



TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

BİLGİ BELGE MERKEZİ(BBM)

Döküman Bilgileri

EMO BBM Yayın Kodu	: 3
Bildirinin Adı	: Cep Telefonlarının Beyin Üzerinde Biriktirdiği Elektromanyetik Enerjinin Farklı Frekanslara Göre İncelenmesi
Bildirinin Yayın Tarihi	: 21/04/2010
Yayın Dili	: Türkçe
Bildirinin Konusu	: Cep Telefonlarının Beyin Üzerinde Biriktirdiği Elektromanyetik Enerjinin İncelenmesi
Bildirinin Kaynağı	: BİYOMUT 2010, 15.Biyomedikal Mühendisleri Ulusal Toplantısı, 21-24 Nisan 2010, Antalya
Anahtar Kelimeler	: cep telefonlarının em etkisi, biyomedikal
Yazar 1	: Cafer Budak
Yazar 2	: M. Bahattin Kurt
Yazarlar EMO üyesi ise Sicil No	: 27367

Açıklama

Bu doküman Elektrik Mühendisleri Odası tarafından açık arşiv niteliğinde olarak bilginin paylaşımı ve aktarımı amacı ile eklenmiştir.

Odamız üyeleri kendilerine ait her türlü çalışmayı EMOP/Üye alanında bulunan veri giriş formu aracılığı ile bilgi belge merkezinde yer almasını sağlayabileceklerdir. Ayrıca diğer kişiler çalışmalarını e-posta (bbm@emo.org.tr) yolu ile göndererek de bu işlemin gerçekleşmesini sağlayabileceklerdir. Herhangi bir dergide yayınlanmış akademik çalışmaların dergideki formatı ile aynen yer almaması koşulu ile telif hakları ihlali söz konusu değildir.

Elektrik Mühendisleri Odası Bilgi Belge Merkezi'nde yer alan tüm bilgilerden kaynağı gösterilerek yararlanılabilir.

Bilgi Belge Merkezi'nde bulunan çalışmalardan yararlanıldığında, kullanan kişinin kaynak göstermesi etik açısından gerekli ve zorunludur. Kaynak gösterilmesinde kullanılan çalışmanın adı ve yazarıyla birlikte belgenin URL adresi (http://bbm.emo.org.tr/genel/katalog_detay.php?katalog=3&kayit=3) verilmelidir.

Cep Telefonlarının Beyin Üzerinde Biriktirdiği Elektromanyetik Enerjinin Farklı Frekanslara Göre İncelenmesi

Investigation of Electromagnetic Energy Accumulated in the Brain by Mobile Phones for Different Frequencies

Cafer Budak¹, M. Bahattin Kurt²

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Batman Üniversitesi

cafer.budak@batman.edu.tr

2. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,

Dicle Üniversitesi

bkurt@dicle.edu.tr

Özetçe

Elektromanyetik alanların insan vücudu üzerindeki etkisinin bilinmek istenmesi, neredeyse elektromanyetik alanların bilinmesi ile aynı zamana rastlar. Bu istek kullanılan elektronik cihazların sayısının artması ile orantılı olarak ta artmaktadır. Özellikle cep telefonlarının beyin üzerinde oluşturduğu etki en aktüel olan konulardan birisidir. Çünkü cep telefonlarından önce, beyne bu kadar yakın mesafede kullanılan başka bir elektromanyetik kaynak kullanımı söz konusu değildir. Bu alanların bilinen en önemli etkisi nüfuz ettikleri noktalarda meydana getirdikleri ısı artışıdır. Bu ısı artışı SAR (Specific Absorption Rate) oranı ile birimlendirilmiştir. Bu çalışmada beyin dokusunun farklı frekanslardaki elektriksel özellikleri kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Bu model üzerinden Finite difference Time Domain (FDTD) metodu kullanılarak farklı cep telefonu frekanslarının beyin üzerinde oluşturduğu SAR büyüklüğü grafiksel olarak elde edilmiştir.

Abstract

The beginning of the knowledge about the effects of electromagnetic fields on human body is almost simultaneous with the knowledge on electromagnetic fields themselves. The desire for the knowledge in order to become well aware of electromagnetic fields is increasing as electronics are spread. Especially the field of the effects of mobile phones on human brain is actually one of the most attractive topics since there has been no device which is used as near as mobile phone to the brain. The most important issue is that the heat release which caused by mobile phone. The heat release rate was defined here as Specific Absorption Rate (SAR). In this study, a model was developed by using different electrical frequencies of the brain tissues. By using this model, the SAR variation graphs for the effects of different mobile phones on brain were obtained through Finite difference Time Domain (FDTD) method.

1. Giriş

Son birkaç yılda hayatımızda yer alan elektromanyetik (EM) kaynaklarının sayısı, tarih boyunca yer yaşıtımızda yer alanlardan daha fazladır.. Elektronik cihazlar artık yaşamımızın vazgeçilmez baş aktörleri haline gelmeye başladı. Hemen hemen herkesin bir cep telefonu veya kişisel bilgisayara sahip olması v.b cihazları kamuya açık alanlarda kullanması artık günümüzde çok olağan sayılmaktadır. Bu durumda her zamankinden daha fazla Radyo frekans (RF) alanlara insanların maruz kalmasına sebep olmaktadır. Her teknolojik gelişimin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır

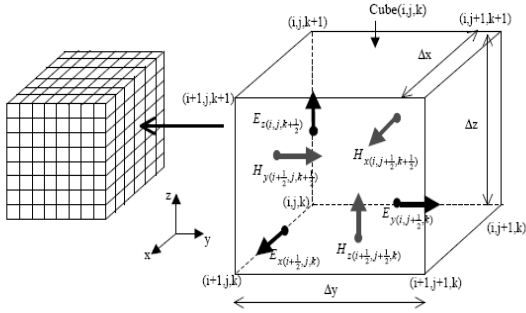
Maruz kalınan EM alanının miktarının neye bağlı olduğu, bunları azaltan veya artıran etkenler olup olmadığı, uygulanan alanın frekansının bu değer üzerindeki etkileri ve EM Alan maruziyetinden kaynaklı alınan doz değerinin, doğrudan insan üzerinde ölçmek hem etik hem de mümkün olmaması nedeniyle ya laboratuvar ortamında doku eşdeğeri sıvı ile dolu fantomlarda ya da bilgisayar ortamındaki simülasyonlar kullanılarak tespiti yapılmaktadır

Bu simülasyonlar literatürde zamanda sonlu farklar yöntemi Finite Difference Time Domain (FDTD) olarak bilinen yöntem kullanılarak yapılmıştır.

FDTD yöntemi, diferansiyel formdaki Maxwell denklemlerinin doğrudan zaman domeninde ayrıklaştırılıp çözülmesidir. Maxwell denklemindeki diferansiyel operatörler sayısallaştırılıp sonlu farklar eşdeğerleri ile değiştirilir.

2. Üç Boyutlu FDTD Yöntemi

Üç boyutlu (3-D) problemlerde uzaydaki ayrıklaştırma, şekil (1.)'de gösterildiği gibi Yee [1] tarafından önerilen birim hücre kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1: 3-D Birim Yee hücresi

3-D FDTD için Yee birim hücresi kullanıldığında elektrik ve manyetik alanların bileşenleri iteratif denklemlerle ele alınır. Kayıplı bir ortamda;

$$\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} - \vec{\sigma} \vec{E} \quad (1)$$

$$\varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} \quad (2)$$

şeklinde verilen (1,2)'deki Maxwell denklemleri (rotasyonel denklemleri) ayrıklaştırıldığında, n ' zaman adımı ve (i,j,k) da, sırasıyla (x,y,z) 'deki konum adımları olmak üzere alan bileşenleri

$$E_x^n(i,j,k) = \frac{2\varepsilon - \sigma \Delta t}{2\varepsilon + \sigma \Delta t} E_x^{n-1}(i,j,k) - \frac{2\Delta t}{(2\varepsilon + \sigma \Delta t)\Delta z} [H_y^n(i,j,k) - H_y^n(i,j,k-1)] + \frac{2\Delta t}{(2\varepsilon + \sigma \Delta t)\Delta y} [H_z^n(i,j,k) - H_z^n(i,j-1,k)] \quad (3)$$

şeklinde bulunur[5]. Burada $n = n + 1/2$ 'dir. Hücre yapısı nedeniyle 3-D FDTD için, zamanın tam katlarında elektrik alanlar, kesirli katlarında ise manyetik alanlar hesaplanmaktadır. Burada verilen (3,1) denklemleri ($\mu = \mu_0$) boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı, ($\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$) ise kayıplı dielektrik ortamlarda, dielektrik sabitidir [2].

FDTD tekniğinde zaman adımı Δt 'nin konum adımları Δx , Δy ve Δz 'den bağımsız değildir. İteratif denklemlerin kararlı (sonsuzla gitmeyen) sayısal çözümleri garantilemesi için hücre boyutları arasında bir ilişki sağlanmalıdır. İşte Courant kriteri [1,3] ile konum ve zaman adımları ışık hızı (c) ile birbirine

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2}} \quad (4)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} ; \quad (c = 3.10^8 \text{ m/sn}) \quad (5)$$

$$c \cdot \Delta t \leq \Delta z \quad (6)$$

2.1. Gauss Darbesinin Ortama Enjekte edilmesi

Elektromanyetik dalganın düzlem içerisinde uyarılması birkaç değişik şekilde gerçekleştirilmektedir. Normali ve en basiti Düzlem dalganın konumda belli bir anda yerleştirilmesi ve simülasyonun başlatılmasıdır. Ancak düzlem dalga konumda düzlem karakteri taşıırken zamanda sinüzoidal ya da darbesel olabilmektedir. Tüm sayısal hesaplarda ortalama güç yoğunluğu 1 W/m^2 olan düzlem dalga kullanılmıştır. Zamanda bir Gauss(düzlem dalga) darbesi [4];

$$g(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-t_0}{T}\right)^2\right\} \quad (7)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada t_0 darbenin simülasyon başlangıcından ne kadar sonra enjekte edileceğini T ise darbenin Genişliğini belirleyen parametrelerdir. Zamanda darbe ne kadar dar (yani T ne kadar küçük) ise işaretin frekans bandı (zaman band genişliği sabit olduğundan) o kadar geniş olacaktır.

3. Sar (Specific Absorption Rate) Özgül Soğurma Oranı

Elektromanyetik alanın doku ile etkileşimi ve doku ile içerisindeki iletimi ise birçok değişkenden oluşan karmaşık bir fonksiyondur. Bu işlem için özgül soğurma oranı SAR parametre olarak kullanılır. Belli bir dokuda SAR değeri [6].

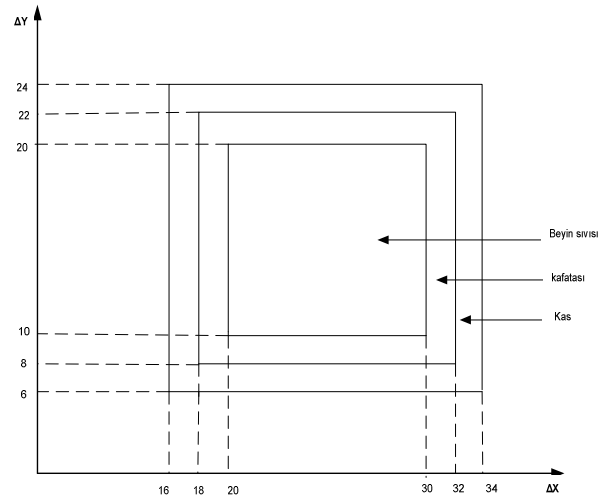
$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E^2 \quad (\text{W/kg}) \quad (8)$$

Bu eşitlikte E, doku içinde indüklenen rms elektrik alan (V/m).

ρ kg/m^3 cinsinden doku yoğunluğu.

σ dokunun Siemens/metre cinsinden iletkenliğidir.

Hesap uzayı $46 \times 36 \times 36 = 59.616$ hücre olarak seçilmiş olup içine yerleştirilen kafa eşdeğeri modeli ise $18 \times 18 \times 18 = 5.832$ hücreden oluşturulmuştur. Eşdeğer kafa modeli şekil 2.1'ki gibidir. Şekilden de incelenebileceği gibi ortada beyin sıvısı, bunu kaplayan kemik dokusu ve en dış katmanda ise kas dokusu yerleştirilerek EM dalgalarının bu eşdeğer doku içindeki yayılımı incelenmiş ve bu modele göre grafik sonuçları elde edilmiştir. Eşdeğer doku modeli her ne kadar basit şekilde oluşturulmuş ise de kompleks olarak oluşturulan modellerden farklı grafikler elde edilmemiştir.



Şekil 3.1: Eşdeğer kafa modeli

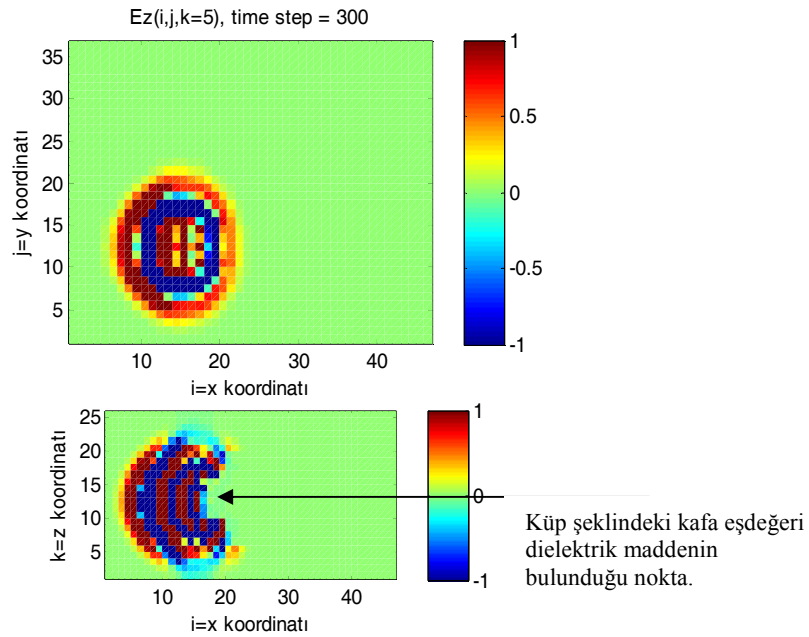
Bu program içindeki yapıda kullanılan dokuların frekansa göre dielektrik özellikleri ve yakın frekanslardaki dielektrik özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.1: Programda Kullanılan Dokuların Farklı Frekanslardaki Dielektrik Özellikleri

Dokular	Kas ρ (kg/m ³)=1040		Kafatası ρ (kg/m ³)=1850		Beyin ρ (kg/m ³)=1030	
	ϵ_r	σ	ϵ_r	σ	ϵ_r	σ
5000	50,13	4,24	13,04	1,39	39,3	3,48
4000	51,52	3,15	13,74	1,06	40,53	2,61
2500	53,51	1,85	14,92	0,61	42,47	1,54
1800	54,54	1,39	15,56	0,43	43,54	1,15
1000	55,74	1	16,47	0,26	45,43	0,8
960	55,82	0,99	16,53	0,25	45,57	0,79
935	55,88	0,98	16,57	0,25	45,67	0,78
915	55,92	0,98	16,6	0,24	45,74	0,77
900	55,96	0,97	16,62	0,24	45,8	0,77
890	55,98	0,96	16,64	0,23	45,85	0,76
500	57,32	0,84	17,45	0,18	48,42	0,63
250	59,75	0,78	18,67	0,14	53,58	0,53
200	60,86	0,76	19,18	0,13	56,06	0,5

Hesap uzayı içine yerleştirilen kafa eşdeğeri modele Gauss darbesinin uygulanması durumunda, serbest uzayda hareket eden EM dalga dielektrik bir ortama çarpma anı görülmektedir. Simülasyonda anında da görüldüğü gibi

boşluktan daha yüksek bir dielektrik değere sahip kafa modeline çarpan EM dalganın büyük kısmı yansırken bir kısmı da model içerisinde hareketine devam etmektedir.



Şekil 3.2: EM dalganın dielektrik modele çarpma Anı

4. Eşdeğer Dokuya Farklı Frekansların Uygulanması

Aynı eşdeğer modele farklı frekanslarda EM dalga uygulanırken Her Hücrede oluşan Ex, Ey, Ez Bileşenlerinin genliklerinden oluşan toplam elektrik alanın genliği bir periyotluk zaman diliminde ortalaması grafiklerde görülmektedir

4.1.Eşdeğer Dokuya 30 Mhz Uygulanmış Sonuçlar

Paket programlar kullanılmadan yazılan program içerisinde, yapılan hesaplamalarda farklı frekanslar için aşağıdaki değişiklikler yapılarak istenilen frekansa uygun çıkışlar elde edilebilir. Bu kısımda sadece aşağıda 30 Mhz için Δx ve Δt hesaplanmıştır. Farklı frekanslar için de aynı hesaplama ve karalık kriterleri uygulanarak devam edilecektir.

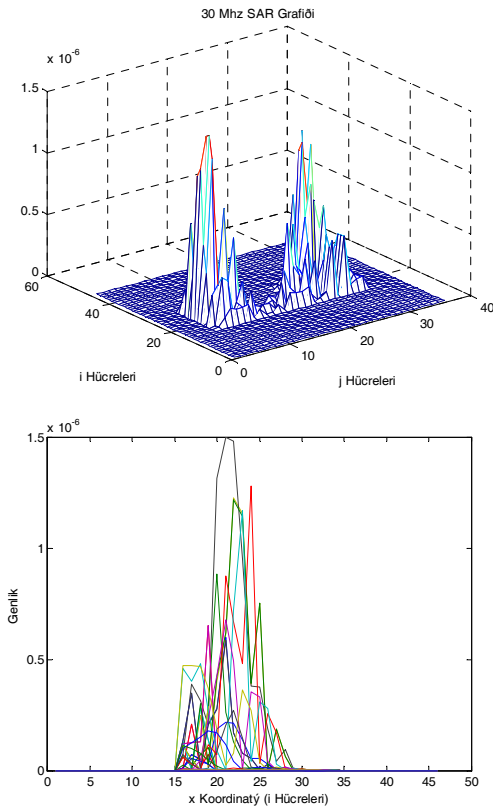
$$\lambda_{\min} = \frac{c}{f_{\max}} = \frac{3 \times 10^8}{30 \times 10^6} = 10 \text{ m}$$

dalga boyu bulunduğundan sonra sayısal disperisyon için konum adımı

$$\Delta x = \Delta y = \frac{\lambda_{\min}}{40} = 0.25 \text{ m}$$

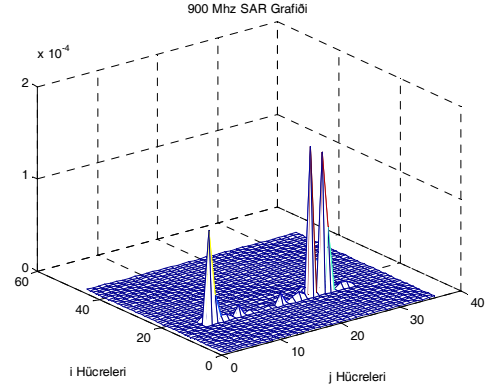
$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{c\sqrt{3}} = \frac{0.25}{3 \times 10^8 \sqrt{3}} = 480 \text{ psn}$$

bu verilere göre hesap yapıldığında



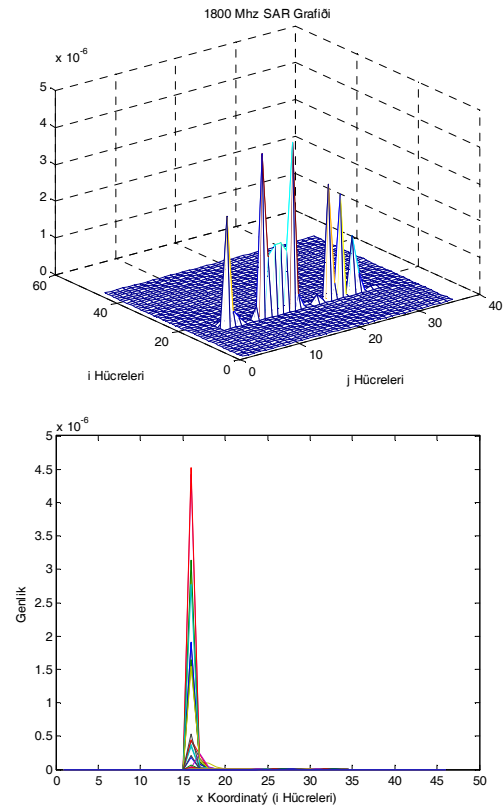
Şekil 4.1 :30 Mhz'deki SAR grafiği (ke=15)

4.2. Eşdeğer Dokuya 900 Mhz Uygulanmış Sonuçlar



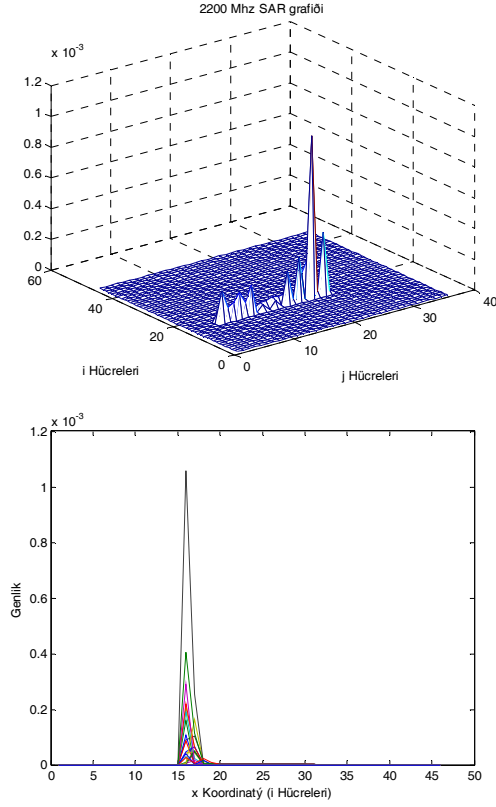
Şekil 4.2: 900 Mhz'deki SAR grafiği (ke=15)

4.3. Eşdeğer Dokuya 1800 Mhz Uygulanmış Sonuçlar



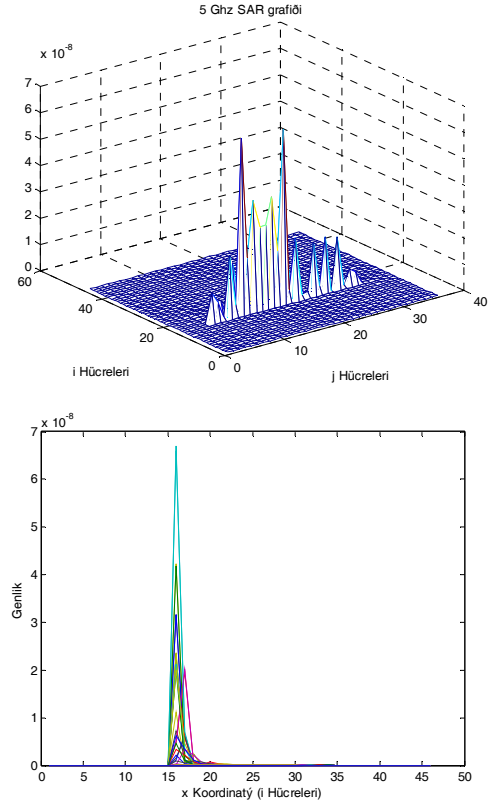
Şekil 4.3: 1800 Mhz'deki SAR Grafiği (ke=15)

4.4. Eşdeğer Dokuya 2200 Mhz Uygulanmış Sonuçlar



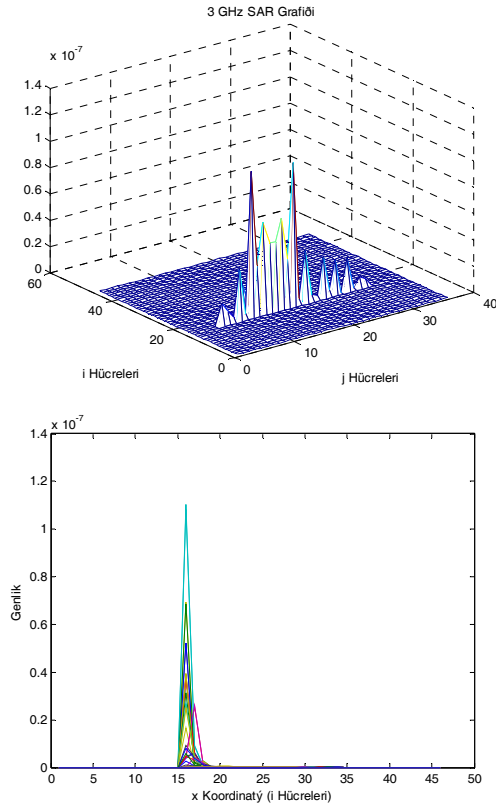
Şekil 4.4: 2200 Mhz deki SAR Grafiği (ke=15)

4.6. Eşdeğer Dokuya 5 GHz Uygulanmış Sonuçlar



Şekil 4.6: 5 Ghz deki SAR Grafiği (ke=15)

4.5. Eşdeğer Dokuya 3 GHz Uygulanmış Sonuçlar



Şekil 4.5: 3 Ghz deki SAR Grafiği (ke=15)

5. Sonuçlar

Zamanda sonlu farklar metodu elektromanyetik teoride kullanılan, analitik yöntemlerle çözümü mümkün olmayan bir problemin çözümünü ve simülasyonunu mümkün kılan metotlardan biridir.

Sonlu farklar denklemlerine bağlı olarak denklemler bilgisayar koduna çevrilmiş sonuçlara görsellik ve değiştirilebilir program noktaları sayesinde konuların anlaşılmasında ve yorumlanmasında büyük kolaylıklar sağlanmıştır.

Burada SAR hesapları yapılırken şu noktaların altı çizilmiştir:

- Tüm sonuçlar özel ya da ticari bir program kullanılmadan, yeniden yazılmış olup sonra çalışma yapacak olan araştırmacılar için dikkate değer bir esneklik sağlanmıştır.
- Dokuların elektriksel özellikleri frekansa göre değiştiği için Sar değerindeki artış dokunun iletkenliği ile doğrudan ilişkilidir. Düşük frekanslarda SAR değeri yüksek çıkarken, incelenen orta frekanslarda tekrar düşüş elde edilmiştir. Fakat çok Yüksek frekanslarda sigma artışı için SAR değeri de artış göstermektedir.
- Dokulara göre SAR değişimi göz önüne alındığında dielektrik özelliklerinden dolayı en yüksek SAR değeri beyin dokusunda gözlemlenmiştir.

6.Kaynaklar

- [1] K. S. Yee, Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems In-volving Maxwell's Equations in Isotropic Media. IEEE Trans. Antennas and Propagal, Vol.14, 1966.
- [2] F. Akleman, "Zamanda Sonlu farklar yöntemi ve yutucu sınır koşulları," İstanbul Teknik Üniversitesi, 1998.

- [3] J. Yamauchi, Mita, S. Aoki, and H. Nakano, “Analysis of antireflection coatings using the FDTD method with the PML absorbing boundary condition,” IEEE Photonics Technology Let., Vol. 8, pp. 239-241, 1996
- [4] S. Yalçın, “Elektromagnetik Dalga Yayılımının Zamanda Sonlu Farklar Metodu İle Analizi,” Gazi Üniversitesi, 2006.
- [5] L. Sevgi, Elektromagnetik Problemler ve Sayısal Yöntemler, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [6] KUNZ, K.S. R. J. Luebbers, “The Finite-difference Time-Domain Method for Electromagnetics”, CRC Press, Boca Raton, FL, 1993