

PHANTOM MODEL OF HUMAN BRAIN TISSUE FOR CELLULAR PHONE FREQUENCIES IN ELECTROMAGNETIC FIELD RADIATION ABSORPTION STUDIES

Şükrü ÖZEN*

Akdeniz University, Engineering Faculty, Department of Electrical Engineering,
Antalya, Turkey
e-mail: sukruozen@akdeniz.edu.tr

Halis KÖYLÜ

Suleyman Demirel University, Faculty of Medicine, Department of physiology,
Isparta, Turkey

ABSTRACT

There is a necessity of tissue equivalent (phantom) models in research of electromagnetic (EM) effects in biologic tissues. Recently, many kinds of tissue models depend on the different aim were proposed. So many studies were carried on the interaction of human-head and cellular phone. The most of them are related to numerical models. Owing to difficulty of study on human body, simulation of human tissues is required. In this study two different, for 900MHz and for 1800MHz, brain equivalent tissues have been prepared and their electrical features were evaluated by taking into consideration of mixing rates.

Key Words: Brain equivalent tissue, RF absorption, GSM, Phantom model

HÜCRESEL TELEFON FREKANSLI ELEKTROMANYETİK RADYASYON SOĞURULMASI ARAŞTIRMALARI İÇİN İNSAN BEYİN DOKUSU FANTOM MODELİ

ÖZET

Biyolojik dokularda elektromanyetik (EM) etkilerin araştırılması için doku eşdeğer modellerine gereksinim duyulmaktadır. Son zamanlarda bu amaçla değişik araştırmalara yönelik doku modelleri önerilmektedir. Cep telefonları ve insan kafası etkileşimi üzerine çok fazla araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmaların çoğunluğu sayısal model çalışmalarından oluşmaktadır. İnsan üzerinde deneysel çalışmaların zor olması nedeniyle biyolojik dokuların simüle edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 900MHz ve 1800MHz için iki ayrı beyin eşdeğer dokusu hazırlanmış ve karışım oranları dikkate alınarak elektriksel özellikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beyin eşdeğer dokusu, RF soğurulma, GSM, Fantom model

1.GİRİŞ

EM alanlara maruz kalan insan dokusu üzerinde deneysel çalışmaların yapılması imkansızdır. Deneysel çalışmalar genellikle hayvan denekler üzerinde sürdürülmekte ve sonuçlar insanlar için yorumlanmaktadır. Ancak bu şekilde insanlar için varılan sonuçlar genellikle dolaylı bilgiler içermektedir. Bu nedenle, EM alanlara maruz kalan insan dokularında beklenen termal etkilerin analizi için doku eşdeğer sıvılarının hazırlanması önemli bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Eşdeğer sıvı elektriksel özellikleri, dielektrik sabit ve iletkenlik bakımından biyolojik doku ile uyumlu olmalıdır.

Biyolojik doku içerisindeki EM alan dağılımı, doku elektriksel özelliklerine (dielektrik sabit ve iletkenlik) bağlıdır. Elektrik alanın maddelerle girişimi

1. INTRODUCTION

The experimental studies on human tissue exposed to EM fields are impossible. The experimental studies continue on laboratory animals and the results are explained for humans. But the explained results for humans include indirect knowledge. Because of this reason, preparing the tissue equivalent liquids to analyze expected thermal effects in human tissues exposed to EM fields is accepted as an important approach. The electrical properties of the equivalent liquid comply with biological tissue, aspect of conductivity and permittivity.

EM fields distribution in biological tissue depend on electrical properties of the tissue (conductivity and permittivity). The Interference between electric field and materials explains through complex permittivity, $\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$. Where: ϵ' is permittivity and ϵ'' is loss

$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$, kompleks dielektrik sabit vasıtasıyla tanımlanır. Burada, ϵ' dielektrik sabit ve ϵ'' ise kayıp faktörüdür. ϵ' elektrik alan enerjisini depolayabilmenin bir ölçüsüdür. ϵ'' ise Hertz başına materyaldeki enerji kaybını tanımlar. Daha çok kullanılan diğer bir ifade ise bağıl dielektrik sabiti ifadesidir. Bağıl dielektrik sabit, dielektrik sabitin boşluğa (vakum) normalize edilmesinden elde edilir.

$$\epsilon_r^* = \frac{\epsilon^*}{\epsilon_0} = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} - j\frac{\epsilon''}{\epsilon_0} \quad [1]$$

Burada ; ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitidir ve $8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m dir. Kayıp faktörü, $\epsilon_r'' = \sigma / \omega\epsilon_0$ maddenin iletkenliği ile ilişkilidir. Burada, $\omega=2\pi f$ (rad/sn) uygulanan alanın açısal frekansı, σ (S/m) iletkenlik sabitidir. Elektriksel iletkenlik (σ) iyonik iletim nedeni ile oluşan statik elektriksel iletkenlik ve farklı kutuplanabilme durumundan kaynaklanan elektriksel iletkenlik gibi iki terimden oluşur. Biyolojik dokuların iletkenliği frekansa ve dielektrik sabitine bağlı olarak değişim gösterir.

Maddelerin dielektrik davranışları Debye denklemi ile belirlenir ve Debye denklemi iki gevşeme zaman sabiti ile

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_{s1} - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_1} + \frac{\epsilon_{s2} - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_2} \quad [2]$$

olarak ifade edilir. Burada iki adet gevşeme zaman sabiti (τ_1, τ_2) mevcuttur (1, 2). Denklemde ϵ_r bağıl dielektrik sabit ve σ iletkenlik sabitidir. ϵ_∞ yüksek frekans bölgesindeki aşırı bağıl dielektrik sabit ve $\epsilon_{s1} + \epsilon_{s2} - \epsilon_\infty$ dc (sıfır frekans) için bağıl dielektrik sabittir. Bu parametreler, bazı özel frekanslar için ölçülmüş değerlerden, istenen frekans değerleri için türetilir. Eşitlikte verilen $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_\infty$ ve τ_1, τ_2 ' nin optimum değerleri yağ ve kas için ölçülmüş değerlerden iteratif yöntemler ile elde edilebilir. Diğer bütün dokular bu iki doku arası bölgede bulunur. Bu değerlerin bilinmesi; dozimetri çalışmalarında, insan modellerindeki hücre özelliklerinin bilinmesi açısından önemlidir. Elektromanyetik alanların dokularla etkileşimine yönelik teorik ve deneysel araştırmalar için, dokuların elektriksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Debye denklemi kullanılarak dokuların elektriksel özellikleri belirlenirken değişik iterasyon yaklaşımları ile farklı değerler elde edilebilmektedir. Bu şekilde elde edilmiş farklı Debye bağımları (1, 2, 3)' de görülebilir. Kullanılan farklı nümerik teknikler nedeniyle Debye sabitleri farklılık göstermektedir. İnsan beyin dokusu için debye sabitleri $\epsilon_\infty=32.5$, $\epsilon_{s1}=2064$, $\epsilon_{s2}=56.86$ ve zaman sabitleri $\tau_1 = 46.25ns$, $\tau_2 = 0.0907ns$ (3) olarak alınarak bazı frekanslar için elektriksel sabitler hesaplanmış ve Şekil.1'de verilmiştir.

factor. ϵ' is a measure of stored electric field energy. ϵ'' describes energy loss per Hertz in a material. The most common used another term is relative permittivity that is determined by normalizing the permittivity according to vacuum.

Where; ϵ_0 is the permittivity of vacuum and equal to $8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Loss factor is related to conductivity of material, $\epsilon_r'' = \sigma / \omega\epsilon_0$. Where; $\omega=2\pi f$ (rad/s) is the angular frequency of applied field and σ (S/m) is conductivity. Electrical conductivity (σ) is formed by two term of static electrical conductivity that occurs because of ionic transmission and electrical conductivity that occurs because of different polarization. The conductivity of biological tissues depends on permittivity and frequency.

Dielectric characteristic of materials is determined by Debye equation that is consist of two relaxation time constant as

Where τ_1, τ_2 are relaxation time constants. ϵ_r is relative permittivity and σ is conductivity. ϵ_∞ is extreme relative permittivity on the high frequencies side, and $\epsilon_{s1} + \epsilon_{s2} - \epsilon_\infty$ is relative permittivity for dc (zero frequency). These parameters can be obtained for desired frequencies using the values that were measured for some special frequencies. Optimum values of $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_\infty$ and τ_1, τ_2 used in equation [2] can be determined by iterative methods using measured values for muscle and fat. All other tissues exist in the region that is between these two tissues. To know these values is important to determine the cell properties in human models in dosimetry studies. Knowing the electrical properties of tissues are required for the experimental and theoretical studies on interference between electromagnetic fields and tissues. While determining the electrical properties of tissues using Debye equation, different values can be obtained for different iteration approaches. Such obtained different Debye equations can be seen in (1,2,3). Debye constants are different because of using different numerical techniques. Choosing Debye constants as $\epsilon_\infty=32.5$, $\epsilon_{s1}=2064$, $\epsilon_{s2}=56.86$ and time constants as $\tau_1 = 46.25ns$, $\tau_2 = 0.0907ns$ (3) for human brain tissue, the electrical constants for some frequencies have been calculated and given in Figure 1.

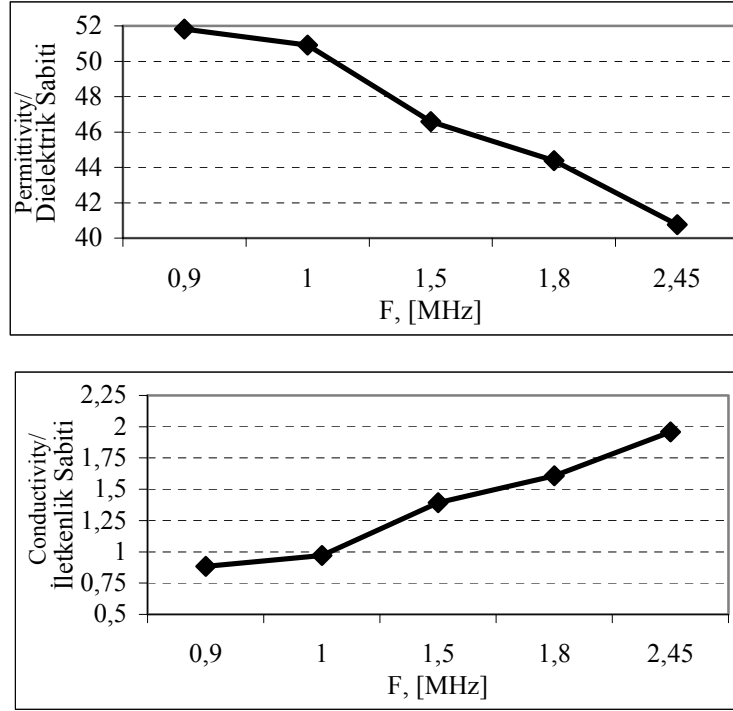


Figure 1. Brain tissue electrical properties versus choosing frequencies a)permittivity, b)conductivity

Şekil 1. Beyin dokusu elektriksel sabitlerinin seçilmiş frekanslar için değişimi a)dielektrik sabit, b)iletkenlik sabiti

İnsan beyin dokusu elektriksel özellikleri, literatür verilerine göre ilgili frekanslar için Tablo.1'de verilmiştir. Tablo.1'den de görüldüğü gibi eşdeğer dokuların elektriksel özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir.

Electrical properties of human brain tissue available in literature are presented in Table1 for related frequencies. As shown in Table 1, Electrical properties of equivalent tissues differ.

Table 1. Comparing the electrical properties of the used brain tissue equivalent models for different frequencies

Tablo 1. Farklı frekanslarda kullanılan beyin dokusu eşdeğer modelleri elektriksel özelliklerinin karşılaştırılması

Frequency/ Frekans (MHz)	ϵ_r'	σ (S/m)	Reference/ Referans	Explanation/ Açıklama
840	53±1	1.4±0.1	(13)	Equivalent Liquid/ Eşdeğer Sıvı
900	43.1	0.83	(17)	Equivalent Liquid/ Eşdeğer Sıvı
835	42.9	0.9	(10)	Equivalent Liquid/ Eşdeğer Sıvı
900	41.2	12.2	(10)	Equivalent Liquid/ Eşdeğer Sıvı
900	43.5	0.9	(14)	Equivalent Liquid/ Eşdeğer Sıvı
1800	45.8	0.77	(14)	Equivalent Liquid/ Eşdeğer Sıvı
1500	46	1.4	(16)	Theoretical/ Teorik
900	52.7	1.05	(15)	Theoretical/ Teorik
1900	46	1.65	(15)	Theoretical/ Teorik

2. BİYOLOJİK DOKU EŞDEĞER SIVILARININ OLUŞTURULMASI

EM dozimetri ve hipertermi çalışmaları için insanlar üzerinde deneysel çalışmaların imkansızlığı nedeniyle, insan biyolojilerine ait dokuların eşdeğer karışımlarının elde edilmesi gerekir. Bu amaçla gerekli olan doku eşdeğer materyalleri bazı kimyasal maddelerin karışımından elde edilebilmektedir. Dielektrik sabit ve eşdeğer iletkenlik frekansa bağlı olarak değişim gösterir. Dielektrik sabit frekansa bağlı olarak azalırken iletkenlik artar. Dokuların dielektrik özellikleri ile ilgili çalışmalara yaklaşık 50 yıldan beri devam edilmektedir (4, 5). Veriler

2. FORMING OF THE BIOLOGICAL TISSUE EQUIVALENT LIQUIDS

Forming of equivalent liquids of human biological tissues is required for electromagnetic dosimetry and hyperthermia studies, because the experimental studies on humans are impossible. Required tissue equivalent materials can be obtained using mixtures of some chemical materials. Permittivity and equivalent conductivity change depending on frequency. While permittivity decreases depending on frequency, conductivity increases. Dielectric properties of tissues have been studied since fifty years (4, 5). Data

ölçüm yöntemi ve sıcaklık gibi birçok parametreye bağlı olarak oldukça değişim göstermektedir. Doku dielektrik özellikleri ile ilgili bilgiler (6, 7, 8) elde edilebilir. Son zamanlarda dozimetri araştırmacılarının çoğu Gabriel (7) tarafından oluşturulmuş verileri kullanmaktadır.

Testler için kullanılacak doku modeller cihaz çalışma frekansına yaklaşık olmalıdır. Vücut dokuları su içerme oranlarına göre sınıflandırılırlar. Kas, deri gibi yüksek –su içeren dokular, yağ, kemik ve kafatası gibi düşük-su içeren dokulara göre RF enerjisi daha fazla soğurlar. RF ve Mikro dalga frekanslarda dokuların elektriksel özellikleri yaklaşık 37 °C olan vücut sıcaklığında dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri ile karakterize edilirler. Bu doku parametreleri sıcaklığa hassastırlar. Yüksek-su içeren dokularda dielektrik sabit yaklaşık 0.5%/°C oranında azalırken iletkenlik de yaklaşık 2%/°C oranında artar (9). SAR araştırmalarında kullanılan eşdeğer dokular genel olarak benzerdirler. Bu dokular genellikle oda sıcaklığında eşdeğer doku özellikleri ile hazırlanırlar. Beyin ve kas gibi yüksek su içeren dokuların eşdeğer karışımlarını hazırlamak için birkaç temel yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri, opak jel şeklindeki eşdeğer doku karışımı (içerik: su, tuz, polietilen toz ve TX-151 olarak adlandırılan gelling agent), diğeri ise; su, şeker, tuz, ve bileşim akışkanlığı ile ilgili olarak HEC (hydroxyethylcellulose) karışımlarından oluşmaktadır. Biyolojik dokular için fantom sıvıların elde edilmesinde değişik kimyasal bileşenlerden yararlanılabilmektedir (6, 7, 10, 11).

2.1. İnsan Beyin ve Kas Eşdeğer Dokusu

Kas dokusu insan vücut yapısının çoğunluğunu oluşturur (10). Kas dokusu eşdeğer materyalleri daha önce (12) geliştirilmiş ancak bu fantom modellerde sonraları bazı problemler ortaya çıkmıştır. Karşılaşılan ana problem karışım aşamasında TX-151'in düşürülmesi, karışım bileşenlerinin ayrışması ve kısa sürede bozulmaya uğramasıdır. Literatürde belirtilen daha önceki karışımlarda meydana gelen problem TX-151 ile ilgilidir.

Bir çok su temelli karışımların akışkanlığını artırabilmek için HEC (Hydroxyethylcellulose) kullanılır. Bu materyal sayesinde geniş aralıkta akışkanlık elde edilir ve su ile kolayca karıştırılabilir. Karışımın sıvılık derecesi kullanılan ölçüm probunun hareketini kolayca sağlayabilmelidir. Bu nedenle gerek sıcaklık artışı ölçümlerinde gerekse elektrik alan dağılım ölçümlerinde sıvı veya yarı sıvı karışımlara ihtiyaç duyulur. HEC miktarının artırılmasıyla elektriksel özellikler değişmeden daha yoğun karışım elde edilir.

Kas materyallerinin bir diğer bileşeni ise sodyum klorür (Sodium Chloride, NaCl) olup iletkenliği artırmak için kullanılır. Şeker ise iletkenliği düşürmek için kullanılır. Diğer bir bileşen olarak kullanılan bakteriasid (bacteriacid), bakteriyel etkilerde polimerin düşmesini önlemek için kullanılır. Şeker, daha önceki uygulamalarda kullanılan polietilen toz'a (powder) göre daha ucuzdur.

Beyin dokusu özellikleri, kas sistemine benzerdir. İnsan beyninin çoğunluğu gri ve beyaz maddeden oluşur. Gri madde beyaz maddeye göre daha büyük dielektrik sabit ve iletkenliğe sahiptir. Beyin eşdeğer sıvısı bu iki

considerably shows changes depending on a lot of parameters as measurement method and temperature. The knowledge of dielectric properties of tissue is obtainable (6, 7, 8). Recently, most of the dosimetry researchers use the data formed by Gabriel (7).

Tissue models used for tests must be approximate device operation frequency. Body tissues are classified by the rate of included water. The tissues that have high water rate as muscle and skin absorb RF energy more than the tissues that have low water rate as fat, bone and cranium. The electrical properties of tissues in RF and microwave frequencies are characterized by permittivity and conductivity at the body temperature that is approximately 37 °C. These tissue parameters are sensitive to temperature. While permittivity decreases to about 0.5%/°C rate in the tissues that have high water level, conductivity increases to about 2%/°C rate (9). Equivalent tissues used SAR investigations are generally similar. These tissues are prepared by equivalent tissue properties at the room temperature. There are several methods to prepare equivalent mixtures of the tissues that have high water rate as brain and muscle. One is equivalent tissue mixture that is like opaque jell (includes: water, salt, polyethylene powder and gelling agent named TX-151) and second is formed by mixture of water, sugar, salt and HEC (hydroxyethylcellulose) that is related to fluidity of compound. Obtaining the phantom liquids for biological tissues can be used different chemical compounds (6, 7, 10, 11).

2.1. The Equivalent Tissue of Human Brain and Muscle

Muscle tissue forms most of the human body (10). Muscle tissue equivalent materials are developed beforehand and some problems reveal in these phantom models afterwards. The main problems are decreasing TX-151 in the mixture phase, separation of the mixture components and decaying in short time. The problems that occur in former mixtures explained in literature are related to TX-151.

To increase fluidity of a lot of water based mixture is used HEC (Hydroxyethylcellulose). This material provide fluidity in a large range and it easily mix with water. Fluidity level of the mixture must enable easily moving of the used measurement probe. Because of this reason, liquid or semi-liquid mixtures are required for temperature rise and distribution of electric field measurements. More intensive mixtures are obtained without changing of electrical properties, when amount of HEC increases.

Another component of muscle materials is Sodium Chloride (NaCl) that is used to increase conductivity. Sugar is used to decrease conductivity. Bacteriacid used as another component is used to prevent decreasing polymer in bacterial effects. Sugar is cheaper than polyethylene powder used in prior applications.

The properties of brain tissue are similar to muscle system. Most of human brain is formed by white and grey materials. Grey material has bigger permittivity and conductivity than white material. Brain equivalent liquid

madde elektriksel özelliklerinin ortalamasını yansıtmak şeklinde belirlenmelidir. Hazırlanan materyallerin dielektrik özellikleri istenen değerlere değiştirilebilmelidir. Genellikle NaCl madde iletkenliğini etkiler. Su miktarı daha çok dielektrik üzerinde etkilidir. Bu iki maddenin sınırlandırılması birbirinden bağımsızdır.

3. BEYİN EŞDEĞER DOKUSU KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI

Biyolojik dokulara “benzeyen” eşdeğer karışımların hazırlanması önemli bir konudur. Karışımlar, uygun biçimde Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Laboratuvarında hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında izlenen yöntem aşağıda verilmiştir.

1. Yüzde (%) ağırlık oranları “SCALTEK SPB 33” hassas terazisi ile bir şekilde hazırlandı.
2. Su, ısıtma ve otomatik karıştırma işlemlerini yapabilen özel “MK 418” cihazı ile 40°C a kadar ısıtıldı.
3. Su karıştırılırken bakteri asit ve tuz ilave edildi.
4. Daha sonra şeker ilave edildi.
5. Solüsyondaki hava kabarcıkları en aza ininceye kadar karıştırma işlemine devam edildi.
6. Daha sonra karışıma HEC ilave edildi.
7. Isıtma işlemine son verildi.
8. Karışım incelinceye kadar karıştırma sürdürüldü.
9. Son olarak, oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar soğumaya bırakıldı.

Daha sonra bu sıvılar kapaklı cam muhafaza şişelerine konarak ağızları kapatıldı. Böylece elde edilmiş olan doku eşdeğer karışımı kullanılmadığı sürece su buharlaşması kontrol altına alınmış oldu. Bu şekilde elde edilecek doku fantom modelleri ile EM dozimetride gerçekçi insan doku modelleri oluşturulabilir. Bu işlem, biyo elektromanyetik konusunda çalışan araştırmacılar için oldukça önemlidir.

Hazırlanan karışımların dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri “HP4194A Impedance/Gain-Phase Analyser” ile ölçülerek belirlenmiştir. Bu oranlar ile gerçek değerlere yakın elektriksel özellikler elde edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan beyin eşdeğer dokusu karışımlarının uzun süre bozulmadan kullanılabilmesi amacıyla karışımlarda “Bakterisid” kullanılmıştır (beyin eşdeğer karışımında, bakteri etkileri nedeniyle dielektrik sabit ve iletkenlik sabitinde oluşabilecek değişimlerin önlenmesi amacıyla, 900MHz karışıma %0.17 oranında Bakterisid ilave edilmiştir).

900MHz de beyin dokusu için hazırlanan sıvıya, Süleyman Demirel Üniversitesi Mikro Biyoloji Laboratuvarında, bakteri üreme testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda, kullanılan Bakterisid nedeniyle beyin eşdeğer sıvısında herhangi bakteri üremediği tespit edilmiştir. Böylece karışımda hazırlanan sıvıların uzun bir süre boyunca elektriksel özellikleri bozulmadan kullanılabilmesine olanak sağlanmıştır. Sadece kullanım sırasında meydana gelebilecek su buharlaşmalarına dikkat edilmesi yeterli olacaktır. Kullanım sürelerine bağlı su buharlaşması olmuşsa orijinal karışıma biraz su ilavesi

must have average of electrical properties of these two materials. Dielectric properties of the prepared materials can be reached to desired values. NaCl generally effects material conductivity. Water rate is more effective on dielectric. Limiting of these two materials is independent each other.

3. PREPARATION OF BRAIN-PHANTOMS (EQUIVALENT-LIQUID MIXTURES)

It is very important issue to prepare equivalent tissues “resembles” to biological tissues. These liquid mixtures have been prepared appropriately at Suleyman Demirel University, Bio-chemical Laboratory of Medicine Faculty. Traced procedure is given below.

1. First, weight-percentages of matters (mixture ratios) have been measured by using the “SCALTEK SPB 33” precise balance.
2. Water has been heated to 40°C by “MK 418” which is able to heating and mixing automatically.
3. During mixing operation, bacterium-acid and salt have been added.
4. Then sugar has been added.
5. Mixing operation has been carried on till air-bubbles in the solution reduced to minimum.
6. And then HEC was added to the mixture.
7. Heating operation was ended.
8. Mixing operation has been carried on till the mixture was thinned.
9. Finally, it has been left for cooling to room temperature.

After this, these mixtures have been bottled with in the glass bottles, in order to control the vaporization. So in the non-using-duration, evaporation is under control. By using these human tissue phantoms can be made in order to create the highly realistic tissue models in electromagnetic dosimetry. This process is very important for the researchers in bio-electromagnetics.

Dielectric coefficients and conductivity of the prepared mixtures have been measured and determined by “HP4194A Impedance/Gain-Phase Analyser”. By using these values determined, it is possible to get virtually real electrical features. For long term usable mixtures, bacterium-acid has been added in them (e.g. in order to protect it from bacterium effects to dielectric or conductivity features, 0.17% bacterium-acid must be added in 900 MHz-brain-equivalent mixture).

Growing test has been applied to the brain equivalent phantom for 900 MHz in Microbiological Laboratory of Suleyman Demirel University. Determined no any growth of bacterium occurs in mixtures. So decided there was a long duration of using without any change in electrical parameters for these mixtures. That is enough measure to careful for evaporation. For a very long time, some water must be added in original liquid by mixing. Mixing ratios of the mixtures are given in Table 2 and 3. For 1800 MHz brain phantom, Diethylene Glycol Butyl Ether (Glycol) was used in it. By using this chemical matter has provided

yapılabilir. Su ilavesi karıştırılarak yapılmalıdır. Hazırlanan eşdeğer sıvı karışımları ve karışımda kullanılan maddeler oranlarıyla birlikte Tablo.2 ve 3’de gösterilmiştir. 1800MHz beyin eşdeğer karışımında ise Diethylene Glycol Butyl Ether (Glycol) kullanılmıştır. Bu kimyasal maddenin kullanılması, hem hazırlama hem de bu frekansta istenen elektriksel değerlerin elde edilmesi açısından oldukça kolaylık sağlamıştır. Fakat burada da buharlaşmaya dikkat edilmelidir.

an easy method in preparation and for getting electrical parameters in the frequency desired however evaporation is a critical factor also.

Table 2. Brain equivalent mixture and chemical matter ratio in it in 900 MHz

Table 2. 900MHz için hazırlanan beyin eşdeğer sıvı karışımı ve karışımda kullanılan kimyasal madde oranları

Tissue/ Doku	Frequency/ Frekans (MHz)	Water/ Su (%)	Sugar/ Şeker (%)	Salt/ Tuz (%)	HEC (%)	Bacterium- Acid (%)	Dielectric Constant/ Dielektrik Sabit	Conductivity/ İletkenlik
Brain/ Beyin	900	43.55	54.66	0.72	0.90	0.17	44.0	0.92

Table 3. Brain equivalent mixture and chemical matter ratio in it in 1800 MHz

Table 3. 1800MHz için hazırlanan beyin eşdeğer sıvı karışımı ve karışımda kullanılan kimyasal madde oranları

Tissue/ Doku	Frequency/ Frekans (MHz)	Water/ Su (%)	Salt/ Tuz (%)	Glycol (%)	Dielectric Constant/ Dielektrik Sabit	Conductivity/ İletkenlik
Brain/ Beyin	1800	54.90	0.18	44.92	40.5	1.4

Tablo.2 ve 3’ den görüldüğü gibi 900MHz ve 1800MHz EM radyasyonun insan beyin dokusunda soğurulması ve yaratabileceği termal etkilerin deneysel olarak incelenemesi amacıyla oluşturulan eşdeğer doku dielektrik ve iletkenlik sabiti, Tablo1’ de özetlenen çalışmalarla karşılaştırıldığında, beyin dokusu elektriksel sabitleri için, belirlenen karışım oranlarının yeterli olduğu görülür. Deneysel araştırmalarda, oluşturulan eşdeğer karışım, araştırmada seçilecek metoda göre uygun fantom yapı içerisine konarak doku içerisinde ısı artışı, elektrik alan veya doğrudan SAR ölçmeleri için kullanılabilir. Bu ölçmeler sıvının içine daldırılabilen uygun seçilmiş ölçüm problemleri ile yapılabilir. Bu şekilde yapılacak ölçmelerde izlenecek yöntem için (18, 19) ‘a bakılabilir.

4. SONUÇLAR

Literatürde çok farklı kimyasal karışımlarla doku simülasyonlarına rastlanabilmektedir. Burada 900MHz için oluşturulan beyin dokusu, özelliklerinin bozulmadan uzun bir süre korunması ve böylece tekrarlı ölçümlere olanak vermesi hedeflenmiştir. Bu amaçla karışımda kullanılan kimyasallar özel seçilmiş ve geniş katımlı disiplinler arası bir çalışma yapılmıştır. Kullanılan bakterisid sayesinde doku özelliklerinin yaklaşık bir yıl gibi önemli bir süre korunabileceği yapılan laboratuvar çalışmaları ile tespit edilmiştir. 1800MHz eşdeğer karışımı ise oldukça pratik ve daha ekonomik olması bakımından önemlidir. Ancak buharlaşmanın daha etkili olması nedeniyle kısa süreli araştırmalar için önerilebilir. Böylece son zamanlarda çok fazla araştırılan konular arasında bulunan, 900MHz ve 1800MHz haberleşme frekanslarının insan kafasındaki etkilerinin araştırılmasına yönelik iki farklı eşdeğer doku modeli önerilmiştir. İlgili frekanslarda,

The values in Table 2 and 3 (in the prepared phantoms), for the aim of experimental studies on EM radiation, absorption and the thermal effects of 900 MHz and 1800 MHz, have almost the original tissues do. By comparing these results with the studies summarized in Table 1, it can be understood that obtained electrical features are enough. In an experimental study, according to the methodology, this mixture can be put in an appropriate structure, so heat rise in a tissue, SAR, or electric field can be measured and analyzed. Such measurements need also special immersible probes. The detailed methodology and procedure can be found in (18, 19).

4. CONCLUSIONS

There are so many tissue simulations with different chemical matters we met in literature. The aim of this study is to obtain brain-tissue-phantom that can be used for a long time for 900 MHz so it is possible to make repeatable experiments. Chemicals were chosen carefully and a multidisciplinary study was aimed. Since using bacterium-acid, it is fact that by the tests in laboratory, tissue features can be protected nearly one year. Mixture for 1800 MHz is important in view of being practically and economically. But it is recommended for only short-term applications for more effective of its evaporation. So in the most using frequencies of telecommunication, recommended phantoms have got. Especially for the human head, two different tissue models have been created. In interested frequencies, these models can be used in EM energy absorption (E field and SAR) and on research of thermal effects (heat rise). For other

insan beyin dokusunda EM enerji soğurulması (Elektrik alan veya SAR) ve termal etkilerin (sıcaklık artışı) araştırılması çalışmalarında kullanılabilir. Diğer frekanslar için karışım oranlarının ayarlanması ile elektriksel özellikler belirlenebilir. Farklı frekanslar için karışım oranlarının basitçe belirlenebileceği çalışmaların sürdürülmesi, EM etki araştırmacıları için büyük kolaylık sağlayacaktır.

frequencies, mixing ratios can be changed. For different frequencies, studies on the determinations of ratios must be carried on. This is very important for researchers of EM effects.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Bernardi, P., Canagnaro, M., Pisa, S., and Puizzi, E., "SAR distribution and temperature increase in an anatomical model of the human eye exposed to the field radiated by the user antenna in a wireless LAN", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, Vol.46:2074-2082, (1998).
2. Fujiwara, O., And Takai, K., "Electrical properties of skin and SAR calculation in a realistic human model microwave exposure", *Electrical Engineering in Japan*, Vol.120: 66-73, (1997)
3. Furse, C.M., Chen, C.Y., And Ghandhi, O.P., "The use of the frequency-dependent finite-difference time domain method for induced current and SAR calculations for a heterogeneous model of human body", *IEEE Trans. Vol.EMC-36: 128-133, No.2*, (1994).
4. Schwan, HP., and Piersol, G.M., "The absorption of electromagnetic energy in body tissues", *Amer. J. Phys. Med.* Vol. 33: 371-404, (1954).
5. Stuchly, MA., and Stuchly, S.S., "Electrical properties of biological substances". in Gandhi Op. (ed): *Biological effects and medical applications of electromagnetic energy. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall*, pp. 75-112, (1990).
6. Durney, CH., Massoudi, H., and Iskender, MF., *Radiofrequency dosimetry handbook, 4th Ed., Brooks Air Force Base, Texas.*, (1986).
7. Gabriel, C., "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies" Brooks air force technical report AL/OE-TR-1996-0037. Armstrong Laboratory, *Brooks Air Force Base, TX.*, (1996).
8. Foster, Kr., and Schwan, HP., "Dielectric permittivity and electrical conductivity of biological materials. In Polk C, Postow E (eds): *Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press*, 27-96 (1986).
9. Jerry, L., Ulcek Robert, F., Clevand, JR., "Federal communication commission office of engineering & technology, information on human exposure to radiofrequency fields from cellular and PCS radio transmitters", *Bulletin 65, Editions 97-01*, Washington, (1997).
10. Hartsgrove, G., Kraszewski, A., and Surowiec, "Simulated biological materials for electromagnetic radiation absorption studies", *Bioelectromagnetics*, vol.8: 26-36 (1997).
11. Gandhi, O.P., Lazzi, G., Tinniswood, A., and Yu, Q.S., "Comparison of numerical and experimental methods for determination of SAR and radiation patterns of handheld wireless telephones", *Bioelectromagnetics*, vol.20: 93-101 (1999).
12. Chou, Ck., Chen, GW., Guy, AW., and Luk, KH., "Formulas for preparing phantom muscle tissue at various radiofrequencies", *Bioelectromagnetics*, vol. 5, pp. 435-441 (1984).
13. Stuchly, MA., and Stuchly, SS., *Electrical properties of biological substances. in Gandhi Op. (ed): "Biological effects and medical applications of electromagnetic energy. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall*, 75-112 (1990).
14. Michael B., Kuster, N., "Appropriate modeling of the ear for compliance testing of handheld with SAR safety limits at 900/1800MHz", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.48:1927-34, no.11, (2000).
15. Iskander, M.F., Yun, Z., and Quintero-Illera, R., "A fine grid computation domain was used for modeling the head", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.48, no.11: 1979-1987, (2000).

16. Masaaki, Yano., Jianqing, Wang, and Fujiwara, O., “FDTD computation of temperature rise in realistic head models simulating adult and infant for 1.5GHz microwave exposure”, *Electronics and Communications in Japon*, Part.1, Vol. 84, No. 4, (2000).
17. Yoshinobu, O., Koichi, I., Ichiro, I., and Masaharu, T., “The SAR evaluation method by a combination of thermographic experiments and biological tissue-equivalent phantoms”, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol.48, no.11: 2094-2103, (2000).
18. 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).
19. Quishan Yu, et. All., “An automated SAR measurement system for compliance testing of personal wireless devices”, *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, Vol.41, No.3: 234-245, August (1999).

Received/ Geliş Tarihi: 30,06,2003 Accepted/Kabul Tarihi: 18,11,2004