

Elektromanyetik Alanların İnsan Kafası Üzerinde Oluşturduğu Isı Etkisi

Afşar Türk², Cem Özdoğan¹, Yahya Baykal²

²afsarturk@gmail.com, ¹ozdogan@cankaya.edu.tr, ²y.baykal@cankaya.edu.tr

¹Çankaya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Öğretmenler

Cad. No:14 Yüzüncüyıl 06530 Balgat Ankara, Türkiye

²Çankaya Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Öğretmenler

Cad. No:14 Yüzüncüyıl 06530 Balgat Ankara, Türkiye

Elektromanyetik (EM) alanların biyolojik dokular üzerinde yaptığı etkinin incelenmesi ve anlaşılması için özellikle son yıllarda yoğun çalışma yapılmaktadır. İnsan üzerinde deney yapmanın zor olmasından dolayı, bu çalışmaların çoğunluğunda modeller kullanılmaktadır. Biyolojik dokular simüle edilerek elektromanyetik dalgaların bu dokular üzerinde oluşturduğu çeşitli etkiler araştırılmaktadır. Makalemizde insan kafası küresel olarak modellenmiş ve değişik biyolojik yapılar (beyin, kemik ve deri) farklı dielektrik sabiti ve iletkenliğe sahip olan konsantrik kürelerle ifade edilmiştir. Döngüsel anten ile üretilen elektromanyetik dalgaların insan kafasına yakın bir mesafede bulunan dokular üzerinde oluşturduğu ısı profilleri, farklı kafa modelleri ve frekanslar kullanarak elde edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar mobil haberleşmede kullanılan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarını kapsamaktadır.

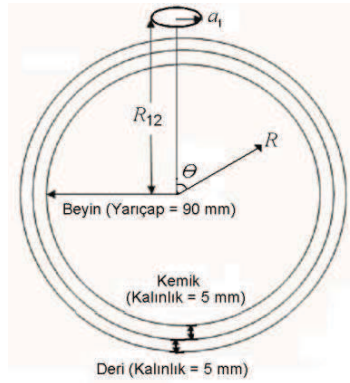
Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alanlar, biyolojik dokular, mikrodalga.

1. Giriş

Endüstriyel uygulamalar, ev aletleri, iletişim aygıtları, bazı doğa olayları, enerji üretim ve iletim sistemleri tarafından oluşturulan EM alanlar canlılar üzerinde ısıl ve ısıl olmayan etkilere neden olmaktadır. Değişik frekanslardaki EM alanların biyolojik ortamlarda ve farklı modellerle ifade edilen canlı kafasında oluşturduğu ısı dağılımı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [1-7]. Bu makalede, mobil haberleşmede kullanılan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarındaki döngü anten yapısıyla üretilen EM dalgaların üç adet konsantrik küre ile kompleks dielektrik yapısı belirlenen 10 cm yarıçapındaki bir insan kafası üzerinde oluşturduğu ısı profilleri bulunmuştur.

2. Yöntem

Makalede kullanılan konfigürasyon **Şekil-1**'de görüldüğü üzere 9 cm yarıçapında beyin, 5'er mm kalınlığında kemik ve deriden oluşan üç adet konsantrik küre olup bu kafa yapısı, merkezden R_{12} uzaklığında bulunan a_1 yarıçapında bir döngüsel anten tarafından 900 MHz veya 1800 MHz'lik EM ışınla uyarılmaktadır. Kafa modelinde kullanılan kompleks dielektrik parametreleri **Tablo-1**'deki gibidir [3]. **Şekil-1**'deki θ , zenith açısını, R ise θ doğrultusunda radyal koordinatı belirtmektedir. **Tablo-1**'deki ϵ_r dielektrik sabitini, σ ise iletkenliği ifade eder.



Şekil 1: Küresel kafa modeli ve konfigürasyonu.

Tablo 1: Simülasyonda kullanılan kafa modelinin kompleks dielektrik özellikleri [3].

Katman	Katman yarıçapı (mm)	900 MHz ϵ_r	900 MHz σ (mmho/m)	1800 MHz ϵ_r	1800 MHz σ	Kütle Yoğunluğu (kg / m^3)
Deri	100	39.5	700	38.2	900	1080
Kemik (cortical)	95	12.5	170	12.0	290	1180
Beyin (Grey matter)	90	56.8	1100	51.8	1500	1050

Kafa merkezine göre R_{12} uzaklığında yatay yerleştirilmiş bir döngüsel antenin oluşturduğu elektrik alanı

$$\vec{E} = \frac{jI_0 \mu a_1 f}{2} \int_0^{2\pi} \cos \phi_s \frac{e^{jkR}}{R} d\phi_s \hat{u}_\phi, \quad (1)$$

kullanılarak bulunur. Eş. (1), k dalga sayısı olmak üzere ka_1 'in 1'den oldukça küçük olduğu durumda geçerli olup antenin ince telden yapılmış olması gerekir. Burada f frekans, I_0 döngüsel antenden geçen sabit akım genliği, μ permeability, ϕ_s döngüsel anten üzerindeki azimuth açısı, \hat{u}_ϕ azimuth açısı yönünde birim vektör olup

$$R = \left[(r \cos \theta - R_{12})^2 + (r \sin \theta - a_1 \cos \phi_s)^2 + a_1^2 \sin^2 \phi_s \right]^{1/2}, \quad (2)$$

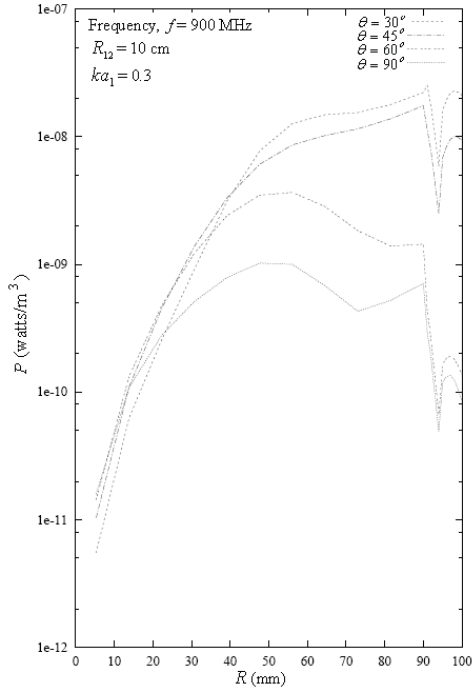
ve (r, θ, ϕ) ise kürelerin içinde bir noktanın küresel koordinatını belirtir. Uygulanan yöntemde [2], döngüsel antenin EM ışması, dielektrik yapı içinde polarizasyon akım yoğunluğu ve elektrik akım yoğunluğu oluşturmaktadır. Bu ikincil kaynaklar dielektrik içinde küresel hava boşluğu dilimine tekrar ışma yapmakta ve saçınım alanının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Küresel hava boşluğu diliminin içerisindeki toplam elektrik alanı, saçınım alanı ve kaynaktan gelen elektrik alanının toplanmasıyla elde edilmektedir. Dielektrik yapı içerisindeki toplam elektrik alanı ise dielektrikle hava boşluğu dilimi arasındaki küresel yüzey üzerinde sınır koşulları kullanılarak bulunabilmektedir. Saçınım alanı, çok-kutup açılımı kullanılarak elde edilmiş olup saçınım alanlarına ait çok-kutup katsayıları, durum uzayı denklemleri kullanılarak Fortran yazılımı vasıtasıyla çözülmektedir. Toplam elektrik alanı, \vec{E}_T yardımıyla dielektrik yapı içerisindeki ısı

$$P(r, \theta, \phi) = \sigma(r) |\vec{E}_T(r, \theta, \phi)|^2 / 2 \quad (3)$$

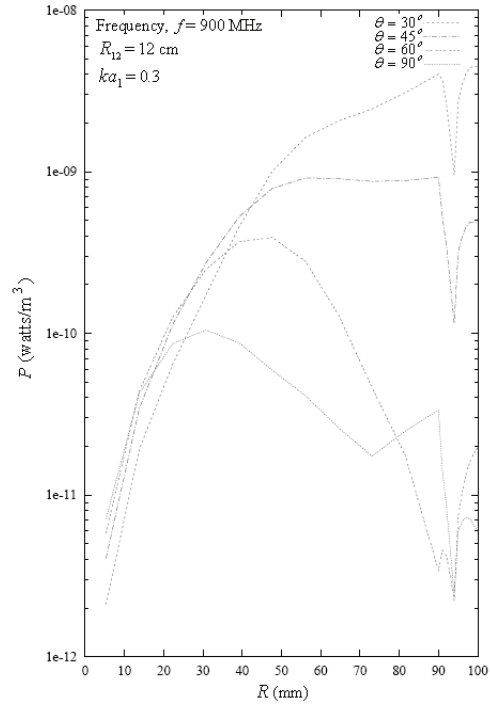
formülüyle bulunur.

3. Isı Dağılımı

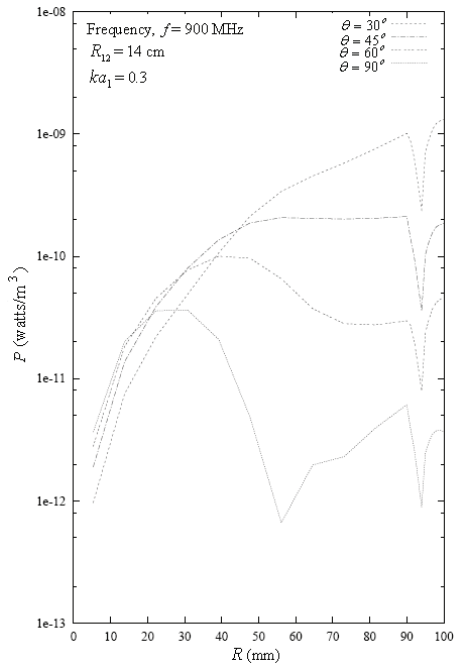
Eş. 2 kullanılarak 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında farklı θ açılarında kafa içindeki radyal yöndeki (R) ısı dağılımları çizilmiştir. **Şekil-2'**den **Şekil-5'**e kadar olan şekiller, 900 MHz'de dögüsel antenin merkezden sırasıyla 10 cm, 12 cm, 14 cm ve 16 cm uzakta olduğu durumlarda ısı profillerini göstermektedir. **Şekil-6'**dan **Şekil-9'**a kadar olan şekiller ise 900 MHz'de kullanılan parametreler korunarak 1800 MHz'deki ısı profillerini vermektedir.



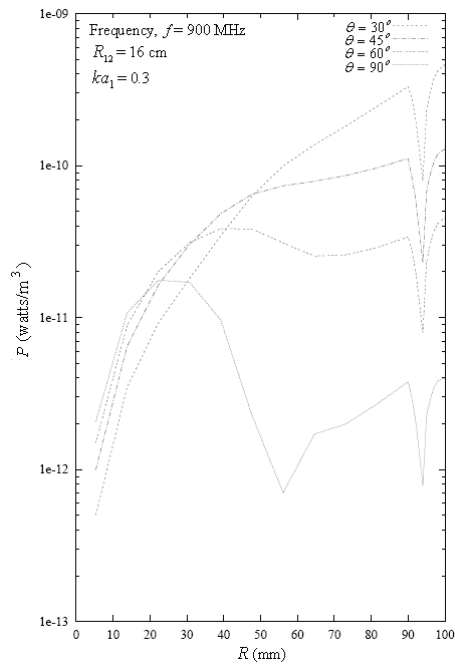
Şekil 2: 900 MHz frekansında, $R_{12}=10$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



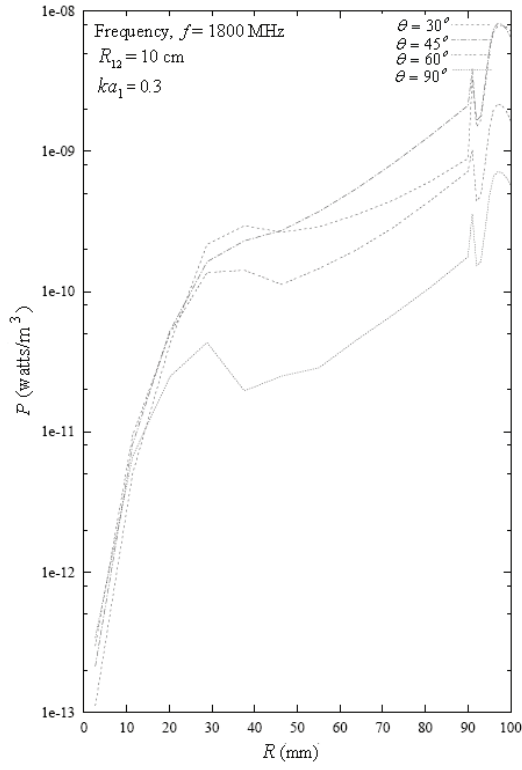
Şekil 3: 900 MHz frekansında, $R_{12}=12$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



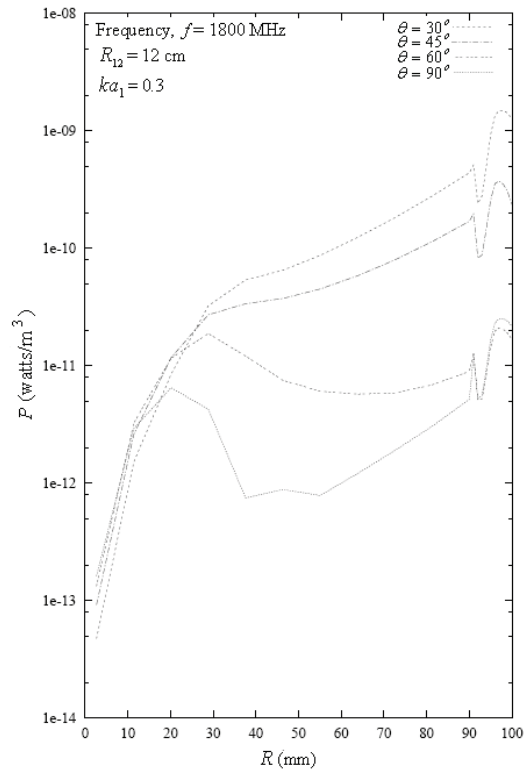
Şekil 4: 900 MHz frekansında, $R_{12}=14$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



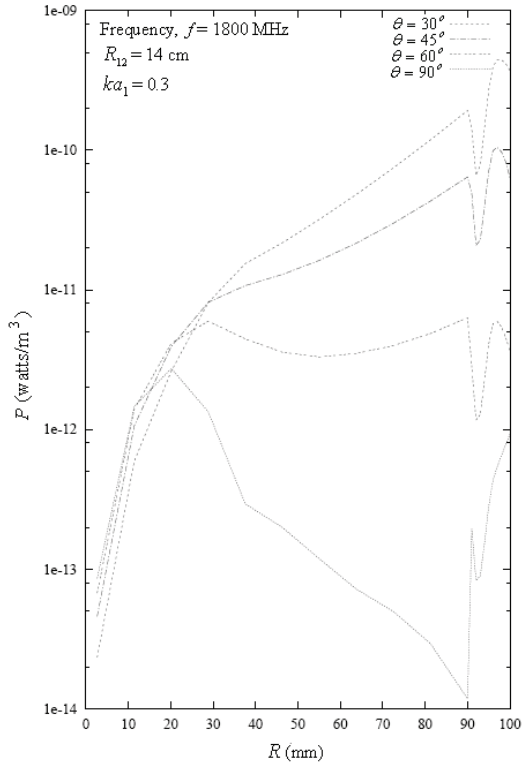
Şekil 5: 900 MHz frekansında, $R_{12}=16$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



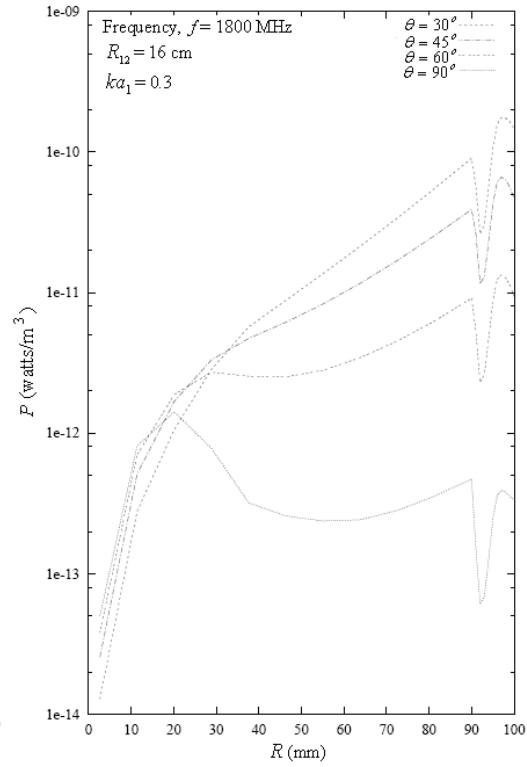
Şekil 6: 1800 MHz frekansında, $R_{12}=10$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



Şekil 7: 1800 MHz frekansında, $R_{12}=12$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



Şekil 8: 1800 MHz frekansında, $R_{12}=14$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.



Şekil 9: 1800 MHz frekansında, $R_{12}=16$ cm, $ka_1=0.3$ değerlerindeki ısı potansiyeli.

Şekil-1'den Şekil-9'a kadar olan bütün şekillerde $I_o = 1 \mu\text{A}$ olarak alınmıştır. Şekil-2 incelendiğinde 900 MHz'de $\theta = 30^0$ için kafanın merkezinden dışa doğru gidildikçe ısının arttığı ve iletkenliği yüksek olan beyin'in kemikle birleştiği yerde maksimuma ulaştığı, iletkenliği düşük olan kemikte azaldığı, deriye girildiğinde tekrar arttığı gözlemlenmektedir. Bütün dielektrik yapısında maksimum ısının, beyin'in kemikle birleştiği yer ile derinin kafanın ucunda bulunan bölgelerde oluştuğu belirlenmektedir. Burada dikkate alınması gereken ısıyı belirleyici iki husus, ışımanın uzaklığı ve iletkenliğin büyüklüğüdür. θ 'nın büyük olduğu düzlemlerde, ısı değerleri genel olarak radyal ekseninde düşüş göstermekte ve elde edilen maksimum ısı, beyin küresinin ortalarına isabet etmektedir. Şekil-3, 4 ve 5'deki ısı profilleri Şekil-2'deki ısı profilleri ile benzerlik göstermekte ancak antenin merkezden uzaklaşması, yani R_{12} değerinin artması ısı değerlerinin düşmesine neden olmakta ve özellikle θ 'nın büyük olduğu durumlarda ısı maksimumu dielektrik yapının merkezine doğru kaymaktadır. 900 MHz'lik ışımada Şekil-2, 3, 4 ve 5 için yapılan yorumların, büyük ölçüde 1800 MHz'lik ışımada Şekil-6, 7, 8 ve 9 için de geçerli olduğu ancak mutlak ısı değerlerinin, ilgili 900 MHz ısı değerleriyle karşılaştırıldığında 1800 MHz'lik ışımada daha düşük ısı üretildiği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, Tablo-1'de görüldüğü gibi, katmanların iletkenlikleri 1800 MHz'de 900 MHz'e göre daha büyük olmasına rağmen yüksek frekanslı ışımanın yayılımdan dolayı daha fazla erimeye maruz kalması hususunun belirleyici olmasıdır.

EM ışımasıyla ilgili tanım ve standardizasyonlar mevcut olup [8-10] insan sağlığı üzerine zararlı etkilerin başladığı Özgül Soğurma Oranı [Specific Absorption Rate (SAR)] değeri 4 W/kg olarak kabul edilir. EM ışınımının zararlı etkilerini azaltmak için mesleki temel etkileme sınırı, etkilenme SAR sınırı değerinin $1/10$ 'u olarak alınır. Yani mesleki ortalama etkilenme SAR sınırı, $4/10 = 0,4$ [W/kg]'dir. Genel halk sağlığı ortalama etkilenme SAR sınırı, $4/50 = 0,08$ [W/kg] olarak belirlenmiştir. Bu kritere göre, 900 MHz ve 1800 MHz ve farklı döngüsel anten uzaklıkları için maksimum güç değerlerindeki SAR değerleri hesaplanmış, bu SAR değerleri Tablo-2, 3, 4, 5 ve 6'da gösterilmiş ve elde edilen değerlerin $I_o = 1 \mu\text{A}$ için her durumda sınır değerlerinin altında kaldığı görülmüştür. Eş. 1'den anlaşılacağı üzere, I_o 'ın yüksek değerleri için kritik SAR değerlerine ulaşılabileceği belirgindir.

Tablo 2: Soğurulan maksimum güç, SAR değerleri.

R_{12} (cm)	Kütle Yoğunluğu (kg/m^3)	900 MHz		1800 MHz	
		Maks. Güç (W/m^3)	SAR (W/kg)	Maks. Güç (W/m^3)	SAR (W/kg)
10	1080	2.5191E-08	2.3325E-11	8.1487E-09	7.5451E-12
12	1080	4.4819E-09	4.1499E-12	1.4888E-09	1.3785E-12
14	1080	1.3157E-09	1.2183E-12	4.4255E-10	4.0977E-13
16	1080	4.6178E-10	4.2758E-13	1.7504E-10	1.6207E-13

Tablo-2, $\theta = 30^0$ için oluşturulmuş olup sadece R_{12} durumunda 1800 MHz için $\theta = 45^0$ 'dir.

Tablo 3: $R_{12}=10$ cm için soğurulan maksimum güç, SAR değerleri.

θ	900 MHz			1800 MHz		
	Kütle Yoğunluğu (kg/m^3)	Maks. Güç (W/m^3)	SAR (W/kg)	Kütle Yoğunluğu (kg/m^3)	Maks. Güç (W/m^3)	SAR (W/kg)
30^0	1180	2.5191E-08	2.1348E-11	1180	7.8988E-09	6.6939E-12
45^0	1050	1.7429E-08	1.6599E-11	1180	8.1487E-09	6.9057E-12
60^0	1050	3.6584E-09	3.4842E-12	1180	2.1694E-09	1.8385E-12
90^0	1050	1.0223E-09	9.7358E-13	1180	7.1493E-10	6.0587E-13

Tablo 4: $R_{12}=12$ cm için soğurulan maksimum güç, SAR değerleri.

θ	900 MHz			1800 MHz		
	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Maks. Güç (W/m ³)	SAR (W/kg)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Maks. Güç (W/m ³)	SAR (W/kg)
30 ⁰	1080	4.4819E-09	4.1499E-12	1080	1.4888E-09	1.37853E-12
45 ⁰	1080	4.8961E-10	4.5335E-13	1080	3.7210E-10	3.44527E-13
60 ⁰	1050	3.9216E-10	3.7349E-13	1080	2.0933E-11	1.93821E-14
90 ⁰	1050	8.7478E-11	8.3313E-14	1080	2.5125E-11	2.32646E-14

Tablo 5: $R_{12}=14$ cm için soğurulan maksimum güç, SAR değerleri.

θ	900 MHz			1800 MHz		
	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Maks. Güç (W/m ³)	SAR (W/kg)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Maks. Güç (W/m ³)	SAR (W/kg)
30 ⁰	1080	1.3157E-09	1.2183E-12	1080	4.4255E-10	4.0977E-13
45 ⁰	1050	2.1134E-10	2.0127E-13	1080	1.0450E-10	9.6760E-14
60 ⁰	1050	1.0011E-10	9.5344E-14	1050	6.3082E-12	6.0078E-15
90 ⁰	1050	3.6484E-11	3.4746E-14	1050	2.7311E-12	2.6011E-15

Tablo 6: $R_{12}=16$ cm için soğurulan maksimum güç, SAR değerleri

θ	900 MHz			1800 MHz		
	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Maks. Güç (W/m ³)	SAR (W/kg)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Maks. Güç (W/m ³)	SAR (W/kg)
30 ⁰	1080	4.6179E-10	4.2758E-13	1080	1.7504E-10	1.6207E-13
45 ⁰	1080	1.2841E-10	1.1890E-13	1080	6.6113E-11	6.1216E-14
60 ⁰	1080	4.5135E-11	4.1792E-14	1080	1.3365E-11	1.2375E-14
90 ⁰	1050	1.7605E-11	1.6767E-14	1050	1.4166E-12	1.3491E-15

4. Sonuç

Mobil haberleşmede kullanılan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında döngüsel anten tarafından ışımaya tabi tutulan kompleks dielektrik yapısında konsantrik kürelerle modellenen kafa modelinde oluşan ısı dağılımları incelendi. 900 MHz'de küçük θ açılarında ısının kafanın merkezinden dışa doğru çoğaldığı, beyinle kemik katmanlarının birleştiği yerde ısının maksimuma ulaştığı, kemikte azaldığı ve deride tekrar arttığı görüldü. θ büyüdükçe ısının genel olarak azaldığı ve maksimum ısının beyin küresinin ortalarında olduğu değerlendirildi. Döngüsel antenin kafa merkezinden uzaklığı arttıkça ısının azaldığı ve özellikle büyük θ için maksimum ısının kafanın merkezine doğru olduğu gözlemlendi. 900 MHz'deki ısı davranışının 1800 MHz'de de benzer özellik gösterdiği ancak ısı seviyelerinin düştüğü izlendi. Ayrıca maksimum ısı değerlerine karşılık gelen SAR değerleri hesaplanıp tablolar halinde sunuldu.

5. Kaynakça

- [1] Johnson, C. C., Guy, A. W., Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems, Proc. IEEE, 60, 692–718, 1972.
- [2] Hızal, A., Baykal, Y. K., Heat potential distribution in an inhomogeneous spherical model of a cranial structure exposed to microwaves due to loop or dipole antennas, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-26, 607-612, 1978.

- [3] Khalatbari, S., Sardari, D., Mirzaee, A. A., Sadafi, H. A., Calculating SAR in Two Models of the Human Head Exposed to Mobile Phones Radiations at 900 and 1800 MHz, Proc. PIERS, 104-109, Mar. 26-29, 2006.
- [4] Paker, S., Sevgi, L., FDTD evaluation of the SAR distribution in a human head near a mobile cellular phone, Elektrik, 6, 227-242, 1998.
- [5] Liu, F., Crozier, S., Electromagnetic fields inside a lossy, multilayered spherical head phantom excited by MRI coils: models and methods, Phys. Med. Biol., 49, 1835-1851, 2004.
- [6] Stout, B., Andraud, C., Stout, S., Lafait, J., Absorption in multiple-scattering systems of coated spheres, J. Opt. Soc. Am. A, 20, 1050-1059, 2003.
- [7] Skaropoulos, N. C., Ioannidou, M. P., Chrissoulidis, D. P., Induced EM field in a layered eccentric spheres model of the head: Plane-wave and localized source exposure, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques,, MTT-. 44, 1963-1973, 1996.
- [8] Tübitak-Bilten, Elektromanyetik dalgalar ve insan sağlığı, sıkça sorulan sorular ve yanıtları, 2001.
- [9] Eds. Vecchia, P., Matthes, R., Ziegelberger, G., Lin, J., Saunders, R., Swerdlow, A., Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP 16/2009, <http://www.icnirp.de/documents/RFReview.pdf>.
- [10] Chen H. Y., Wang, H. H., Current and SAR Induced in a Human Head Model by the Electromagnetic Fields Irradiated from a Cellular Phone, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-42, 2249-2254, 1994.