

Wi-Fi Haberleşmede İnsan Kafası Modelinde Sar Değerinin Hesaplanması ve Ölçüm Çalışması

Emine ATILGAN¹, Yasemin KARADANA², Selçuk ÇÖMLEKÇİ³

^{1,2,3} *Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*

Özet - Bu çalışmada gelişen teknoloji ile günümüzde herhangi bir yerde, herhangi bir zamanda kullanımı neredeyse kaçınılmaz olan kablosuz cihazların çalıştıkları frekansta oluşturduğu elektromanyetik yayılımın beyin dokusu üzerine etkilerini incelemek amaçlı beyin eşdeğer sıvısı oluşturulmuştur. Bunun üzerine bilinen frekans dozaj ve etkileşim süresinde maruziyet sağlanarak sıcaklık değişimi incelenmiştir.

Bu çalışmada, özellikle 2450 MHz frekansındaki kablosuz cihazların günlük dozajda insan beyni üzerine olası ısı etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir model üzerine çalışılmıştır. Ayrıca 900-1800 MHz'in etkileri de incelenmiştir. Çalışmada beyin eşdeğer sıvısı oluşturularak bu fantom model üzerinde elektromanyetik maruziyetin oluşturduğu ısı değişimleri ile elektrik alan ölçülerek özgül soğurma oranı (SAR), deri kalınlığı ve eşdeğer sıvı içerisinde oluşan elektrik alan değerleri hesaplanmıştır. Üç ana frekans ile aynı dozaj, süre ve hacim düşünüldüğünde frekansın önemli bir etken olduğu bulunmuştur. 900 ve 1800 MHz frekanslardan fantom hacim deri etkisine bağlı olarak maruziyetten bir dereceye kadar etkilenmektedir. Oysa 2450 MHz'lik maruziyet fantom sıvı içerisinde beklenen sıcaklık artışını gösterememektedir. Çalışmanın en önemli sonucu örnek olarak bir yetişkinin beyin dokusunda etkili olamayan 2450 MHz'deki maruziyetin, yetişkin olmayan bir insan beyninde bir dereceye kadar ısı artışı meydana getirebileceğidir. Bilimsel literatürde bu durumlara korumasız bölgeler denilmektedir. Çocuk kafatası da bu kategoriye girebilir. Demek ki mevcut standartların çocuklar için ayrı olması gerekecektir.

Anahtar kelimeler - Elektromanyetik alan, beyin eşdeğer sıvısı, özgül soğurma oranı

Calculating Sar in The Human Head at Wi-Fi Communications and Measurement Study

Abstract - In this study, is investigated the equivalency of brain fluid on brain tissue in relation to electromagnetic emissions of wireless devices, which are inevitable with today's evolving wireless technology. Hereupon, temperature changes were examined with exposure to generated common dosage and frequency during the interaction.

In this study, a model was developed in order to determine the possible effects of heat, daily dosage of 2450 MHz frequency wireless devices, on the human brain. It's also examined the effects of 900-1800 MHz. In this study, specific absorption rate (SAR), skin thickness and values of the electric field in the equivalent of fluid were calculated by measuring thermal changes created by electromagnetic exposure on the phantom model with the electric field by creating the equivalent of brain fluid. Frequency was found as an important factor; when three fundamental frequencies the same dosage, duration and volume were considered. Phantom volume of 900 and 1800 MHz frequency bands are affected through the skin to a certain extent depending on the exposure. However, exposure to 2450 MHz demonstrate the temperature increased expected in the liquid phantom. The most important result of this study as an example, can not be effective of an adult brain tissue exposure to 2450 MHz, which can occur to a degree increase in temperature in the human brain of a non-adult. These situations are called unprotected areas in the scientific literature. Children's skulls are in this category. So existing standards need to be separate for children.

Keywords - Electromagnetic field, brain equivalent fluid, specific absorption rate

1.Giriş

Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN- Wireless Local Area Networks), iki yönlü geniş bant veri iletişimi sağlayan, iletim ortamı olarak fiber optik veya bakır kablo yerine telsiz frekansı (RF-Radio Frequency) veya kızılötesi ışınları kullanan ve salon, bina veya kampüs gibi sınırlı bir alanda çalışan iletişim ağlarıdır (Yılmaz, 2007). Kurulum kolaylığı ve hareket serbestliği gibi önemli avantajlar sağlayan WLAN sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir (Çınar, 2006). Bu sistemler iş adamları, yöneticiler, çalışanlar, küçük işletmeler, orta ölçekli işletmeler ve bireysel kullanıcılar gibi büyük bir kesime internet ve üyesi oldukları kurumsal ağa (intranet) mobil olarak bağlanma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, kullanıcılara mekândan bağımsız olarak kolay bir kablosuz ağ kurulumu ve geniş bant veri iletimi imkânı sunmaktadır (Güler vd., 2010). Bu çalışmada 2.45 GHz çalışma frekansında çalışan kablosuz haberleşme cihazlarının insan kafası üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma frekansı için beyin eşdeğer sıvısının elektriksel özellikleri kullanılarak kafa modeli oluşturulmuş, bu kafa modeli üzerinde özgül soğurma oranı değerleri ve radyo frekans dalgaların yarattığı ısı etkileri belirlenmiştir. Böylece elektromanyetik alana maruz kalan insan kafasında elektromanyetik enerji emiliminin başlıca etkisi olan ısınmanın etkileri beyin eşdeğer sıvısı üzerine etkileri kafa modeli üzerinde incelenmiştir (Findlay ve Dimbylow, 2006). Çalışmada beyin sıvısının elektriksel özellikleri göz önüne alınarak çalışılan frekans için eşdeğer fantom sıvı oluşturulup model üzerinde elektromanyetik maruziyetin oluşturduğu ısı değişimleri ölçülmüştür.

2. Özgül Soğurma Oranı (Sar) Ve Deri Kalınlığı

SAR, birim ağırlık başına elektromanyetik enerjinin soğrulma oranı olarak tanımlanır ve birimi kg başına W'tır (W/kg). Özgül

soğurma oranı matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

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

Burada E Elektrik alan(V/m), σ iletkenlik (S/m), ρ ise yoğunluktur (kg/m^3). SAR ile sıcaklık artışı arasındaki matematiksel ilişki ise aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$SAR = c \frac{dT}{dt} \quad (2)$$

Burada c spesifik ısı kapasitesi, dT/dt ise doku içerisindeki sıcaklık artışıdır.

EM dalganın genliğinin (şiddetinin) $1/e'$ ye düştüğü derinlik deri kalınlığı / cidar kalınlığı (skin depth - penetration depth) olarak adlandırılır. δ ile gösterilir ve ($\omega=2\pi f$ olmak üzere)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \text{ (m)} \quad (3)$$

denklemleri ile verilir.

3. Biyolojik Doku Benzeri Kimyasal Karışım (Fantom Sıvı) Ve Deneysel Çalışma

İnsan beyninin 2450 MHz frekansındaki elektriksel özellikleri göz önüne alınarak Çizelge 1'e göre fantom modeli oluşturulmuştur.

Çizelge1.Eşdeğer modelde kullanılan materyaller ve ağırlık oranları (Leonard vd., 1984)

	Alüminyum Toz	Poli-etilen Toz	Jel Etkeni	Su	NaCl
Beyin (2450 MHz)	-	29.8 %	7.01 %	62.6%	0.582 %

İlk olarak 2450 MHz için Çizelge 1'deki karışım oluşturularak ticari olarak satın alınan insan kafa modeli içerisinde

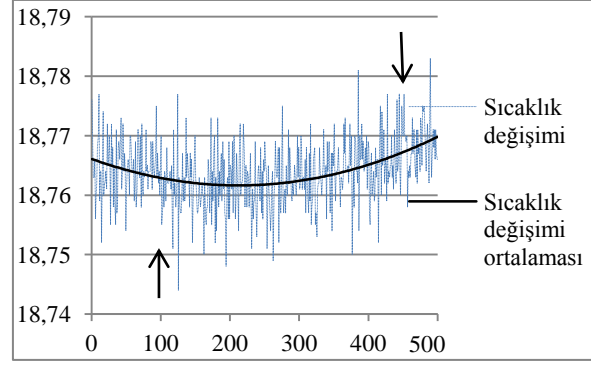
dökülmüştür ve Şekil 1’deki deney düzeneği kurulmuştur.



Şekil 1. Oluşturulan eşdeğer sıvı içerisinde sıcaklık artışı ölçümünün yapıldığı deney düzeneği

Metalli straforun içine kafa modeli yerleştirilerek düzeneğin üzeri metallsiz straforla kapatılarak yalıtım sağlanmıştır.

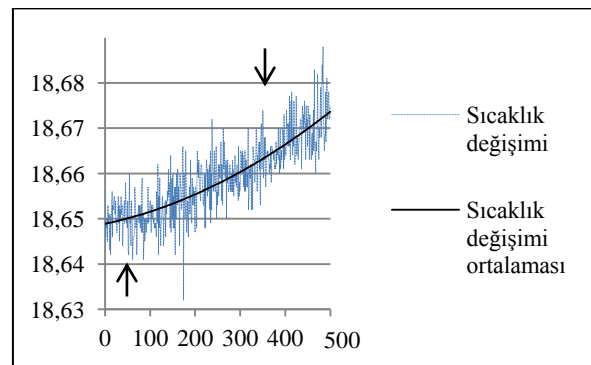
Sıcaklık ölçüm cihazı bilgisayara bağlanarak farklı anten polarizasyonları için model içerisindeki sıcaklık değişiminin kaydedilmesi planlanmıştır. Beyin eşdeğer sıvısı kafa modeline boşaltılarak deney düzeneği hazır hale getirilmiştir. Yeterince temiz elektromanyetik alan ve yeterince yalıtılmış ısı koşulları oluşturulmuş anlaşıncaya deneye başlanmıştır. PT104 ölçüm sisteminin sensörü kafa modeli içerisinde tamamen batırıldıktan sonra masa üstü bir bilgisayarda sıcaklık değişimi gözlenmiş ve ölçülen sıcaklığın oda sıcaklığına yaklaşması için birkaç saat beklenmiştir. Daha sonra deneysel test vericisinin monopol anteni, içine fantom sıvı bulunan kafa modeline dışarıdan yapıştırılmıştır. Evsel kablosuz internet modemlerinin birkaçında çalışırken ortalama elektrik alan değeri antene en yakın ölçülebilen mesafede 27 V/m civarında olduğundan bu frekansta test vericisi ayarlanarak elektrik alanın 27 V/m olması sağlanmıştır. Başlangıç zamanı kaydedilerek PT 104’ün her saniyede bir ölçüm olarak 500 ölçümün alınması tamamlanmıştır. Şekil 2’de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kafa modelinin üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için kafa modeli içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 100. saniyede verici çalıştırılmış ve 460. saniyede verici kapatılmış, toplamda ise 500 saniye ölçüm alınmıştır.



Şekil 2. 2450 MHz’de kafa modeli içerisinde bulunan karışımdaki sıcaklık değişimi (Soldan sağa doğru ilk ok işareti vericinin çalıştırıldığı zamanı, ikinci ok ise durdurulduğu zamanı göstermektedir.)

Bu frekans için Denklem 3’ü kullanarak deri kalınlığı değeri 8.3 mm olarak hesaplanmıştır. Kafa eşdeğer modelinin et kalınlığı 5 mm olarak ölçülmüştür. Buradan anlaşılmaktadır ki, deri kalınlığına ulaşmadan bile 5 mm’lik bir kalınlık sıcaklık değişimini engellemektedir.

Kafa modeli için 2450 MHz’de RF test cihazının oluşturmuş olduğu elektrik alan beyin eşdeğer sıvısı içerisinde ısı artışında etkili olamamaktadır. Isı artışına kalınlığın etkisi olabileceği düşünülerek deneye kafa modeli yerine yarım litrelik pet şişe ile devam edilmiştir. Şekil 3’de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu pet şişenin üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için pet şişe içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir.

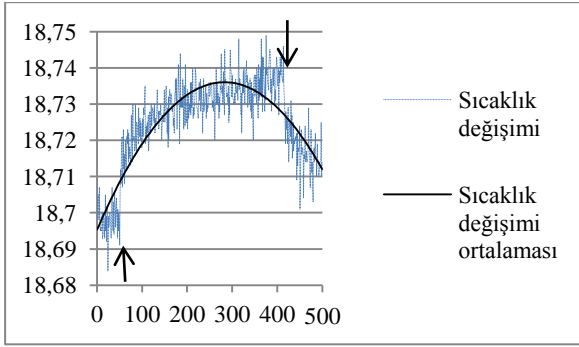


Şekil 3. 2450 MHz’de pet şişe içerisinde bulunan karışımdaki sıcaklık değişimi

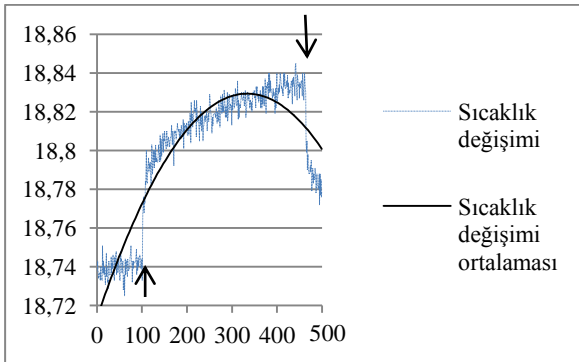
Şekil 3'den görüleceği üzere vericinin açılmasıyla karışımda sıcaklık artmaya başlarken vericinin kapatılmasıyla sıcaklık düşmesi beklenmemiştir. Çünkü sıvı hacmi fazladır ve düşmenin görülmesi uzun zaman gerektirmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3'den görülmektedir ki, vericinin oluşturmuş olduğu elektrik alan beyin eşdeğer sıvısında deri etkisine bağlı olarak sıcaklık değişimine neden olmaktadır. Bu yüzden aynı sıvıya 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarının etkisi incelenmiştir. Şekil 4'de 900 MHz'de ve Şekil 5'de 1800 MHz'de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kafa modelinin üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için kafa modeli içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Deri kalınlığı değeri 900 MHz için 19 mm, 1800 MHz için 11 mm olarak hesaplanmıştır.

4. Beyin Eşdeğer Sıvısı İçerisindeki Sar Dağılımının, Elektrik Alanın Ve Isı Artışının Matematiksel Modeli

Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışılan farklı frekansların her biri için beyin sıvısının iletkenlik, yoğunluk, spesifik ısı kapasitesi, picologgerdan alınan sıcaklık artış bilgisi kullanılarak SAR değerleri ve sıvı içerisindeki elektrik alan hesaplanmıştır. Çizelge 2'de çalışılan frekanslar için matematiksel olarak hesaplanan SAR, lokal elektrik alan değerleri ile picologgerdan alınan sıcaklık artış miktarları gösterilmektedir. Çizelge 3'de ise beyin eşdeğer sıvısı için 900 MHz, 1800 MHz ve 2450 MHz'deki elektriksel parametreler verilmiştir.



Şekil 4. 900 MHz'de kafa modeli içerisinde bulunan karışımdaki sıcaklık değişimi



Şekil 5. 1800 MHz'de kafa modeli içerisinde bulunan karışımdaki sıcaklık değişimi

Çizelge 2 Beyin sıvısı içerisindeki matematiksel olarak hesaplanan SAR değerleri, lokal elektrik alan değerleri ve ile picologgerdan alınan sıcaklık artış miktarları

Çalışma Frekansı	SAR değeri (W/kg)	Lokal elektrik alan değeri (V/m)	6 dakika maruziyet sonucu meydana gelen sıcaklık artış miktarı ($^{\circ}\text{C}$)
900 MHz	0.46	35.08	0.046
1800 MHz	1.08	48.67	0.107
2450 MHz (kafa modelinde)	0.026	5.82	0.003
2450 MHz (pet şişede)	0.095	11.14	0.011
	0.21	16.56	0.024
	0.43	23.70	0.049
	0.56	27.05	0.064
	0.52	26.06	0.06

Çizelge 3 Beyin sıvısı için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametre değerleri

Frekans (MHz)	ϵ_r	σ (S/m)	ρ (kg/m^3)	c ($\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}$)
900	45.8	0.77	1030	3600
1800	43.5	1.15	1030	3650
2450	42.5	1.5	980	3137

Çalışılan tüm frekanslar için (900 MHz, 1800 MHz ve 2450 MHz) Denklem 1 kullanılarak bulunan SAR değeri Denklem 2 ile eşitlenerek spesifik ısı kapasitesi (c) hesaplanmıştır. Hesaplanan c değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4 Eşdeğer beyin sıvısının çalışılan frekanslardaki hesaplanan c değerleri

Frekans (MHz)	c ($\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}$)
900	3600
1800	3633
2450	3150

5. Sonuç

Beyin eşdeğer sıvı modelinde farklı frekansların sıvı içerisinde meydana getirdiği ısı değişimlerinde farklılık oluşturduğu gözlemlenmiştir. 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında eşdeğer sıvının bulunduğu

kafa modeli üzerinde dikey polarize edilmiş anten bulunması durumunda karışımın içerisindeki sıcaklığın elektromanyetik alan maruziyetinin başlamasından sonra belli bir süre arttığı ve sonra yatay bir seyir izlediği, vericinin kapatılması durumunda da sıvı sıcaklığının yeniden ortam sıcaklığına düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. 2450 MHz frekansta ise eşdeğer sıvının bulunduğu pet şişe üzerinde dikey polarize edilmiş anten bulunması durumunda karışımın içerisindeki sıcaklığın elektromanyetik alan maruziyetinin başlamasıyla arttığı, vericinin kapatılmasıyla da sıvı sıcaklığının hemen düşüşe geçmediği, bir süre sonunda oda sıcaklığına düşme eğilimine geçtiği gözlemlenmiştir. Aynı elektriksel özelliklerde olan pet şişe ve kafa modelinde farklı ısı etkileşim olmasının nedeni bu iki kabın et kalınlıklarının farklı olmasıdır. 2450 MHz’de değişimin gözlenememesi, ama şişede gözlenebilmesi şişenin et kalınlığının 0.12 mm olmasındandır. Deri kalınlığı azaldıkça (frekans yükseldikçe) frekans etkileri yüzeye yakın olmakta, derine ulaşamamaktadır. Çalışmanın amacında belirlenen, frekansa göre beyin dokudaki ısı artışının hesaplanmasında dikkat edilecek önemli bir sonuç da budur. Ayrıca Leonard vd. (1984) yayınında verilen c değeri çalışmanın sonucunda bulunan değer ile uyum göstermektedir. Sonuçlara göre 2450 MHz’lik maruziyet fantom sıvı içerisinde

beklenen sıcaklık artışını gösterememektedir. Bir yetişkinin beyin dokusunda etkili olamayan 2450 MHz'deki maruziyetin, yetişkin olmayan bir insan beyinde bir dereceye kadar ısı artışı meydana getirebilecektir. Böylece mevcut standartların çocuklar için ayrı olması gerekmektedir.

6. Teşekkür

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ'ne, çalışmaya destek ve katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Özlem SELÇUK KUŞÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

3164-YL1-12 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, manevi yardımlarını esirgemeyen anneme, babama ve eşime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

7. Kaynaklar

[1]Yılmaz, H., 2007. Kablosuz Yerel Alan Ağlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alanın İsitme Üzerine Etkilerinin Araştırılması. İstanbul, Uzmanlık Tezi, 69, İstanbul.

[2] Çınar, K., 2006. Elektromanyetik Alan. Bilim ve Teknik, 80-81.

[3] Güler, İ., Cetin, T., Özdemir, A.R., Ucar, N., 2010. Türkiye Elektromanyetik Alan Maruziyet Raporu. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, İstanbul.

[4] Findlay, R.P., Dimbylow, P.J., 2006. FDTD Calculations Of Specific Energy Absorption Rate In A Seated Voxel Model Of The Human Body From 10 MHz to 3

GHz . Physics In Medicine And Biology, 2339-2352.

[5] Leonard, J.B., Foster, K.R., Athey, T.W., 1984. Thermal properties of tissue equivalent phantom materials. IEEE Trans.Biomed, Eng.31 533-6.