

**EXPERIMENTAL DETERMINATION of HEAT RISE and SAR OCCURRED by 900 MHz EM
RADIATION ON HUMAN BRAIN by USING BRAIN PHANTOM MODEL**

Şükrü ÖZEN*, A. Şükrü ONURAL
Akdeniz University, Engineering Faculty, Department of Electrical Engineering,
Antalya, Turkey
e-mail: sukruozen@akdeniz.edu.tr , aonural@akdeniz.edu.tr

Selçuk ÇÖMLEKÇİ
Suleyman Demirel University, Dept. of Electronics and Communication Engineering, Isparta, Turkey
e-mail: scom@mmf.sdu.edu.tr

Osman ÇEREZCİ
Sakarya University, Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Adapazarı, Turkey
e-mail: cerezci@sakarya.edu.tr

ABSTRACT

In this study, heat rise in brain tissue on 900 MHz radiation has been investigated by using phantom model of human brain. Brain equivalent tissue, by considering various exposure possibilities at 900 MHz has been exposed to RFR (Radio Frequency Radiation) at certain periods. When RFR were used, results of heat rise have been logged to computer. Eventually, for human head exposed to 900 MHz cellular phone, expected thermal effects caused by absorbed EM energy was examined by using model.

Keywords: RFR, Cellular Phone, Human Brain Tissue, Temperature Rise, SAR

**900MHz EM IŞINIMIN İNSAN BEYNİNDE OLUŞTURDUĞU SICAKLIK ARTIŞININ ve
ÖSO'NUN BEYİN EŞDEĞER MODELİ KULLANARAK DENEYSEL OLARAK
BELİRLENMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada, 900MHz frekanslı elektromanyetik (EM) ışınımın insan beyin dokusunda oluşturduğu sıcaklık artışı, beyin dokusu fantom modeli kullanılarak araştırılmıştır. Beyin eşdeğer dokusu, 900 MHz frekanslarında farklı maruz kalma olasılıkları dikkate alınarak belirli sürelerde radyo frekanslı ışınımına (RFI) maruz bırakılmıştır. Beyin dokusunda oluşan sıcaklık artışı ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Böylece 900 MHz cep telefonlarına maruz kalan insan kafası için beyin dokusunda oluşması beklenen termal etkiler ve soğurulan EM enerji model kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: RFI, Cep Telefonu, İnsan Beyin Dokusu, Sıcaklık Artışı, ÖSO

1. GİRİŞ

Elde taşınabilen telefonların yaygın olarak kullanılmaya başlanmasından önce insan kafasına çok yakın olarak kullanılan elektromanyetik (EM) alan kaynağı bulunmamaktaydı. Böylece cep telefonlarının son yıllardaki yaygın kullanımına bağlı olarak, radyo frekansa (RF) maruz kalma sonucunda oluşabilecek olası biyolojik etkilerin araştırılması önem kazanmıştır.

RF alanlara maruz kalma sonucu kabul edilen temel biyolojik risk dokuda oluşan sıcaklık artışıdır (1,2). Bu yaygın kabule dayalı olarak RF ışınımına karşı, telefon kullanıcılarını korumak amacıyla güvenlik limitleri hazırlanmıştır (3,4).

Cep telefonları için EM etkileşimde kabul edilen temel büyüklük ÖSO (özgül soğurulma oranı) veya insan kafasında doku tarafından soğurulan EM enerjinin neden olduğu sıcaklık artışıdır (2). EM araştırmalarda insan vücudunda ÖSO'yu direkt olarak ölçmek oldukça zordur. Bu nedenle, biyo elektromanyetik konusundaki araştırmalarda sayısal insan modellerine dayanan bilgisayar veya dokuların fantom modellerine dayanan deneysel simülasyonlarına yönelmek zorunluluk haline gelmiştir. ÖSO dozimetride önemli bir niceliklerdir. Çünkü, ÖSO dokuda soğurulan enerjinin tipik bir göstergesi olan ısı artışının ve iç alanlara bağlı dokuda meydana gelen diğer biyolojik etkilerin bir göstergesi olarak tanımlanır.

ÖSO, doku özellikleri ve frekansa bağlı olarak değişim gösterir. Biyolojik dokulardaki etkiler, dokunun maruz kaldığı dış alanlara değil doku içine giren alanlara bağlıdır. İnsan vücudundaki ve deney hayvanlarındaki ÖSO'nun belirlenmesi biyolojik etkilerin açıklanabilmesi açısından son derece önemlidir. Soğurulan EM enerjiden dolayı oluşan ısının neden olduğu sıcaklık değişimini ölçmek için bir sıcaklık probu kullanılması durumunda dokuda indüklenen ÖSO;

1. INTRODUCTION

Before the portable personal communication equipments were being used widespread, there was scarcely RFR source close to human head. Related to this usage, recent years there is growing in research about possible biological effects of radio frequency exposure.

Basic biological risk at the consequence of the RF exposure seems heat rise on tissue (1, 2). Depend upon this common idea, for protecting users, safety limits have been set against RF radiation (3, 4).

For cellular phones, basic quantity in EM interaction is SAR (Specific Absorption Rate) or heat rise occurred by EM energy absorbed in tissue in human head (2). It is not easy to measure the SAR directly in human body in the EM studies. So in bio electromagnetic studies, it is necessity to refer experimental or computer simulations related to phantom models of tissues. SAR is a crucial quantity in dosimetry because SAR is defined as a monitor to biological effects caused by absorbed energy ended as heat rise.

SAR varies depend on frequency and properties of tissue. Biological tissues were affected by local fields (internal fields), not by external fields. It is very important to determine the SAR values of human and animals in view of explanation to bio effects. In case of using temperature probe, in order to measure the heat changing caused by absorbed EM energy, induced SAR in tissue can be calculated by

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad [1]$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada; ΔT , Δt saniyede $^{\circ}C$ olarak sıcaklık yükselmesi ve c ($J/kg^{\circ}C$) doku (veya fantom materyal) ısı kapasitesidir. Bu yöntemde ilgili zaman periyodunda sıcaklık artışının doğrusal artış göstermesi istenir(5). Sıcaklık artışlarına bağlı ısı ÖSO ölçümlerinde, EM enerjiye bağlı olarak dokuda oluşan sıcaklık artışları hassas sıcaklık ölçüm sistemleri ile ölçülebilmektedir. Bu amaçla termistör, fiber optik ve ısı kamera sistemleri kullanılmaktadır (6- 9). Bu çalışmada 900 MHz cep telefonu frekanslı RF ışınımına maruz kalan insan beyin dokusunda oluşan sıcaklık artışı ve ÖSO, beyin eşdeğer doku modeli kullanılarak incelenmiştir.

2. EM İŞİNİMİN İNSAN BEYNİNDE OLUŞTURDUĞU SICAKLIK

2.1. Deney Düzenegi

Çalışmada 900 MHz için (2)'de önerilen beyin eşdeğer

Where ΔT is heat rise value in Δt duration as $^{\circ}C$ and c ($J/kg^{\circ}C$) is the heat capacity of tissue (or phantom material). It is expected that heat rise seems linear in a certain period (5). It is a necessity that using a sensitive temperature measuring system such an investigation. This system contains thermistor sensor, fiber optic cable and thermal camera (6-9). In this study, heat rise and SAR in human brain tissue exposed to 900 MHz, GSM, RF was investigated by using brain equivalent model.

2. HEAT PRODUCED BY EM RADIATION IN HUMAN BRAIN

2.1. Experimental Setup

In the beginning, for 900 MHz, brain equivalent liquid

dokusu hazırlanarak kullanılmıştır. İnsan beyin dokusu eşdeğer karışımı %43,55 su, %54,66 şeker, %0,72 tuz, %0,17 bakterisid, %0,9 HEC (Hydroxyethyl cellulose) kullanılarak hazırlanmıştır. Eşdeğer doku elektriksel parametreleri "HP4194A Impedance/Gain-Phase Analyser" ile ölçülerek $\epsilon_r = 44,0$ ve $\sigma = 0,92(\text{S/m})$ olarak tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ölçüm düzeneği Şekil.1'de gösterilmiştir. Hazırlanan beyin dokusu eşdeğer sıvısı (10)'da belirtilen biçimde kalınlığı 5mm olan ve 40x30x15cm boyutlarında cam kap (acrylic glass) içerisine konmuştur.

(phantom) has been prepared, as proposed in (2). Human brain equivalent mixture contains 3.55% water, 54.66% glucose, 0.72% sodium chloride, 0.17% bacteriacid, 0.9% HEC (Hydroxyethyl cellulose). Electrical parameters of equivalent tissue was determined by using HP4194A Impedance/Gain-Phase Analyzer as value of $\epsilon_r = 44.0$ and $\sigma = 0.92(\text{S/m})$. Experimental test setup is shown in Fig.1. Prepared equivalent brain phantom was placed in acrylic glass cup which dimension is 40x30x15cm and its thickness is 5 mm as described in (10).

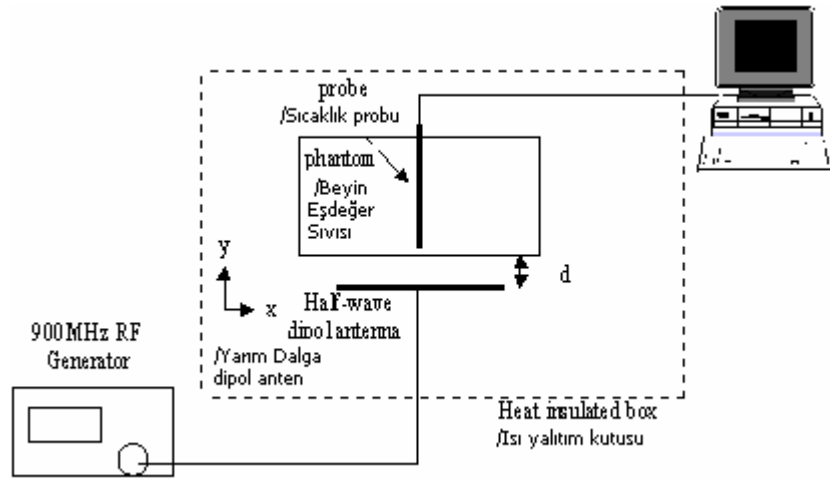


Figure 1. Setup for measurement of temperature rising in brain equivalent tissue (2)
Şekil 1. Beyin eşdeğer dokusunda sıcaklık artışı ölçüm düzeneği (2)

Şekil.1'de gösterildiği biçimde beyin eşdeğer sıvısı içerisinde beklenen sıcaklık artışları; antenin eşdeğer dokuya olan mesafesi, doku içi derinlik, cihaz çıkış gücü ve maruz kalma süresi gibi parametrelere bağlı ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Çünkü, EM ışınının dokuda oluşturacağı etkinin, ışınının frekansına, taşıdığı güce, kaynağın dokuya olan mesafesine, maruz kalma süresi ve koşullarına bağlı olduğu teorik olarak bilinmektedir. Ölçümlerde; Pico Technology firmasına ait PT104 (PT-104 Platinum Resistance Thermometer Data Logger) Sıcaklık ölçüm sistemi kullanılmıştır. PT104 sistemi PT100 sıcaklık sensörü ile kullanıldığı zaman 0,001 °C çözünürlüğe ve 0,01 °C doğruluğa sahip olup, prob SE012 Tip PT100 sıcaklık probudur. IEC171:1983 standartlarına uygundur. PTFE kablolu cihazın, kablo boyu 2m, Sıcaklık aralığı -50 ile 250 °C arası, doğruluk 0°C da +/- 0.03 °C dır. Kullanılan RF jeneratör 0-4w arası çıkış verebilen ve 850-950 MHz arasında ayarlanabilen özelliktedir. Ölçümlerde 900 MHz $\lambda/2$ dipol anten kullanılmıştır.

Ölçümler sıcaklık değişimi sifıra yakın izole kutu içerisinde yapılmıştır. Kutu içi sıcaklık değişimi sürekli ölçülmüş olup, yaklaşık 22 °C $\pm 0,2^\circ\text{C}$ değerinde iken ölçümler alınmıştır. Özellikle yarım dalga dipol anten ışına özelliği dikkate alındığında en büyük alan yoğunluğunun besleme noktası doğrultusunda olması beklenir. Bu nedenle anten besleme noktası doğrultusunda (y-ekseni) doku içerisindeki ısı artışı, farklı maruz kalma olasılıkları göz önünde bulundurularak ölçülmüştür.

As shown in Fig.1, heat rise in brain equivalent tissue have been measured and stored dependent upon parameters of distance from antenna, depth of tissue, power output of RF source, and exposure time. This data is known that highly dependent upon these parameters theoretically. Instrumentation has been carried out by PT104 (PT-104 Platinum Resistance Thermometer Data Logger, Pico Technology Inc.). The PT104 system's resolution is 0.001 °C with PT100 heat sensor and whose accuracy 0.01 °C. This specification agrees with IEC171:1983. The device is equipped with 2 m PTFE cable. Measuring range of the system is (-50 - 250 °C), Accuracy of it +/- 0.03 °C at 0 °C. RF generator was able to send 0-4w variable power output at 850-950 MHz. 900 MHz $\lambda/2$ dipole antenna has been connected to out of generator in this experiment.

Measuring experiments have been carried out in a specific heat insulated box. Temperature exchange of the box was nearly about zero. Inlet temperature was stored as real time during experiments. Heat exchange was investigated continuously. Approximately at 22 °C $\pm 0.2^\circ\text{C}$, experiments have been started repeatedly at every time. Particularly, when focusing on the radiation feature of half-wave dipole, it is expected that maximum field intensity may be on the axis of feeding point of antenna. Thus, taking into consideration to possible different exposes, heat rise in the phantom on the y-axis was only measured and stored.

2.2. Ölçüm Sonuçları

900 MHz için probun fantom tabanına olan mesafesi $y=7\text{mm}$ de ortalama 6 dakika maruz kalma süresinde ölçülen sıcaklık artışının dipol antenin dokuya olan uzaklığına (d) bağlı değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü gibi anten dokudan uzaklaştıkça doku içerisinde beklenen ısı artışı hızla azalmaktadır. Çok küçük mesafe değişimlerinde bile ısı artışında hızlı bir düşüş gözlenmiştir. Bu, EM ışınım kaynaklarına olan uzaklığın önemli bir korunma (güvenlik) faktörü olduğunu göstermektedir.

2.2. The Results of Measuring

In 900 MHz, with the distance of $y=7\text{ mm}$ (from the basis of phantom to probe), in the average exposure time of 6 min, measuring heat rise of medium is graphed to the variation of distance d and it is shown in Fig. 2. It can be understood from Fig.2 that the greater the distance d , the smaller the expected heat rise can be produced in the phantom. Even if the very small variations of d , very sharp decrease was investigated. This result shows us that distance from source is an important safe (protection against EM radiation) factor.

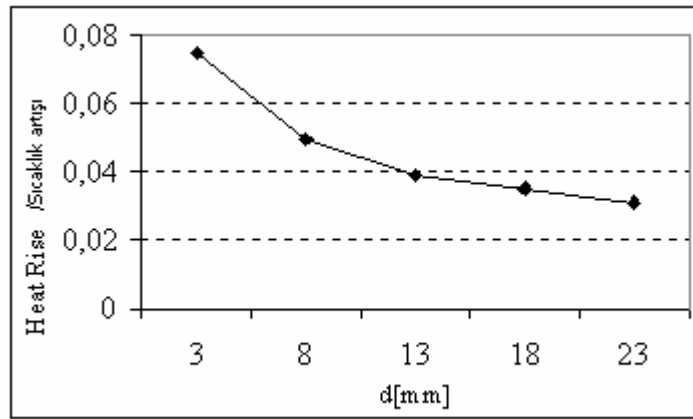


Figure 2. Heat rise (°C) variation in the phantom, in the exposure time of 6 min, $y=7\text{mm}$, (Power output=1.5W, 900 MHz)

Şekil 2. 900 MHz, 6 dakika maruz kalma süresinde $y=7\text{mm}$ de ölçülen sıcaklık artışının antenin dokuya olan uzaklığına bağlı değişimi ($P=1,5\text{w}$)

Yine 900 MHz de benzer maruz kalma şartlarında ($y=7\text{mm}$ ve $P=3\text{W}$) antenin doku yüzeyine olan " d " mesafesine bağlı olarak ölçülen sıcaklık artışlarının, maruz kalma süresi t 'ye bağlı değişimleri ölçülerek Şekil 3'de verilmiştir. RF enerji uygulandığı andan itibaren ilk anlarda hızlı bir ısı artışı gözlenirken yaklaşık 6-7 dakika sonra ısı artış hızı yavaşlamakta ve kararlı hale geçiş başlamaktadır. Ölçümlerde yaklaşık 30 dakikanın sonunda ısı artışında kararlı hal gözlenmiştir. Isı artış hızının belirli bir süre sonunda azaldığı Şekil 3'de görülmektedir.

In 900 MHz, in likely exposure conditions ($y=7\text{mm}$ and $P=3\text{W}$) some results were obtained and graphed. These comparisons of results can be seen in Fig.3. In the beginning of applying of RF energy, heat rise shows a steep changing, after 6-7 minutes, changing slows, eventually steady-state conditions is seen. Approximately after 30 minutes, exact steady-state condition may remain.

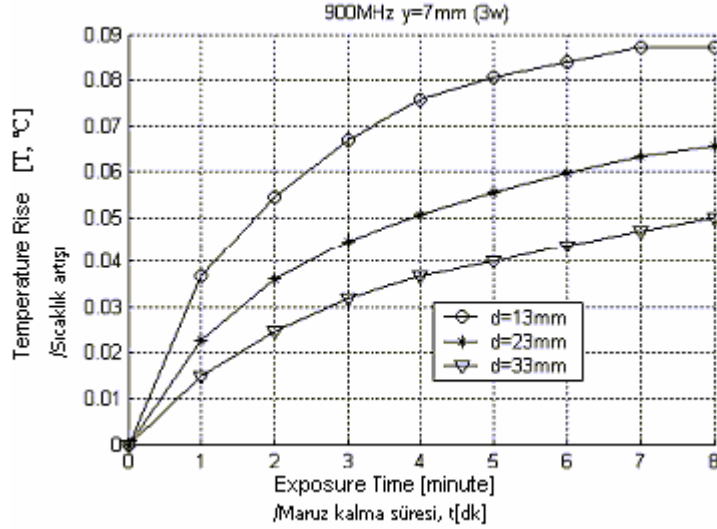


Figure 3. Heat rise changing related to exposure time in brain equivalent fluid (900 MHz $y=7\text{mm}$)

Şekil 3. 900 MHz $y=7\text{mm}$ de beyin eşdeğer sıvıda oluşan sıcaklık artışının maruz kalma süresine bağlı değişimi

Beyin eşdeğer dokusundan ölçülen sıcaklık artışları kullanılarak, EM enerji soğurulma hızı ÖSO, Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Farklı maruz kalma durumları dikkate alınarak yapılan hesap sonuçları grafik halinde aşağıda sunulmuştur. Şekil 4'de 900 MHz de beyin eşdeğer dokusunda soğurulan ÖSO, dipol antenin dokuya olan uzaklığına bağlı olarak hesaplanmıştır. ÖSO hesabı, beyin dokusu özgül ısı kapasitesi $c=4000$ (W s/kg °C) alınarak yapılmıştır. Ölçülen sıcaklık artışlarına bağlı olarak dokuda soğurulan EM enerjinin bir ölçüsü olan ÖSO hesaplanarak belirlenmiştir. ÖSO'nun bu şekilde belirlenmesi, diğer ÖSO belirleme yöntemlerine göre oldukça pratik ve ekonomiktir.

By using the obtained results of heat rise measure in brain phantom tissue, SAR values were calculated by Eq.1. Results of calculation made with taking into considerations to different cases of exposures were given graphically in Fig.4. Figure was prepared with the specific heat capacity of brain tissue is as $c=4000$ (W s/kg °C) in 900 MHz. As like this method of SAR calculation seems more practically and economical.

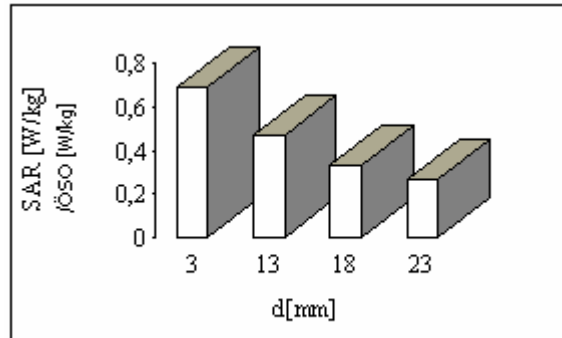


Figure 4. Absorbed SAR values in brain equivalent tissue in 900 MHz ($y=1\text{mm}$, $c=4000$ (W s/kg °C), $\Delta t=180\text{s}$, $P=1.5\text{w}$)

Şekil 4. Beyin eşdeğer dokuda soğurulan ÖSO'nun 900 MHz için d mesafesine göre değişimi ($y=1\text{mm}$, $c=4000$ (W s/kg °C), $\Delta t=180\text{s}$, $P=1.5\text{w}$)

3. SONUÇLAR

Ölçüm sonuçlarına göre RF ışınımına maruz kalan biyolojik dokuda beklenen ısı artışı EM alanın yayılma gücüne, frekansına, ışınım kaynağının dokuya olan uzaklığına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca 900 MHz cep telefonu frekansları için beyin dokusunda oluşan sıcaklık artışı $0,1$ °C'ı aşmamaktadır. Bu açıdan 900 MHz cep telefonları, uluslar arası standartlarca termal etki

3. RESULTS

According to the results of measure, expected heat rise in the tissue exposed to RF energy may varies to the radiated power of EM, frequency of EM, and distance between radiated source and tissue. In addition to heat rise in brain tissue might not exceed 0.1 °C in 900 MHz. From this view, 900 MHz GSM phones might create less than 1 °C (limit of thermal effect according to the international

bakımından kabul edilen 1°C 'nin altında ısı artışı yaratmaktadır. Ölçülen sıcaklık artışı eğrileri maruz kalma zamanının üstel fonksiyonları şeklindedir. Beyin dokusu sıcaklık artışı, maruz kalma süresinin ilk 6-7 dakikasında hızlı bir şekilde yükselmekte ve daha sonraki süreler için sıcaklık artışı yükselme hızı yavaşlamaktadır. Yaklaşık 30 dakikalık sürede kararlı hal sıcaklık artışına ulaşıldığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, (11) de verilen beyin dokusu için benzer parametrelerin kullanıldığı sayısal hesap sonuçları ile büyük bir uyum göstermiştir. Bu çalışmada kullanılan modelden yararlanarak eşdeğer dokuda sıcaklık artışına ilave olarak, gerekli ölçüm cihazlarının temin edilmesi suretiyle ÖSO ve elektrik alan ölçümleri yapılabilir. Benzer çalışmalar diğer haberleşme frekansları ve farklı EM dalga şekilleri için de tekrarlanabilir. Cep telefonlarının ısı etkilerinin yanında diğer biyolojik etkilerine yönelik araştırmaların da sürdürülmesi gerekmektedir. Özellikle çocukların biyolojik yapıları ve dielektrik özellikleri ile ilgili bilgiler tam olarak açıklanamamıştır. Bu nedenle çocuklar üzerindeki araştırmaların sürdürülmesi son derece önemlidir.

standards) temperature rise. The curve of heat rise measured seems as a function of time exponentially. Rising is very steep in first 6-7 min of exposing, after than it is so slow. It is investigated, in this study, the period of steady-state nearly 30 min. These results agree with the results of experiment which the same values of parameters used in it (11). SAR and electric field calculations can be made utilizing the model introduced in this study, but the specific instruments introduced must be needed as well. It is required that some studies will have to be provided for the other communication frequencies and equipments. Like this studies can be designed for some other wave forms and modulation techniques. Interesting results can be expected. Especially for mobile communication, some non-thermal biological effects must be investigated. Dielectric features of children's tissues haven't been explained yet. In this respect studies on this topic are very important.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Özen, Ş., Çerezci, O., "A Model of Thermal Analysis on Biological Tissues Exposed to Microwaves", *URSI2002, Turkish National*, İTÜ, İstanbul (2002).
2. Özen, Ş., "Theoretically and Experimental Investigation of Thermal Effect in Biological Tissues Exposed to Microwave Frequency EM Radiation", PhD Thesis, *Sakarya University, Science Institute* (2003).
3. ANSI/IEEE, "Safety levels with respect to radio frequency electromagnetic fields, 3kHz to 300 GHz", C95.1-(1992).
4. ICNRP, "Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters," *Health Physics*, 70 (4): 587-593 (1996).
5. Chou, C.K., Bassen, J., Osepchuk, Q., et. all., "Radio frequency electromagnetic exposure: tutorial review on experimental dosimetry", *Bioelectromagnetics*, vol. 17:195-208 (1996).
6. Gajda, G.B., Mcnamee, J.P., Thansandote, A., Boonpanyarak, S., Lemay, E., and Bellier, P.V., "Cylindrical waveguide applicator for in vitro exposure of cell culture samples to 1.9 GHz radiofrequency fields", *Bioelectromagnetics*, vol.23: 592-598 (2002).
7. Mahendra, K., Logani, Altaf A., et. all., "Effect of millimeter waves on cyclophosphamide induced suppression of the immune system", *Bioelectromagnetics*, 23:614-621 (2002).
8. Mays, S., Joseph, M., Deanna, Z., et., all., "Dosimetry in mice exposed to 1.6 GHz microwaves in a carousel irradiator", *Bioelectromagnetics*, vol. 20: 42-47 (1999).
9. Michael, B., Yuri, S., and Kuster, N., "Exposure setup to test effects of wireless communications systems on the CNS", *Health Physics Society*, vol.73 (5): (1997).
10. Kuster, and Balzano, Q., "Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.41: 17-23 (1992).
11. Wang, J. and Fujiwara, O., "Electromagnetic interaction between built-in antennas and a human head for 1.5 GHz portable telephones", *Trans IEICE*, J82-B: 1417-1419 (1999).