



ELEKTROMANYETİK ALAN MARUZİYETİNİN KAS DOKUSUNDA OLUŞTURDUĞU ETKİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

L.Nurel ÖZDİNÇ POLAT^{1*}, Selçuk ÇÖMLEKÇİ²

¹ Akdeniz Üniversitesi, Korkuteli Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı, Antalya, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Elektromanyetik alan,
Kas dokusu,
Fantom model.*

Öz

Bu çalışmada günlük hayatta maruziyetinden sakınılamayan farklı frekanslardaki cihazların oluşturduğu elektromanyetik yayılım için kas eşdeğer modelleri oluşturulmuştur. Günümüzde elektromanyetik alan yayan cihazların kullanımının giderek yaygınlaşması maruz kalınan frekans ve güç seviyelerinin çeşitliliğini artırmaktadır. Elektromanyetik dalgalar farklı güçlerde ve farklı frekanslarda, insan vücudunda değişik etkilerde bulunmaktadır. Bu etkiler vücutta dokuları ısıtmakta veya kimyasal yoldan değişimlere yol açmaktadır. Bu çalışmada, 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarındaki cep telefonu, 2.45 GHz frekansındaki kablosuz haberleşme cihazlarının ve ayrıca 27.12 MHz frekansındaki tıbbi fizyoterapi tedavi cihazlarının (kısa dalga diatermi) insan kas dokusu üzerindeki etkilerini belirlemek amaçlı kas eşdeğer sıvıları oluşturulmuştur. Bu oluşturulan fantom model üzerinde elektromanyetik maruziyetin neden olduğu ısıl değişimler ölçülmüştür.

MODELING AND ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELD EXPOSURE ON THE MUSCLE TISSUE

Keywords

*Electromagnetic field,
Muscle tissue,
Phantom model.*

Abstract

In this study, the muscle equivalent tissue models were examined for unavoidable electromagnetic radiation from various devices which used in daily life. Nowadays, daily exposure growing because of the increasing use of electromagnetic field-emitting devices and their widespread diversity of the frequency and power levels. Electromagnetic waves make different effects in different frequencies and different strengths human body. This effect causes some changes in body by heating or chemically. In this study, for different frequencies such as 900 and 1800 MHz frequencies for mobile phone and 2.45 GHz frequency for wireless communication devices and also the 27.12 MHz frequency for medical devices, physiotherapy treatment (short-wave diathermy), muscle equivalent liquid models are aimed for determining their effects on human muscle tissue. Thermal changes in this phantom were measured for validation on the model of electromagnetic exposure as well.

Alıntı / Cite

Özdiñç Polat L.N., Çömlekçi S., (2019). Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Kas Dokusunda Oluşturduğu Etkinin Modellenmesi Ve Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 498-504.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

L. N. Özdiñç Polat, 0000-0002-7443-8465
S. Çömlekçi, 0000-0003-1389-6435

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.12.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.03.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	08.03.2019
Yayın Tarihi / Published Date	15.09.2019

1. Giriş

Günümüzde elektromanyetik alan yayan kablosuz haberleşme cihazlarının kullanımı giderek

yaygınlaşmaktadır. Ayrıca yine elektromanyetik alan yayan elektronik cihazların medikal alanlarda da kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu elektromanyetik alan yayan cihazların insan vücudu

* İlgili yazar / Corresponding author: nurelozdinc@akdeniz.edu.tr, +90-242-643-5000

üzerine etkileri ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (T. Wessapan vd., 2018; N. Pasquino, 2017). T. Wessapan ve ark. çalışmalarında yakın ve uzak alan için elektromanyetik maruziyetin insan organlarında oluşturduğu sıcaklık değişimlerini incelemişler ve elde edilen sonuçlara göre elektrik alanının, SAR ve sıcaklık dağılımlarının nümerik simülasyonları, 900 ve 1800MHz frekanslara sahip yakın alan ve uzak alan elektromanyetik alana maruz kalma sırasında heterojen insan modelindeki enerji emilimi ve sıcaklık artışı ile ilgili bazı önemli özellikler göstermekte olduğunu belirtmişlerdir (T. Wessapan vd., 2018). N. Pasquino (2017) çalışmasında GSM sistemi tarafından üretilen elektromanyetik radyasyona maruz kalmanın istatistiksel özelliklerini araştırmayı amaçlayan deneysel bir aktivitenin sonuçlarını sunmaktadır (N. Pasquino, 2017).

Literatürde özellikle cep telefonlarından yayılan 900 MHz çalışma frekanslı radyo frekans dalgalarının insan vücudu dokularına etkisini belirlemeye yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Cep telefonlarının yaydığı radyo frekans dalgalarına insanlar iki farklı şekilde maruz kalmaktadırlar. Cep telefonları insan vücudunda en çok kafa kısmını etkilerken, baz istasyonlarından yayılan dalgalar ise insan vücudunun tamamını etkilemektedir. Yine benzer şekilde farklı çalışma frekanslarında elektromanyetik alan yayan diğer kablosuz haberleşme cihazların kullanımını da insan vücudu üzerinde etkiler oluşturabilmektedir (Sevgi L., 2000).

Özellikle farklı frekanslarda çalışan; tıbbi fizyoterapi tedavi (kısa dalga diatermi-27.12 MHz) cihazı ile cep telefonları ve kablosuz haberleşme cihazlarının (900, 1800 ve 2450 MHz frekanslarında), insan kas dokusu üzerindeki ısı etkilerinin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır (Özdiñç Polat L.N., 2011), (Özdiñç Polat L.N. vd., 2016). Bu çalışmada farklı frekanslar için kas dokusunun elektriksel özellikleri kullanılarak farklı kas eşdeğer sıvı modelleri oluşturulmuş, bu modeller üzerinde radyo frekans dalgaların meydana getirdiği ısı değişimleri belirlenmiştir. Böylece elektromanyetik alana maruz kalan bir insan vücudunda elektromanyetik enerji emiliminin temel etkisi olan ısınmanın kas dokusu üzerine etkileri bu farklı modeller üzerinde incelenmiştir. Çalışmada kas dokusunun elektriksel karakteristikleri göz önüne alınarak, incelenen farklı frekanslar için eşdeğer kas fantom sıvıları oluşturulup modeller üzerinde elektromanyetik alan maruziyetinin oluşturduğu ısı değişimleri ölçülmüştür. Özdiñç Polat L.N. ve S. Çömlekçi çalışmalarında HFSS programı kullanarak, farklı frekanslar için kas dokusunun elektriksel özelliklerini göz önüne alarak farklı silindirik kas modelleri oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu modeller üzerinde özgül soğurma oranı değişimleri incelenmiştir (Özdiñç Polat L.N. vd., 2016).

Literatürde farklı kas fantom modelleme çalışmaları bulunmaktadır (Watanabe, S., vd., 2000; Hartsgrrove,

G., 1987; ARIB, 1998; Chou, C., 1984; Wang, C., 2005). C. Chou ve arkadaşları içeriğinde, TX-150, sodyum klorür, ve polietilen toz (200-2.450 MHz için) veya alüminyum tozu (13.56-100 MHz için) bulunan kas dokusu fantom modellerini farklı frekanslar için hazırlamışlardır (Chou, C. vd., 1984). Leonard J. B. ve arkadaşları 27 ve 2450 MHz frekansları için hazırlanan fantom modellerin termal iletkenlik, özgül ısı, yoğunluk ve ısı yayılım özelliklerini incelemişlerdir (Leonard, J.B. vd., 1984). Surowiec ve arkadaşları hipertermi aplikatörlerinin farklı çeşitlerinin testi için poliakrilamid jel' den yapılmış bir kas malzemesi oluşturmuşlardır (Surowiec, A., vd., 1992). Watanabe ve arkadaşları 144 MHz, 430 MHz ve 1.2 GHz frekansları için su, NaCl, şeker, Hidroksietil selüloz (Hydroxyethylcellulose-HEC) ve Bacteriacide içeren kas eşdeğer sıvıları oluşturmuşlardır (Watanabe, S., vd., 2000).

Wang ve arkadaşları çalışmalarında 21.28 MHz, 63.85MHz ve 127.7MHz için kas, beyin, kemik dokuları içerisindeki ortalama SAR değerlerini ve sıcaklık artışını deneysel (eşdeğer materyal hazırlayarak) ve teorik olarak araştırmışlardır (Wang, C. vd., 2005)

M.Kahriman ve arkadaşları, insan fantom modelinde sıcaklık artışını gözlemlemek amacıyla bir sıcaklık ölçüm kartı tasarlamışlardır (M.Kahriman., vd., 2016). Literatürde incelenen kas dokusu eşdeğer sıvısı oluşturma çalışmalarında farklı frekanslar ve farklı ortam sıcaklıkları için eşdeğer sıvının içeriğinin ve karışım oranlarının değişimi ve ayrıca karışımın elektriksel özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir, elektromanyetik yayılımın kas eşdeğer doku içerisinde oluşturduğu ısı artışı ile ortalama SAR değişimleri ise bu çalışmada incelenen frekanslardan farklıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneysel Metot

Bu çalışmada elektromanyetik dalgaların kas dokusu üzerine etkilerini incelememizin sebebi insanlarda vücut ağırlığının yaklaşık 2/3 kadarının kas dokusundan oluşmasıdır. Bazı organlarda kas dokusu, deri ve yağ tabakanın hemen altında oluşur, deri ve yağ gibi nispeten ince koruyucular ile sarılmış olması, EM enerjiden etkilenmeyi artırmaktadır. Özellikle cep telefonu kullanımının yaygın olması ve kullanıcıya çok yakın mesafede olması nedeniyle 900 ve 1800 MHz frekansları, ayrıca 2.45 GHz kablosuz haberleşme frekansı ve medikal alanda kullanılan 27 MHz kısa dalga diatermi cihazının insan kas dokusu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu farklı çalışma frekanslarında elektromanyetik alana maruz kalınması durumu için, elektromanyetik enerji emiliminin başlıca etkisi olan ısınmanın kas dokusu üzerinde meydana getirdiği ısı değişimleri belirlenmiştir.

Çalışmada 27, 900 ve 2450 MHz frekanslarında eşdeğer vücut doku modelleri ve ayrıca 900 MHz için kas eşdeğer doku modeli oluşturulmuş ve bu doku modellerindeki sıcaklık artışlarını belirlemek için gerekli deney düzenekleri kurularak ölçümler yapılmıştır.

Çalışmanın deneysel kısmında 900,1800, 2450 MHz frekansları için enerji kaynağı olarak RF laboratuvar test vericisi (SET ELECO) cihazı ve bu cihaza ait monopol anten düzeni kullanılmıştır.

Deney başlangıcında ortamdaki RF enerjinin kontrol altında tutulması ve gözlenmesi amacıyla Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. Mim. Fak, Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölüm laboratuvarında portatif spektrum analizör (PROMAX MC-877C, Barcelona, Spain) kullanılmıştır. Ortamda istenmeyen elektromanyetik enerjinin gözlenmesi, frekansın ölçülmesi bu cihazla yapılmıştır. Alan değerlerinin ölçülmesi için ayrıca bir elektromanyetik alan ölçüm cihazı (HOLADAY HI-4417, Minnesota, USA) cihazı kullanılmıştır.

Hazırlanan fantom eşdeğer sıvıların içerisindeki sıcaklık değişimlerini gözlemek ve kaydetmek için platin sıcaklık sensörü (PT 104) ve bu cihaza ait datalogger (PICO PT100, Cambridgeshire, UK) sistemi kullanılmıştır. Kaydedilmiş bilgilerin işlenmesi için ise bir portatif bilgisayar kullanılmıştır.

2.2. Kas Fantom Modeli

Çalışmanın bu aşamasında insan vücut dokusunun 27, 900 ve 2450 MHz frekanslarındaki elektriksel özellikleri göz önüne alınarak fantom modelleri oluşturulmuş ve bu doku modellerindeki sıcaklık artışlarını belirlemek için gerekli deney düzenekleri kurularak ölçümler yapılmıştır. Oluşturulan fantom modellerde kullanılan materyaller ve yüzde olarak ağırlık oranları yüzdeleri tablo 1’de gösterilmiştir. Bu değerler ve oranlar literatürde yapılan vücut/kas fantom modellerindeki değerlerde alınmıştır (Harts Grove, G. vd., 1987; Durney, C.H., 1986.).

Tablo 1 ‘de 27, 900 ve 2450 MHz için hazırlanan ilk üç model Harts Grove ve Kraszewski çalışmalarında belirtilen doku eşdeğer materyallerinin karışım değer oranlarına göre hazırlanmıştır (Harts Grove, G. vd., 1987). 900 MHz için hazırlanan ikinci bir fantom model karışımı ise Harts Grove ve arkadaşlarının kas eşdeğer materyallerinin karışım değer oranlarına göre hazırlanmıştır [Harts Grove, G. vd., 1987; ARIB, 1998].

İlk olarak 900 MHz için Tablo 1’deki karışım-1 oluşturuldu ve gerekli deney düzeni kuruldu. Şekil 1a’da kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için kurulan deney düzeninin blok diyagramı gösterilmiştir. Şekil’1b de ise kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın saf suyun bulunduğu bir başka kabın içerisine konulması ve

antenin saf suyun bulunduğu kabın üzerine monte edilmiş durum için kurulan deney düzeninin blok diyagramı gösterilmiştir.

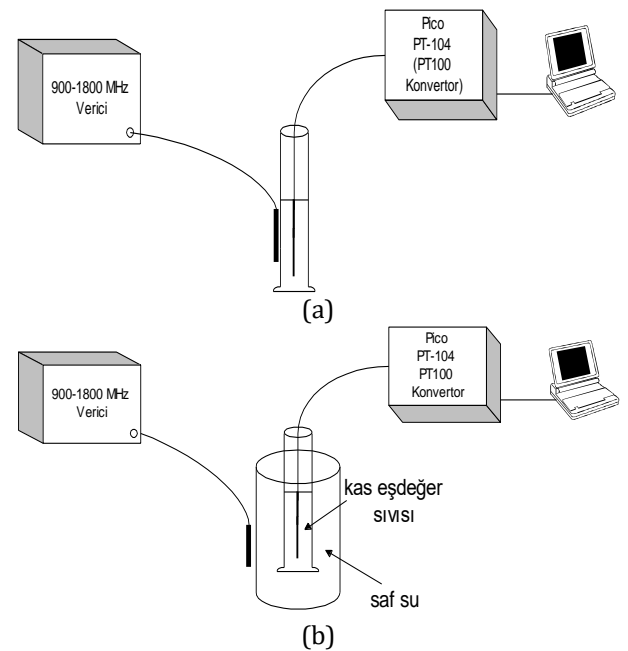
Tablo 1. Eşdeğer modellerde kullanılan materyaller ve ağırlık oranları.

Frekans (MHz)	Alüminyum Toz	NaCl	Poliyeten Toz	Su	HEC	Şeker	Koruyucu
27	9.3	0.16	-	87.44	3.0	-	0.1
900 (karışım-1)	-	1.0	20	75.9	3.0	-	0.1
2450	-	0.9	22	74	3.0	-	0.1
900 (Kas Dokusu -karışım2)	-	1.5	-	52.4	1.0	45.0	0.1

(HEC: Hydroxyethylcellulose)

Fantom modelleri hazırlama adımları şu şekildedir (Harts Grove, G. vd., 1987; Durney, C.H., 1986.):

- Kullanılacak materyallerin doğru ağırlıklarda tartılması
- Suyun 40 dereceye ısıtılması
- Tuz ve koruyucunun(bacteriacide) eklenerek karıştırılması
- Alüminyum toz, şeker veya polietilen tozun ilave edilmesi
- HEC’in ilave edilmesi ve karıştırmaya devam edilmesi
- Isının kaldırılması
- Karışımın sıklaşana kadar karıştırılması
- Oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulması



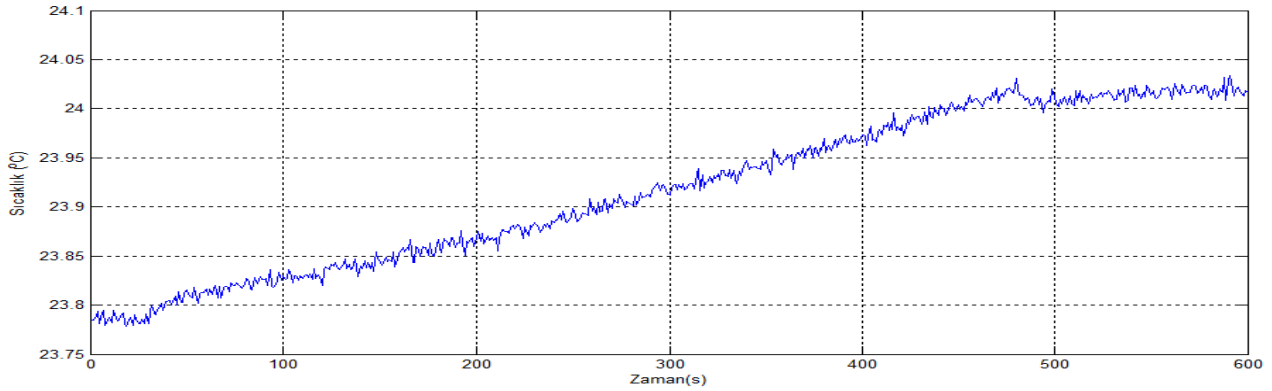
Şekil 1. a) Oluşturulan kas eşdeğer sıvısından sıcaklık artış ölçümüne ait deney düzeni
b) Oluşturulan kas eşdeğer sıvısının saf suyun içerisine konulması durumu için eşdeğer sıvının sıcaklık artış ölçümünün yapıldığı deney düzeni

3. Araştırma Bulguları

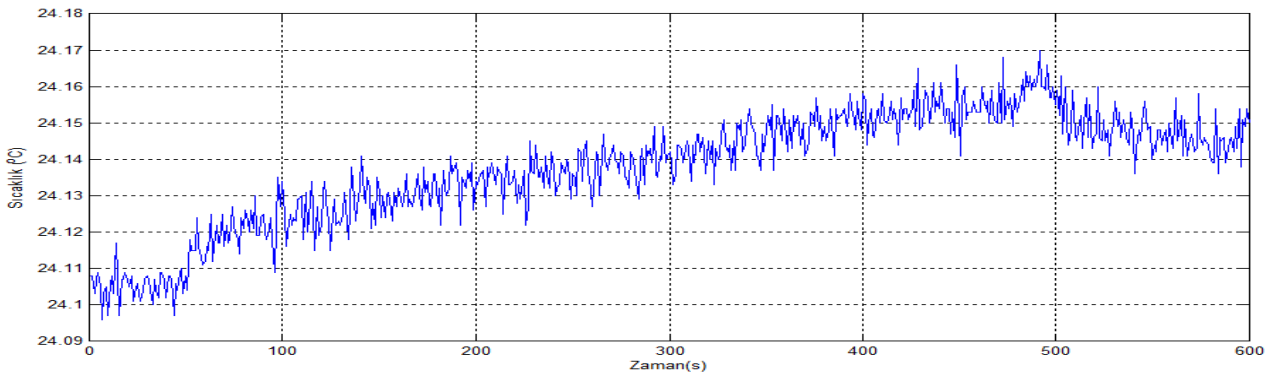
Çalışmada sıcaklık ölçüm cihazı kullanılarak farklı anten polarizasyonları için eşdeğer model içerisindeki sıcaklık değerlerinin değişimi kaydedilmiştir. Vericinin anteni, oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kabın üzerine ve daha sonrada karışımın bulunduğu kap içerisinde oda sıcaklığında saf su bulunan bir kabın içerisine yerleştirilerek, saf suyun bulunduğu kabın üzerine monte edilmiştir. Isı yalıtımını sağlamak için ölçüm alanının her tarafı straforlar kullanılarak yalıtılmaya çalışılmıştır. Vericinin model üzerinde oluşturduğu elektrik alan değeri yaklaşık olarak 15.5 V/m olarak ölçülmüştür. Şekil 2’de oluşturulan kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş bir antenin olması durumunda eşdeğer model içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu aşamada mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 32. sn de verici çalıştırılmış ve 480. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye kayıt alınmıştır.

Şekil 3’de oluşturulan kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş bir antenin olması durumu için eşdeğer model içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu aşamada da mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 50. sn de verici çalıştırılmış ve 505. sn de verici kapatılmış, toplamda ise yine 600 saniye kayıt alınmıştır.

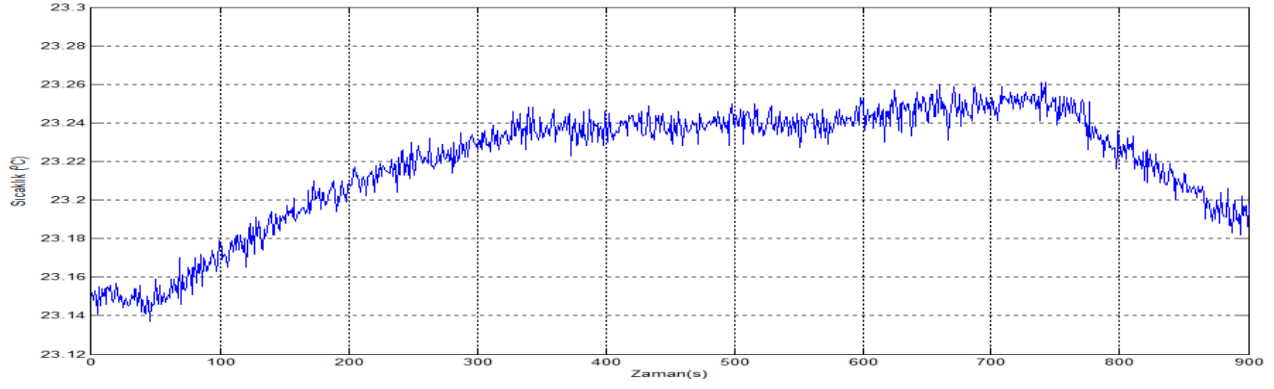
Şekil 4’de oluşturulan saf suyun bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş ve Şekil 5’de de oluşturulan saf suyun bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş bir antenin bulunması durumları için eşdeğer model içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu aşamada da yine mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 50. sn de verici çalıştırılmış ve 750. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 900 saniye kayıt alınmıştır.



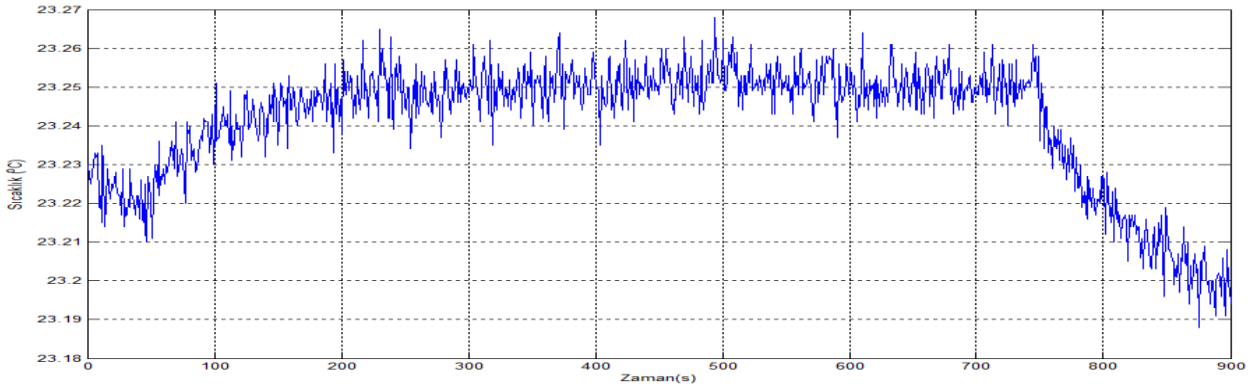
Şekil 2. 900 MHz (Karışım-1) için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.



Şekil 3. 900 MHz (Karışım-1) için karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.



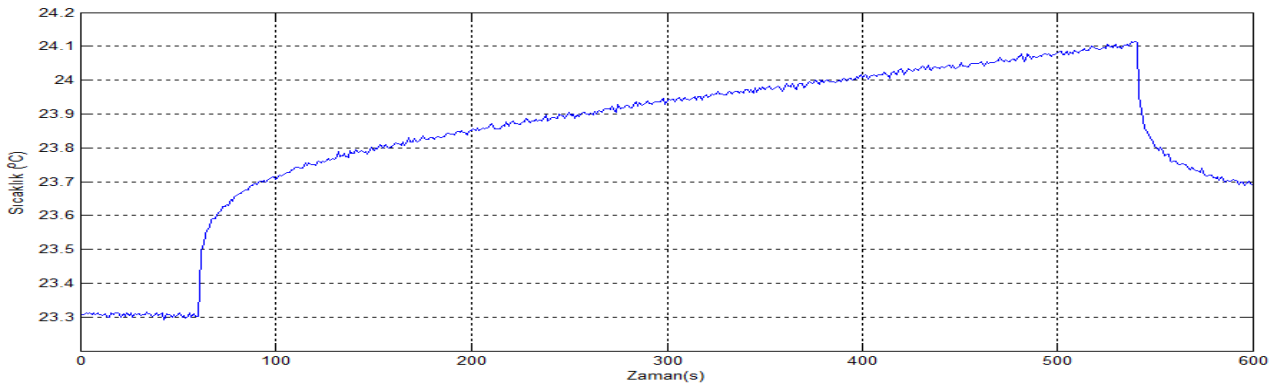
Şekil 4. 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.



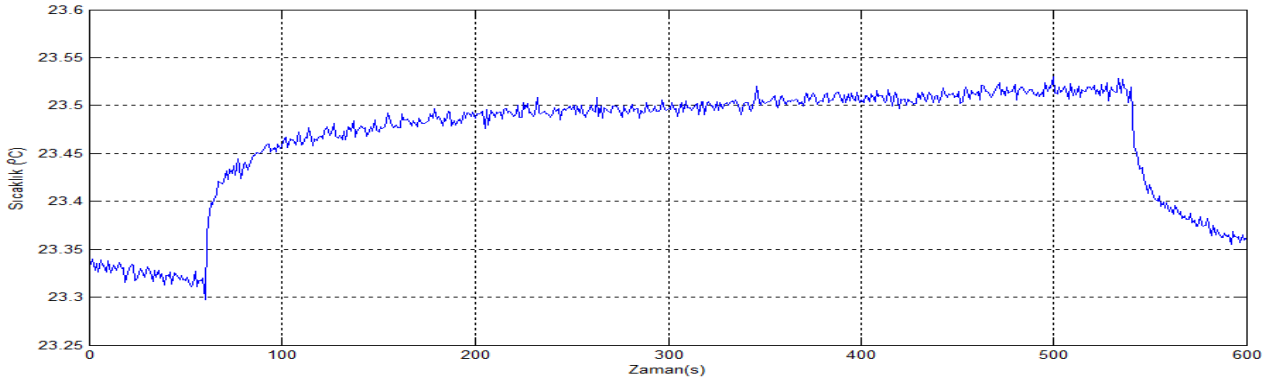
Şekil 5. 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.

Şekil 4 'deki değişime göre verici çalıştırdıktan sonraki 300 sn süresince sıcaklık artışı meydana gelmiş sonrasında ise yaklaşık aynı değerlerde kalmıştır. 900 MHz için elde edilmiş bu değişimler incelendiğinde vericinin devreye girmesi ile beraber fantom model içerisindeki sıcaklık yükselmeye başlamış, verici kapatıldıktan sonra ise yeniden soğumaya başlamıştır. 900 MHz için farklı içeriği olan kas doku eşdeğer sıvısı olarak tablo 1'deki karışım-2

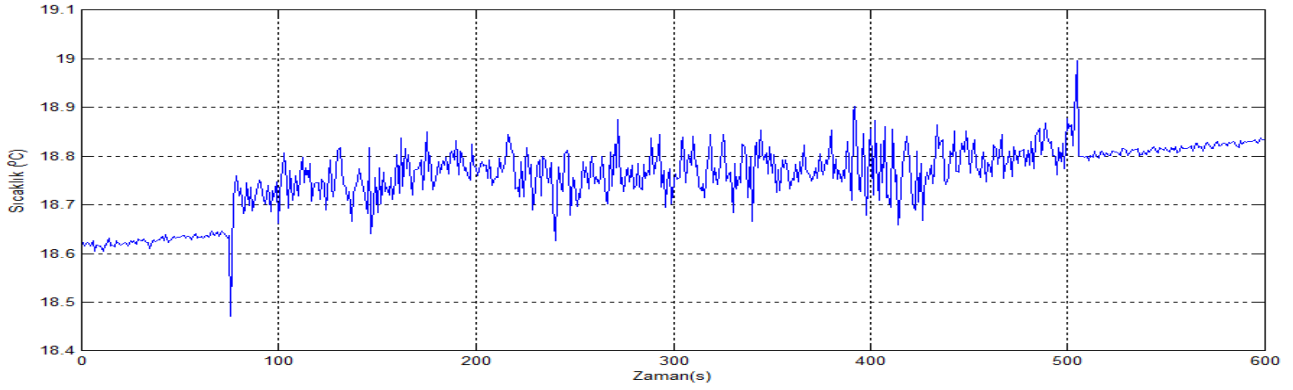
oluşturuldu (Hartsgrove, G. vd.,1987; ARIB,1998) ve gerekli deney düzeneği kuruldu. Şekil 6'da oluşturulan karışım- 2'nin bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş bir antenin bulunması durumunda eşdeğer model içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu aşamada da mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 60. sn de verici çalıştırılmış ve 540. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye kayıt alınmıştır.



Şekil 6. 900 MHz (Karışım-2) için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.



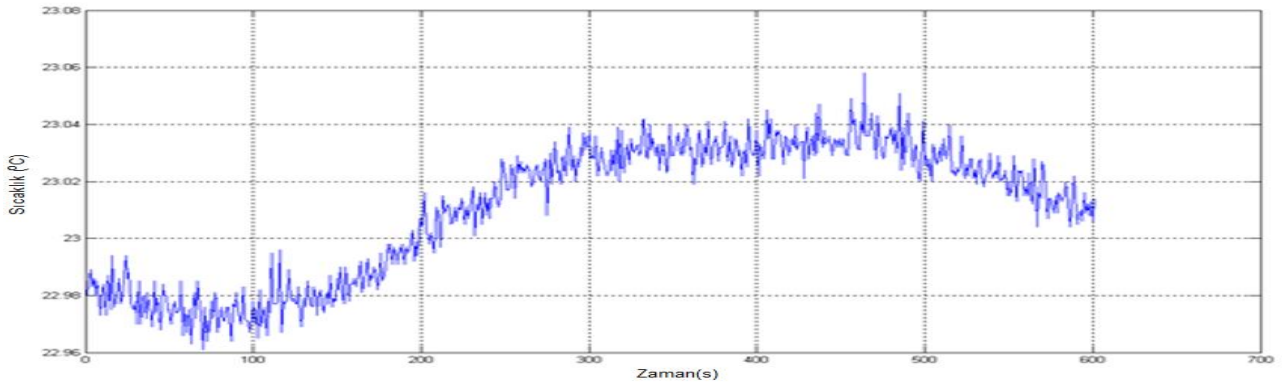
Şekil 7. 900 MHz (Karışım-2) için karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.



Şekil 8. Kısa dalga diatermi cihazının maruziyetinde karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.

Şekil 7'de oluşturulan kimyasal karışım-2'nin bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş bir antenin olması durumu için eşdeğer sıvı içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da yine mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 60. sn de verici çalıştırılmış ve 540 sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye kayıt alınmıştır. Şekil 8'de 27 MHz için oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kabın 10'ar cm uzağında kısa dalga diatermi cihazının elektrotlarının bulunması durumu için eşdeğer sıvı içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu aşamada da mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya

başlanmış ve 76. sn de verici çalıştırılmış ve 515 sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye kayıt alınmıştır. Şekil 9'da 2450 MHz için oluşturulan kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş bir antenin olması durumunda eşdeğer model içerisindeki sıcaklık artışının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da yine mevcut oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 60. sn de verici çalıştırılmış ve 460.sn de verici kapatılarak kayıt alınmıştır. Şekil 9'dan görüleceği üzere verici çalıştırıldığı andan itibaren eşdeğer sıvı içerisindeki sıcaklık yükselmekte, verici kapatıldığı andan itibaren ise sıcaklık değeri düşüşe geçmektedir.



Şekil 9. 2450 MHz için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada 900 MHz ve 1800 MHz çalışma frekanslarındaki cep telefonlarının, 2.45 GHz çalışma frekansındaki kablosuz haberleşme cihazlarının ve ayrıca 27.12 MHz frekansındaki tıbbi fizyoterapi tedavi cihazının (kısa dalga diatermi cihazı) insan kas dokusu üzerindeki olası etkilerini belirlemek için kas eşdeğer sıvısı modelleri oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen kas eşdeğer sıvısı modellerinde özellikle 900, 1800 ve 2450 MHz frekanslarında bir elektromanyetik alana maruz kalınmasının doku içerisinde sıcaklık yükselmesine neden olduğu gözlemlenmiştir.

Kas eşdeğer sıvısı modellemelerinde, farklı frekansların ve farklı anten polarizasyonlarının kas eşdeğer modeli içerisinde neden olduğu ısıl değişimlerde farklılıklar meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır. 900 MHz frekansında saf suyun bulunduğu kabın üzerinde anten bulunması durumu için kas eşdeğer sıvısının içerisindeki sıcaklığın, alan maruziyetinin başlamasından sonra belirli bir süre yükseldiği ve sonrasında yaklaşık yatay bir biçimde değiştiği, vericinin kapatılmasından sonra ise kas eşdeğer sıvı sıcaklığının yeniden mevcut ortam sıcaklığına düşme eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışılan diğer frekanslar için oluşturulan kas eşdeğer sıvıları için de vericilerin çalıştırılmasıyla beraber sıvı içerisindeki sıcaklığın artmaya başladığı, vericilerin kapatılmasıyla da yeniden ortam sıcaklığına düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma YL 2676-11 No'lu proje olarak Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), 1998. ARIB-STD- T56, Specific Absorption Rate (SAR) Estimation for Cellular Phone.

Chou, C., Chen, G., Guy, A.W., Luk, K.H., 1984. Formulas for preparing phantom muscle tissue at various radiofrequencies. *Bioelectromagnetics* 5, pp. 435-441.

Durney, C.H., 1986. *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*.

Hartsgrove, G., Kraszewski, A., Surowiec, A., 1987. *Simulated Biological Materials for Electromagnetic Radiation Absorption Studies*. *Bioelectromagnetics* 8, pp. 29-36.

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

M. Kahrman et al., "Low Cost System Design to Measure and Analyze of Temperature Rise Caused by 2450 MHz RF Energy in Human Phantom Model", *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, Vol. 27, pp. 92-102, 2016.

N. Pasquino, Measurement and analysis of human exposure to electromagnetic fields in the GSM band, *Measurement*, Volume 109, 2017, Pages 373-383.

Özdiñç Polat L.N., *Elektromanyetik Alan Yayıncı Cihazların Kas Dokusunda Oluşturduğu Etkinin Modellenmesi Ve Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.

Özdiñç Polat L.N., Çömlekçi S. , "Modelling of SAR Distribution and Temperature increase in muscle tissue of electromagnetic field exposure ", *TIPTEKNO 2016, ANTALYA, TÜRKİYE*, 27-29 Ekim 2016, ss.1-1.

Sevgi L., 2000. *Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları*. EMO İstanbul Şubesi Bülteni, Ocak-Temmuz 2000 sayısı.

Surowiec, A., Shrivastava, P.N., Astrahan, M., Petrovich, Z., 1992. Utilization of a multilayer polyacrylamide phantom for evaluation of hyperthermia applicators. *International journal of hyperthermia*, Vol. 8, No. 6, 795-807.

T. Wessapan, P. Rattanadecho, Temperature induced in human organs due to near-field and far-field electromagnetic exposure effects, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 119, 2018, Pages 65-76.

Wang, C., Shen, G.X., Yuan, J., Qu, P., Wu, B., 2005. Theoretical and experimental investigation of the relationship among SAR, tissues and radio frequencies in MRI. *Physica Medica*, Vol 21; Num 2, pages 61-64.

Watanabe, S., Akiyama, Y., Ishikawa, R., Yamanaka, Y., 2000. Tissue-equivalent liquid for experimental estimation of local SAR caused by hand-held amateur radio communication devices. *Proceedings of the 2000 International Symposium on Antennas and Propagation*, vol.1, pp.241-244.