W/kg} < 2 \text{ W/kg}$ olduğu bulunur. Bu sonuçlara göre, mobil telefon cihazlarının vücut dokusunda, yerel olarak da 1°C den daha yüksek sıcaklık artışı meydana getirmeyecekleri ve uluslararası standartların belirledikleri sınırların altında kalan bu etkilerin fizyolojik açıdan bir zarar vermeyecekleri öngörülebilir.

Kaynaklar

- [1]. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Phys., vol. 74, s.494-522, 1998.
- [2]. Yu, Q., Gandhi, O.P., Aronson, M., Wu, D., "An automated SAR measurement system for compliance testing of personal wireless devices", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-41, s. 234-245, 1999.
- [3]. Dimbylow, P. J., Mann, S.M., "SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz", Phys. Med. Biol., vol. 39, s. 1537-1553, 1994
- [4]. Gandhi, O.P., Lazzi, G., Furse, C.M., "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz", IEEE Trans. Microwave Theory and Techn., vol. MTT-44, s. 1884-1897, 1996.
- [5]. Yee, K.S., "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-14, s. 302-307, 1966.
- [6]. Mur, G., "Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic-field equations", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-23, s. 377-382, 1981.