

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROMANYETİK ALAN YAYICI CİHAZLARIN KAS  
DOKUSUNDA OLUŞTURDUĞU ETKİNİN  
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

**Lütfiye Nurel ÖZDİNÇ POLAT**

**Danışman: Yrd.Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA -2011**

## TEZ ONAYI

Lütfiye Nurel ÖZDİNÇ POLAT tarafından hazırlanan “**Elektromanyetik Alan Yayıcı Cihazların Kas Dokusunda Oluşturduğu Etkinin Modellenmesi ve Analizi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ (İmza)

Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Yrd.Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN (İmza)

Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE (İmza)

Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

**Doç.Dr.Mehmet Cengiz KAYACAN**

**Enstitü Müdürü V.**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Elektromanyetik Alanlara İlişkin Temel Bilgiler.....	3
2.2. Alan Kavramı.....	3
2.3. Elektromanyetik Alanın Kaynağı.....	3
2.4. Elektromanyetik Vektörel Alanlar.....	3
2.5. Elektromanyetik Dalgaların Yayılımı.....	5
2.6. Özgül Soğurma Oranı(SAR).....	8
2.7. Radyo Frekansıyla Çalışan Cihazlar.....	9
2.7.1. Kısa dalga diatermi cihazı.....	9
2.8. Elektromanyetik Kirlilik.....	10
2.8.1. Biyoelektromanyetik ile ilgili kuruluşlar, standartlar ve limitler.....	10
2.9. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri.....	13
2.10. Kas Fantom Modeli Oluşturma Hakkında Literatürdeki Çalışmalar.....	15
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1. Kas Fantom Modelleri.....	17
3.2. Kas Doku İçerisindeki SAR Dağılımının ve Isı Artışının Matematiksel Modeli .....	26
3.3. HFSS Programı Kullanılarak Silindirik Kas Modelin Oluşturulması.....	28
3.3.1. Benzetime hazır silindirik model.....	28
3.3.2. Model üzerinde elde edilen simülasyon sonuçları.....	29
3.3.2.1. Silindirik model üzerindeki dikey kesit için elde edilen simülasyon sonuçları.....	29

3.3.2.2. Silindirik model üzerindeki yatay kesit için elde edilen simülasyon sonuçları.....	40
3.4. HFSS Programı Kullanılarak Silindirik Üç Katmanlı Modelin Oluşturulması...	54
3.4.1. Üç katmanlı silindirik model üzerinde elde edilen simülasyon sonuçları .....	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	60
6. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## ELEKTROMANYETİK ALAN YAYICI CİHAZLARIN KAS DOKUSUNDA OLUŞTURDUĞU ETKİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

L. Nurel ÖZDİNÇ POLAT

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

Bu tez çalışmasında günlük hayatta maruziyetinden sakınılamayan farklı frekanslardaki cihazların oluşturduğu elektromanyetik yayılımın kas dokusu üzerine etkilerini incelemek amaçlı 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, özellikle 900 ve 1800 MHz frekanslarındaki cep telefonu ve 2.45 GHz frekansındaki kablosuz haberleşme cihazlarının ve ayrıca 27.12 MHz frekansındaki tıbbi fizyoterapi tedavi cihazlarının (kısa dalga diatermi) insan kas dokusu üzerine etkilerini belirlemek amaçlı modeller oluşturulmuştur. Çalışmada kas dokusunun elektriksel özellikleri göz önüne alınarak oluşturulan bilgisayar simülasyonlarında özgül soğurma oranı (SAR) ve elektrik alan değerleri belirlenmiş ve ayrıca farklı frekanslar için doku eşdeğer sınırları oluşturularak, bu fantom model üzerinde elektromanyetik maruziyetin oluşturduğu ısıl değişimler ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik alan, kas dokusu, özgül soğurma oranı

2011, 65 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **MODELLING AND ANALYSING OF EFFECT IN MUSCLE TISSUE FOR ELECTROMAGNETIC FIELD EMITTING DEVICES**

**L. Nurel ÖZDİNÇ POLAT**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Electronics and Communication Engineering Department**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**

In this thesis, 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, especially the 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), and models are aimed for determining their effects on human muscle tissue. By taking into consideration the electrical properties of muscle tissue in the study, computer simulations were created for determining the specific absorption rate (SAR) and electric field values, and also, tissue equivalent liquids were made for different frequency values. Thermal changes in this phantom were measured for validation on the model of electromagnetic exposure as well.

**Key Words:** Electromagnetic field, muscle tissue, specific absorption rate

**2011, 65 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bilgi ve tecrübesi ile yardımcı olan Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk Çömlekçi'ye, çalışmaya destek ve katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Mesud Kahriman'a, Yrd. Doç. Dr. Özlem Selçuk Kuşçu 'ya, Dr. Sedat Yıldız'a teşekkürlerimi sunarım.

YL 2676-11 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 aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

L.Nurel ÖZDİNÇ POLAT

ISPARTA, 2011

## ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 3.1. a) Oluşturulan eşdeğer sıvı içerisinde sıcaklık artış ölçümünün yapıldığı deney düzeneği, b) Oluşturulan eşdeğer sıvının saf suyun içerisine konulması durumu için eşdeğer sıvı içerisinde sıcaklık artış ölçümünün yapıldığı deney düzeneği.....19
- Şekil 3.2. 900 MHz (Karışım-1) için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi..20
- Şekil 3.3. 900 MHz (Karışım-1) için karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi..21
- Şekil 3.4. 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi..22
- Şekil 3.5. 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi..22
- Şekil 3.6. 900 MHz (Karışım-2) için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.23
- Şekil 3.7. 900 MHz (Karışım-2) için karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi..24
- Şekil 3.8. Kısa dalga diatermi cihazının maruziyetinde karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.....25
- Şekil 3.9. 2450 MHz için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi.....26
- Şekil 3.10. 900 MHz çalışma frekansında 6 dakikalık maruziyet sonucu kas doku içerisinde meydana gelen sıcaklık artışının matematiksel model kullanılarak hesaplanan değişimi.....27
- Şekil 3.11. Basit silindirik modelin görünüşü ve model üzerinde kesit alınması.....28
- Şekil 3.12. Elektrik Alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda basit silindirik modelin önden görünüşü ve model üzerinde dikey kesit alınması.....30
- Şekil 3.13. Dikey kesit üzerinde 27 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....30
- Şekil 3.14. Dikey kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....31
- Şekil 3.15. Dikey kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....33
- Şekil 3.16. Dikey kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının



önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	34
Şekil 3.17. Elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda basit silindirik modelin önden görünüşü ve model üzerinde dikey kesit alınması.....	35
Şekil 3.18. Dikey kesit üzerinde 27 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	36
Şekil 3.19. Dikey kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	37
Şekil 3.20. Dikey kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	38
Şekil 3.21. Dikey kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	39
Şekil 3.22. Elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda, basit silindirik modelin a)önden görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması b) üstten görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması.....	40
Şekil 3.23. Yatay kesit üzerinde 27 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	42
Şekil 3.24. Yatay kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	43
Şekil 3.25. Yatay kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	44
Şekil 3.26. Yatay kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	45
Şekil 3.27. Elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda basit silindirik modelin a) önden görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması b) üstten görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması.....	46
Şekil 3.28. Yatay kesit üzerinde 27 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü .....	47
Şekil 3.29. Yatay kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının	

üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü .....	48
Şekil 3.30. Yatay kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü .....	49
Şekil 3.31. Yatay kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	50
Şekil 3.32. 900 MHz’de elektrik alan bileşenin paralel olması ve kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellik değerlerinin aynısının kullanılması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	52
Şekil 3.33. 900 MHz’de elektrik alan bileşenin dik olması ve kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellik değerlerinin aynısının kullanılması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü.....	53
Şekil 3.34. Üç katmanlı silindirik modelin önden görünüşü.....	54
Şekil 3.35. 900 MHz de a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	55
Şekil 3.36. 1800 MHz de a) SAR dağılımının önden görünüşü, b)Elektrik alan dağılımının önden görünüşü.....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler.....	12
Çizelge 3.1. Eşdeğer modellerde kullanılan materyaller ve ağırlık oranları.....	18
Çizelge 3.2. Kas doku içerisindeki matematiksel olarak hesaplanan SAR değerleri ve sıcaklık artış miktarları.....	27
Çizelge 3.3. Silindirik kas modeli için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametre değerleri.....	29
Çizelge 3.4. Üç katmanlı silindirik kas modeli için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametre değerleri.....	55

## SİMGELER DİZİNİ

E	Elektrik alan şiddeti
B	Magnetik akı yoğunluğu
D	Elektrik akı yoğunluğu (yer değiştirme vektörü)
H	Magnetik alan şiddeti
J	İletken akım yoğunluğu
v	Hız
q	Yük
F	Kuvvet
$\sigma$	İletkenlik
$\epsilon$	Dielektrik katsayısı
$\mu$	Manyetik geçirgenlik
$\lambda$	Elektromanyetik dalganın dalga boyu
f	Frekansı
Z	Dalga empedansı
P	Poynting vektörü
$\vec{k}$	Dalga yayılım yönü
$\delta$	Deri kalınlığı
SAR	Özgül soğurma oranı
$\rho$	Yoğunluk
c	Spesifik ısı kapasitesi
w	Açısal frekans
$\rho_t$	Doku yoğunluğu
$c_t$	Dokunun spesifik ısısı
T	Dokunun sıcaklığı
$W_b$	Kan perfüzyon oranı
$c_b$	Kanın spesifik ısısı
$T_a$	Arter kan sıcaklığı
k	Dokunun termal iletkenliği
x	Deri yüzeyinden olan mesafe

## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektromanyetik alan yayan cep telefonları ve kablosuz haberleşme cihazlarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca elektromanyetik alan yayan elektronik cihazların tıbbi alanlarda da kullanımı yaygınlaşmaktadır. Elektromanyetik alan yayan cihazların insan sağlığı üzerine zararlı etkileri olduğu ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Özellikle cep telefonlarından yayılan 900 MHz frekanslı radyo frekans dalgalarının insan dokularına etkisini belirlemeye yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Cep telefonlarının yaydığı radyo frekans dalgalarına insanlar iki farklı şekilde maruz kalmaktadırlar. Cep telefonlarından yayılan radyo frekans dalgaları insan vücudunda en çok kafa kısmını etkilerken, baz istasyonlarından yayılan dalgalar ise insan vücudunun tamamını etkilemektedir. Yine benzer şekilde farklı frekanslarda elektromanyetik alan yayan diğer kablosuz haberleşme cihazların kullanımı da insan vücudu üzerinde etkiler oluşturabilmektedir (Sevgi, 2000).

Bu tez çalışmasında özellikle farklı çalışma frekanslarında çalışan; tıbbi fizyoterapi tedavi (kısa dalga diatermi-27.12 MHz) cihazları, cep telefonları ve kablosuz haberleşme cihazlarının (900, 1800 ve 2450 MHz frekanslarında), insan kas dokusu üzerine etkileri incelenmiştir. Bu farklı çalışma frekansları için kas dokusunun elektriksel özellikleri kullanılarak farklı kas modelleri oluşturulmuş, bu modeller üzerinde özgül soğurma oranı değerleri ve radyo frekans dalgaların yarattığı ısı etkileri belirlenmiştir. Böylece elektromanyetik alana maruz kalan insan vücudunda elektromanyetik enerji emiliminin başlıca etkisi olan ısınmanın kas dokusu üzerine etkileri bu farklı modeller üzerinde incelenmiştir. Çalışmada kas dokusunun elektriksel özellikleri göz önüne alınarak çalışılan farklı frekanslar için eşdeğer fantom sıvıları oluşturulup modeller üzerinde elektromanyetik maruziyetin oluşturduğu ısı değişimleri ölçülmüştür. Daha sonra bilgisayar ortamında HFSS programı kullanılarak silindirik bir kas yapısı modeli oluşturulup farklı anten polarizasyonları için kas doku modeli içerisindeki özgül soğurma oranı (SAR) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca HFSS programı kullanılarak deri, yağ ve kas dokudan

oluşan üç katmanlı silindirik bir model oluşturmuş olup 900 ve 1800 MHz frekansları için kas doku üzerindeki SAR değerleri belirlenmiştir.

Elektromanyetik dalgalara ilişkin temel ve kullanım yerlerine ilişkin genel bilgiler ışığında elektromanyetik dalgaların biyolojik dokulara ve özellikle kas dokusuna etkimesiyle doku içerisindeki sıcaklık artışı her frekans için tekrarlamalı olarak ölçülüp kaydedilmiştir. Ayrıca ısı artış hızını özgül soğurma oranına çeviren matematiksel eşitlikler kullanılmış ve SAR değerleri hesaplanmıştır. Yapılan bilgisayar simülasyonlarında dört farklı frekans ve iki temel polarizasyon sonucu elde edilen SAR değerleriyle, matematiksel eşitlikler kullanılarak hesaplanmış SAR değerleri karşılaştırılmış ve benzer koşullarda insan hedef kas dokusunda açığa çıkması beklenen ortalama SAR oranı belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Elektromanyetik Alanlara İlişkin Temel Bilgiler

Elektromanyetik alanlar elektrik mühendisliğinin temel konularından birisidir. Maxwell denklemlerinden faydalanarak çeşitli teorik ve deneysel çalışmaların neticesinde birçok uygulama alanları ortaya çıkmıştır (Şeker ve Çerezci, 2000).

### 2.2. Alan Kavramı

Alan, bir fiziksel büyüklüğün zamana bağlı olarak uzaysal dağılımıdır. Alanlar, vektörel ve skaler olmak üzere ikiye ayrılır. Bir vektör alanın büyüklük ve yönü uzay ve zamana bağlı olarak tanımlanır. Skaler alan ise, uzayın herhangi bir noktasında ve herhangi bir andaki büyüklüğü ile tanımlanabilir. Alanlar zamana bağlı olup olmamalarına göre, statik ve dinamik alan olarak isimlendirilir. Hiçbir fiziksel büyüklüğün sonsuza değin durağan kalması düşünülemez. Zaman değişimi küçük olduğunda, o fiziksel büyüklüğün statik olduğu söylenir (Şeker ve Çerezci, 2000).

### 2.3. Elektromanyetik Alanın Kaynağı

Elektrik yükü, uzunluk ve zaman gibi temel büyüklüktür. Yani diğer büyüklükler cinsinden tanımlanamaz. Yükler durağan ve hareketli olsun, diğer yükler üzerine kuvvet uygularlar. Bu kuvvetlerin oluşturduğu alanlara elektromanyetik alanlar denir (Şeker ve Çerezci, 2000).

### 2.4. Elektromanyetik Vektörel Alanlar

Elektromanyetik alan hareketli veya hareketsiz elektriksel yükler arasında etkileşmenin iletimi olarak tanımlandığı gibi **E**, **B**, **D**, **H** vektörlerinin bir tanım cümlesi olarak tarif edilebilir (Şeker ve Çerezci, 2000).

**E**= elektrik alan şiddeti (V/m)

**B**= magnetik akı yoğunluğu ( $\text{Wb/m}^2$ )

**D**=elektrik akı yoğunluğu (yer değiştirme vektörü) ( $\text{C/m}^2$ )

**H**=magnetik alan şiddeti ( $\text{A/m}$ )

Elektrik alan birim y¼ke etki eden kuvvet olarak tanımlanır. Bu kuvvetin yön¼ artı yükten eksi yük¼ doğrudur. Elektrik alanlar yönl¼ oklarla gösterilir (Sevgi, 2004).

Manyetik alan, bir noktada  $v$  hızıyla hareket eden bir  $q$  yük¼nde ( $F$ ) kuvvetini oluşturan alan vektör¼dür. Manyetik alan çizgileri kendileri üzerinde kapanan ve akımı çevreleyen çizgilerdir.

- İletkenlik,  $\sigma$  iletken akım yoğunluğunun elektrik alan şiddetine oranıdır ve metre başına Siemens birimi ile ölç¼l¼r ( $\sigma=J/E$  [ $\text{S/m}$ ]).
- Dielektrik katsayısı,  $\epsilon$  elektrik akı yoğunluğunun elektrik alana böl¼nmesiyle tanımlıdır ( $\epsilon =D/E$  [ $\text{F/m}$ ]).
- Manyetik geçirgenlik,  $\mu$  manyetik akı yoğunluğunun manyetik alana oranı olarak tanımlanır ( $\mu=B/H$  [ $\text{Henry/m}$ ]).

¼ç parametre ile belirlenen ortamlar elektriksel olarak değişik gruplara ayrılırlar: İletken malzemeler ( $\sigma \neq 0, \mu = \mu_0$ ) yapılarında serbest hareket edebilen elektronları barındırırlar. Serbest elektronlar yalıtkan malzemelerin ( $\sigma = 0, \mu = \mu_0$ ) yapılarında bulunmazlar ve EM davranış içerisinde bir anlamda pasif yapılar olarak yer alırlar. Kayıplı malzemeler ( $\sigma \neq 0, \sigma \neq \infty, \mu = \mu_0$ ) içlerinde sınırlı oranda serbest elektronu bulunan malzemelerdir. Manyetik malzemeler ( $\mu \neq \mu_0$ ) manyetik alanı iyi bir şekilde kılavuzlama özelliğine sahip olan malzemelerdir (Sevgi, 2004).

Elektrik yük¼lerinin elektromanyetik alanın kaynağı olması nedeniyle **E, B, D, H** alan vektörleriyle ilişkisi vardır. Bu ilişki ondokuzuncu yüzyılda Maxwell isimli fizikçi tarafından Maxwell denklemleri ile ortaya çıkarılmıştır. Maxwell denklemlerinin integral formu (şeker ve Çerezci, 2000).



Faraday kanunu:

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \cdot da \quad (2.1)$$

Amper çevre kanunu:

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \cdot da + \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \cdot da \quad (2.2)$$

Manyetik alan için Gauss kanunu:

$$\oint_{\Sigma} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \cdot da = 0 \quad (2.3)$$

Elektrik Alan için Gauss kanunu:

$$\oint_{\Sigma} \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \cdot da = \int_V \rho dv \quad (2.4)$$

olarak dört adet bağıntıyla ifade edilir.

## 2.5. Elektromanyetik Dalgaların Yayılımı

EM dalgalar zamanla değişim gösteren bir akım kaynağı tarafından yaratıldığında kaynağın çevresine belli bir hızda yayılır. Dalga yayılımı olarak adlandırılan bu olay sistemlerin temas etmeden de birbirleri ile etkileşimini sağlar. Boşlukta ışık hızı ( $c=3 \times 10^8$  m/s) ile ilerleyen bir dalganın değişim yapısı ilerlediği yönde belirli aralıklar ile kendisini tekrar eder. Bu tekrarlar uzaklığı EM dalganın dalga boyu ( $\lambda$ ) olarak adlandırılır. Boşluk için dalga frekansı ile  $c=f \times \lambda$  bağıntısı ile birbirlerine bağlıdır (Sevgi, 2004).

EM dalgalar karmaşık yapılardan yayılırlar bile kaynaklarından uzaklaştıkça küresel ve düzlemsel dalgalara dönüşürler. Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine ortam parametreleri ile tanımlı dalga empedansı ( $Z$ ) ile bağlanır. Bu değer kaynaktan yeterince uzakta  $Z_0 = E/H = 377 \Omega$  olup, boşluk dalga empedansı adını alır. Karmaşık yapılardan yayılmalarına karşın EM dalgalar kaynaklarını saran bir küre üzerinde her yöne, kaynağın yapısına bağlı olarak, değişik şiddetlerde yayılırlar. Enerjilerini kaynaktan uzaklaştıkça daha geniş bir yüzeye yayarak etkilerini azaltırlar (Sevgi, 2004).

Düzlem dalga yayılımında elektrik alanının bir noktadaki zamanla değişen davranışı polarizasyon olarak adlandırılır. Bir başka deyişle elektrik alan vektörünün zamanla çizdiği şekle dalga polarizasyonu adı verilir. Başlıca polarizasyon biçimleri lineer polarizasyon ve eliptik polarizasyondur. Lineer polarizasyonun iki özel şekli vardır; yatay ve düşey polarizasyon. Eğer elektrik alan vektörü dalga ilerlediği sürece yeryüzüne dik ise düşey polarizasyon, paralel ise yatay polarizasyon adı verilir. Örneğin televizyon ve frekans modülasyonlu dalga yayınları çoğunlukla yatay polarizasyonlu iken genlik modülasyonlu radyo yayınları, kara-deniz uzak mesafe haberleşmeleri genelde düşey polarizasyonlu dalgalarla gerçekleşir. Eliptik polarizasyonun bir özel hali dairesel polarizasyondur (Sevgi, 2004).

Bir etki olan elektromanyetik dalga, bu etkiye kaynaklık eden enerjisini elektrik ve manyetik alanı yardımı ile taşır. Elektrik alan ile manyetik alanın çarpımı güç yoğunluğu boyutundadır, P harfi (bazı kaynaklarda S harfi ) ile gösterilir ve Poynting vektörü olarak da isimlendirilir. Özellikle, düzlem dalga için  $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$  [W/m<sup>2</sup>] şeklinde verilir. Poynting vektörünün yönü dalganın ilerleme yönünü (enerjisini taşıdığı yön) gösterir. Elektrik alan, manyetik alan ve Poynting vektörü aralarında sağ el kuralı ile bağlıdırlar (baş parmak, diğer dört parmağa dik olacak şekilde avuç açıldığında; baş parmak elektrik alanı, dört parmak yönü manyetik alanı avuç içine dik doğrultu ise dalga yayılım yönünü gösterir).

Kaynaklardan yeterince uzakta, elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirine, dalga yayılım yönü de her iki bileşene dik ise buna düzlem dalga yayılımı denir. Dalga yayılım yönü  $\vec{k}$  vektörü ile gösterilir. Düzlem dalgalarda  $E/H=Z_0 = 377 \Omega$  geçerlidir. Gerçekte üç boyutlu uzayda bir noktasal kaynaktan yayılan EM dalgalar küresel yayılırlar. Kaynaktan yeterince uzakta söz konusu küre üzerinde bir noktada küresel yayılım yüzeyi yerine düzlemsel bir yüzey kullanılabilir. Bu bir yaklaşıklık ve kaynaktan yeterince uzakta oldukça iyi sonuç verebilmektedir (Sevgi, 2004).

Elektromanyetik dalgaların iletken cisimlere nüfuz etmedikleri kabul edilse de mükemmel olmayan iletken cisimlere bir miktar nüfuz edebilirler. EM dalgalar iletken ortam içerisinde ilerledikçe genlikleri üstel olarak azalır. Bu zayıflamanın hızı

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

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad [\text{m}] \quad (2.5)$$

denklemleri ile verilir.

Elektromanyetik dalgalar saçılırlar. Saçılmanın etkileri bakımından birincil ve ikincil bileşenleri söz konusudur. Birincil etkiler yansımaya ve kırılmadır. İkincil etkiler ise kırınım başlığı altında toplanır. Bir düzleme belli bir açıyla gelen bir elektromanyetik dalga düzlemlerle aynı açıya sahip olarak yansır ve her iki ortamın parametrelerine bağlı olarak değişen bir açıyla da ikinci ortama kırılarak geçer (Snell yasası diye bilinir). Bu etkiler her iki ortamın parametreleriyle belirlenen ve yansımaya ve kırılma katsayısı denen parametrelerle modellenir. Yansımaya ve kırılmaya, elektromanyetik dalganın yatay ya da düşey polarizasyonlu olmasına göre oldukça değişir. Örneğin, yatay polarizasyonlu dalganın düzleme geliş açısına göre yansımaya katsayısının fazı ve genliği biraz değişirken, düşey polarizasyonlu dalgalarda aykırı durumlar oluşabilir.

Düşey polarizasyonlu dalgalarda hemen hiç yansımadağı geliş açısına Brewster açısı denir ve bu açılarda gelen dalga yansımaz, yüzeye kupule olup yüzeyi yalayarak ilerler. Yüzey dalgası adı verilen bu dalga değişik yapılarda elektromanyetik yayılım amaçlı olarak kullanılır. Bu durum yatay polarizasyonda söz konusu değildir.

Yansımaya ve kırılmaya dışındaki ikincil etkiler kırınım etkileri adı altında toplanır. Ortamlardaki süreksizliklerin ayrıtlarından (kenar, köşe gibi) saçılmaları kapsar. Örneğin, metal, içi boş ve üzerinde yarık olan bir küre ya da silindirde yarıkların kenar ve köşelerinden saçılmalar olur. Bu ayrıtlara gelen dalgalar ikincil birer kaynak gibi değişik yönlere saçılırlar. Örneğin köşeler bir noktasal kaynak gibi her yöne dalga saçarlar. Elektromanyetik dalgalar eğrisel yüzeyleri yalayarak izleyebilir ve arkadaki gölge bölgelere ulaşabilirler. Hatta bir küreyi çepeçevre dolaşarak geriye gelebilirler. Yarık boyutları (eni ya da boyu) elektromanyetik dalga boylarında

olduğunda yarıklardan içeri sızıntı olabilir. İçeri sızan elektromanyetik dalgalar içeride ardışıl yansımalarla dolaşırken bir yandan da yarıktan tekrar dışarı sürekli sızıntıya neden olabilirler. Çınlama denen bu olay özellikle EMC(Elektromanyetik uyumluluk-ElectroMagnetic compatibility) etkileri açısından önemli olabilmektedir (Sevgi, 2004).

## 2.6. Özgül Soğurma Oranı(SAR)

Özgül soğurma oranı (SAR-Specific Absorption Rate) dokularda birim ağırlık başına yutulan EM gücü [W/kg] gösterir. Özgül soğurma oranı matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Paker ve Sevgi, 1998; Kahrıman vd., 2001).

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \quad (2.6)$$

Burada E elektrik alan(V/m),  $\sigma$  iletkenlik (S/m),  $\rho$  ise yoğunluktur(kg/m<sup>3</sup>).

SAR ile sıcaklık artışı arasındaki matematiksel ilişki ise aşağıdaki gibi tanımlanır (Pšenáková, Z., 2006).

$$SAR = c \frac{dT}{dt} \quad (2.7)$$

Burada c spesifik ısı kapasitesi, dT/dt ise doku içindeki sıcaklık artışıdır (Pšenáková, Z., 2006). İnsan vücudunda 1°C sıcaklık artışı için bir kilogram doku başına 4 W güç soğurulması gerekmektedir. İnsanların genel yaşam alanlarında INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committe) ve IRPA(International Radiation Protection Agency) tehlike sınırını 0.08 W/kg değerinde belirlemiştir (Levent Sevgi, 2000), (Cüneyt Ermol, 2008).

## **2.7. Radyo Frekansıyla Çalışan Cihazlar**

Elektronik teknolojisindeki gelişmeler, radyo frekansıyla çalışan cihazların haberleşme, radyo ve televizyon yayınları, radar uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, tıbbi uygulamalar ve WLAN gibi teknolojilerinde günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır (Firengiz ve Kavas, 2005).

Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, UMTS, GPRS, EDGE, CDMA, WiMAX gibi yeni jenerasyon mobil iletişim sistemleri hızlı internet bağlantısını ve veri haberleşmesini sağlamaktadır(Yüksel vd., 2009). Haberleşme sistemlerinin bu gelişimine paralel olarak ucuzlayarak yaygınlaşması ile sunulan ve sunulmakta olan sistemlerle elektromanyetik kirlilik boyutunu daha da artmaktadır (Firengiz ve Kavas, 2005).

Bu teknolojilerin gelişmesiyle üretilen sistemler ve çalışma frekansları incelendiğinde, radyo frekans bandında örneğin ikinci nesil sayısal hücresel telefon sistemleri 900MHz ile 1800 MHz frekanslarında 5W-15W aralığında çıkış güçlerinde çalışmaktadır, evlerde kullanılan sayısal kablosuz telefon sistemleri (DECT) 1800 MHz frekansında çalışmaktadır. Yüksek hızlarda veri iletimi sağlayan kablosuz ağlar(WLAN) ise ISM bandında 2.4GHz ve 5GHz frekanslarında çalışmakta, bina içi ve bina dışı konumlarına göre 5mW-100mW aralığında çıkış güçlerinde çalıştıkları görülmüştür(Firengiz ve Kavas, 2005).

### **2.7.1. Kısa dalga diatermi cihazı**

Çalışmada tıbbi alanda kullanılan ve 27.12 MHz frekansında elektromanyetik dalga kullanan kısa dalga diatermi cihazının yaydığı elektromanyetik dalgaların kas doku üzerine etkileri incelenmiştir.

Kısa dalga diatermide elektromanyetik indüksiyon yoluyla elde edilen 27,12 MHz frekans ve yaklaşık 11 m dalga boyundaki elektromanyetik dalgalar kullanılır. Bu dalgalar kondansatör veya indüktör tekniği ile uygulanabilirler. Kondansatör tekniğinde tedavi edilecek alan iki disk elektrot arasında, yani dielektrik alanda

bulunur. İndüksiyon tekniğinde uygulama bir indüksiyon bobini ile yapılmaktadır. Burada kablo, monod veya diplod elektrod kullanılır. Tedavi edilecek alan manyetik alanda bulunur. Kondansatör tekniğinde ligament ve tendonlar daha fazla ısınır (Fizikoterapi, 2011).

## **2.8. Elektromanyetik Kirlilik**

Günümüzde elektromanyetik (EM) kirlilik sorunu gün geçtikçe daha fazla önem kazanmakta ve uzman kuruluşlar tarafından araştırılmaktadır. EM kirlilik kavramının son zamanlarda bu derece sık dile getirilir olmasının nedeni ise elektronik cihazların çokluğu ve kullanım yaygınlığı olarak belirtilebilir. Kullanılan her elektrikli cihaz, belli bir frekans bölgesinde istenilen ve istenilmeyen pek çok işaret üretmektedir. Aynı ortamda çalışan cihazların birbirini etkilemesi; Elektromanyetik girişim (EMI, ElectroMagnetic Interference) ve Elektromanyetik uyumluluk (EMC) konularını ön plana çıkarmaktadır (Akleman vd., 1999 ).

Bir EMC probleminde; EM girişim kaynağı, girişimden etkilenen kurban ve kaynak ile kurban arasındaki girişim yolu olmak üzere üç öge bulunur. Girişim kaynağı yada kurban bazen ayırt edilemese bile bu üç unsur bir arada EMC problemini oluşturur. EMC probleminin bir özel hali kurbanın canlı olması durumudur. Bu durumda elektromanyetik etkileşim, EM enerji ile canlı dokular arasındadır. Bu etkileşimle ilgilenen dala da özel olarak Biyoelektromanyetik (BEM) adı verilmiştir. EMC mühendisliğinin ana amacı bu üç unsurdan en az birini ortadan kaldırmak yada etkilerini en aza indirmek iken BEM mühendisliğinin amacı EM enerjinin canlı dokularda yaratacağı kısa, orta ve uzun süreli etkileri incelemek ve en aza indirmek yönündedir(Sevgi, 2000).

### **2.8.1. Biyoelektromanyetik ile ilgili kuruluşlar, standartlar ve limitler**

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır. Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-

Ionizing Radiation Protection – Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler FCC (Federal Communications Commission – Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir (Anonim, 2001).

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulmuş sınır değerler frekansa göre değişiklik gösterir. Örneğin baz istasyonlarının çalışma frekanslarını içine alan 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler elektrik alan şiddeti için  $1,375f^{1/2}$  V/m ( $f$  = frekans (MHz)); manyetik alan şiddeti için  $0,0037f^{1/2}$  A/m ve elektromanyetik güç yoğunluğu için  $f/200$  W/m<sup>2</sup> ifadeleriyle verilmiştir. Bu ifadelerle verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bunun yanında IEEE ve FCC standartlarında yer alan güç yoğunluğu üst sınırı 300-1500 MHz frekans aralığında  $f/150$  W/m<sup>2</sup>, 1500-100.000 MHz frekans aralığında 10,0 W/m<sup>2</sup> olarak verilmiş olup, bu ifadelerle verilen sınır değerler otuz dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir (Anonim, 2001). Çizelge 2.1' de ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler gösterilmektedir (BTK, 2009). (Burada  $f$ = frekans(MHz))

**Çizelge 2.1.** Ortam ve tek bir cihaz için belirlenen limit değerler (BTK, 2009)

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)		H-alan şiddeti (A/m)		B-Manyetik akı yoğunluğu (µT)		Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu(W/m <sup>2</sup> )	
	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri
0.010 - 0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15 - 1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1 - 10	22/f <sup>1/2</sup>	87/f <sup>1/2</sup>	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10 - 400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400 - 2000	0.341.f <sup>1/2</sup>	1.375f <sup>1/2</sup>	0.0009f <sup>1/2</sup>	0.0037f <sup>1/2</sup>	0.001f <sup>1/2</sup>	0.0046f <sup>1/2</sup>	f/3200	f/200
2000 - 60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

İlgili kuruluşların belirlediği iki tip limit vardır; temel limitler ve türetilmiş limitler. Temel limit olarak “ortalama insanda vücut sıcaklığını 1 derece arttıracak EM enerji yutulmasının zararlı olduğu düşüncesinden yola çıkılmıştır. Bunun sonucu ortalama kan dolaşımında 4W/kg değeri bulunmuştur. Yani, kilogram başına dokuların yutabileceği en yüksek güç 4W. tır. Bu limitler sadece dokularda yutulan ve ısıya dönüşen güçle ilgilidir. Fizyolojik, kimyasal, biyolojik hatta psikolojik etkileri göz önüne almamaktadır. Temel limitlerden yola çıkarak türetilen limitler ise frekansa göre ortamlardaki en yüksek alan şiddetlerini belirlemektedir (Sevgi, 2000).

Biyoelektromanyetik limitleri tartışmalıdır. Sadece dokulardaki ısıl etkileri göz önüne alınmakta, psikolojik ya da biyolojik etkiler gibi diğer etmenler göz önüne alınmamıştır. Aslında teknik, aletsel bir değer olarak ısıl etkilerden (yani SAR’ dan) başka bir parametre de belirlemek olası değildir. SAR değerinin bulunması için dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin ölçülmesi gerekir. Oysa canlılarda bu ancak tıbbi deneklerle yapılmaktadır. Bu nedenle SAR ölçülmesi ya insanın EM özelliklerine yakın tuzlu su ya da değişik kimyasal jellerden yapılmış robotlar üzerinde yapılır, ya da bu amaçla güçlü sayısal teknikler kullanılarak bilgisayar simülasyonlarından yararlanır. SAR modellemesi cep telefonu – insan kafası etkileşiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanın göz, kulak, beyin gibi hassas uzuvlarının olduğu kafasının birkaç milim ötesinde 1-2 wattlar mertebesinde güç



yayan bir cihazı kullanmasının kısa ve uzun dönem etkileri çok önemli olabilir. Günümüzde bilim adamları bu konuda çalışmalarını aralıksız sürdürmektedir (Sevgi ,2000).

## **2.9. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri**

Elektromanyetik dalgaların gücü yüksek veya düşük olsun, bu dalgalar insan vücudundaki dokular üzerinde etkili olmaktadır. Elektromanyetik dalgalar (EMD) vücuttaki dokulara ısıtarak ve ya kimyasal değişimlere yol açarak zarar verirler. Yüksek güçlü elektromanyetik dalgalar ısıya bağlı zarar verirken, düşük watt'lı elektromanyetik dalgalar'ın uzun süre alınmasıyla dokularda kimyasal değişimler nedeniyle zararlı etkiler ortaya çıkar. Elektromanyetik radyasyonlar boşlukta yayılma özelliğine sahiptir. Bu tür dalgalar dalga boyları ve frekansları ile belirlenir. Tüm EMD, boşlukta aynı hızla yayılır. Bu hız ışık hızına eşit olup saniyede 300.000 km'dir. Dalga boyu son derece küçüldüğünde elektromanyetik radyasyon, madde ile karşılaştığında, dalga olmaktan çok bir enerji kümesi gibi davranır. Bu enerji kümelerine "kuantum" ya da "foton" denir. Bu tipteki elektromanyetik radyasyonlar, X ve gamma ışınlarıdır. Bu ışınlar hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağları kırarak atomları ya da molekül parçalarını pozitif ya da negatif yüklü duruma getirebilecek yeterli enerjiye sahiptirler. Enerjileri çok yükselen bu ışınlar moleküllere çarptığında onları iyonlaştırarak, molekül yapısını, yani yaşamsal işlevlerini bozar ve böylece olumsuz biyokimyasal tepkimeler sonucunda kanser oluşumunu kolaylaştırır. Yapılan çalışmalarda X ve gamma ışınlarına maruz kalan insanlarda, kanserlerin oluşumu artmıştır. Bu nedenle bu ışınlar "iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon" olarak tanımlanır (Yağmur vd., 2003).

Bir diğer elektromanyetik radyasyon grubu ise, noniyonize radyasyon, yani iyonlaştırmayan elektromanyetik radyasyon grubudur. Noniyonize radyasyon (NIR) atomik bağları kırmak için yeterli enerjiye sahip olmayan fotonları içeren elektromanyetik parçalar için genel bir terimdir. Bu gruba giren dalgalar, az enerjiden yüksek enerjiye doğru, radyo dalgaları, mikro dalgalar, infrared radyasyon, görünür ışınlar, lazer ışınları, ultraviyole ışınları olmak üzere sıralanırlar. Yüksek

yoğunluktaki NIR biyolojik sistemde iyonizasyona neden olmayabilir. Bununla birlikte başka biyolojik etkileri görülebilir. Örneğin ısınmaya, kimyasal reaksiyonlarda değişmeye ya da hücreler ve dokularda elektrik akımının indüklenmesine neden olabilirler. Farklı frekanslardaki EMD hücre, bitki, hayvan ya da insanlar gibi farklı biyolojik sistemleri değişik biçimlerde etkilerler. Biyolojik sistemlerdeki etkileri EMD'nin yoğunluğuna, biraz da fotonların sahip oldukları enerji miktarına bağlıdır (Yağmur vd., 2003).

Ortamdaki iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgaların etkisinde kalma sonucunda canlılarda iki tür etki oluşabilir: Isıl etkiler ve ısıl olmayan etkiler. Isıl etkiler, vücut tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanır. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı ile atılarak dengelenmesine dek sürer. Cep telefonları gibi RF kaynaklarının sebep olabileceği sıcaklık artışı gerçekte çok düşüktür ve büyük olasılıkla vücudun normal mekanizmaları ile kolayca etkisizleştirilebilir. Isıl olmayan etkilere bağlı olarak RF dalgaların etkili olduğu iddia edilen bozukluk ve hastalıklar arasında beyin aktivitelerinde değişiklikler, uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları, baş ağrıları bulunmaktadır. Ancak bu riskler çok yüksek deneysel dozlar ve sürelerde geçerli olabilir ve cep telefonları gibi kullanımlar için geçerli değildir. Yüksek enerjili iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar, DNA ve genetik malzemeyi kapsayan biyolojik dokuda hasara yol açabilen moleküler değişikliklere yol açabilirler. Bu etkinin olabilmesi için dokunun x-ışınları ve gama ışınları gibi yüksek enerjili fotonlarla etkileşmesi gerekir (Anonim, 2001).

Biyolojik etki ile yan etki arasındaki farkı bulunmaktadır. Biyolojik etki, sistemde EMD'ye maruziyet sonucunda ölçülebilir ya da dikkate değer fiziksel değişiklikler olduğunda ortaya çıkar. Yan etki ise biyolojik etkinin vücudun tolere etme sınırlarının dışına çıktığında oluşur ve sonuçta zararlı etkilere yol açar. Bugün üzerinde çalışılan konulardan biri de radyo dalgalarının ve cep telefonlarının kullanım frekanslarının yükseltilmesi ve mikrodalga özelliği göstermesidir (Yağmur vd., 2003). Yapılan çalışmalarda, EM alanla karşılaşan deney hayvanlarında çeşitli olumsuz etkiler belirlenmiştir. Ayrıca EM alan bulunan yerlerde çalışanlarda,

depresyon, lösemi, santral sinir sistemi kanserleri, melanom ve akciğer kanseri gibi bazı hastalıklar ile ilişkinin belirlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla yapılan bir çok deneyde, yinelenabilirlik konusunda sorunlarla karşılaşmaktadır(Yağmur vd., 2003).

## **2.10. Kas Fantom Modeli Oluşturma Hakkında Literatürdeki Çalışmalar**

Literatürde farklı kas fantom modelleme çalışmaları bulunmaktadır (Watanabe, S. vd, 2000), (G. Hartsgrove vd, 1987), (ARIB, 1998) (C. Chou vd,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 (C.Chou 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, 1984). Literatürde incelenen bu kas dokusu eşdeğer sıvısı oluşturma çalışmalarında genel olarak araştırmacılar farklı frekanslar ve farklı ortam sıcaklıkları için eşdeğer sıvının içeriğinin ve karışım oranlarının değişimleri ile karışımların elektriksel özelliklerini incelemişlerdir.

Surowiec ve arkadaşları hipertermi aplikatörlerinin farklı çeşitlerinin testi için poliakrilamid jel' den yapılmış bir kas malzemesi oluşturmuşlardır (A.Surowiec vd, 1992). Watanabe ve arkadaşları 144 MHz, 430 MHz ve 1.2 GHz frekansları için su, NaCl, şeker, Hidroksietilselüloz (Hydroxyethylcellulose-HEC) ve Bacteriacide içeren kas eşdeğer sıvıları oluşturmuşlardır (Watanabe, S. vd, 2000). Wang ve arkadaşları çalışmalarında 21.28MHz, 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).

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında elektromanyetik dalgaların kas dokusu üzerine etkilerini incelememizin sebebi insanlarda kas dokusunun vücut ağırlığının önemli bir bölümünü oluşturmasıdır. 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 27.12 MHz kısa dalga diatermi cihazının kas dokusu üzerine etkileri incelenmiştir. Bu farklı çalışma frekanslarında elektromanyetik alana maruz kalan insan vücudunda elektromanyetik enerji emiliminin başlıca etkisi olan ısınmanın kas dokusu üzerinde meydana getirdiği ısı değişimleri belirlenmiştir.

Çalışmada 27.12, 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.

Daha sonra denklem 2.6 ve denklem 2.7 kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışmanın sonraki aşamasında çalışılan 4 farklı frekans değeri için bilgisayar ortamında HFSS programı kullanılarak kas dokunun elektriksel özellikleri kullanılarak eşdeğer modeller oluşturulmuş ve doku içerisinde oluşan SAR ve elektrik alan değerleri belirlenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın deneysel kısmında kullanılan cihazlar:

1. Deneysel 2450 MHz maruziyet için enerji kaynağı olan RF laboratuvar test vericisi (SET ELECO, Set elektronik, İstanbul) cihazı ve bu cihaza ait monopol anten düzeni kullanılmıştır.
2. Deneysel 900 MHz maruziyet için enerji kaynağı olan RF laboratuvar test vericisi (SET ELECO, Set elektronik, İstanbul) cihazı ve bu cihaza ait monopol anten düzeni kullanılmıştır.
3. Deneysel 1800 MHz maruziyet için enerji kaynağı olan RF laboratuvar test vericisi (SET ELECO, Set elektronik, İstanbul) cihazı ve bu cihaza ait monopol anten düzeni kullanılmıştır.
4. 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, Minesota, 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.

### **3.1. Kas Fantom Modelleri**

Çalışmanın bu aşamasında insan vücut dokusunun 27.12, 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 çizelge 3.1 de gösterilmiştir. Bu değerler ve oranlar literatürde yapılan vücut/kas fantom

modellerindeki değerlerde alınmıştır (Hartsgrove ve Kraszewski, 1984), (Durney, 1986). Çizelge 3.1 de 27.12, 900 ve 2450 MHz için hazırlanan ilk üç model Hartsgrove ve Kraszewski çalışmalarında belirtilen doku eşdeğer materyallerinin karışım değer oranlarına göre hazırlanmış (Hartsgrove ve Kraszewski, 1984), 900 MHz için hazırlanan ikinci bir fantom model karışımı ise Hartsgrove ve arkadaşlarının kas eşdeğer materyallerinin karışım değer oranlarına göre hazırlanmıştır (Hartsgrove vd, 1987), (ARIB, 1998).

Çizelge 3.1. Eşdeğer modellerde kullanılan materyaller ve ağırlık oranları

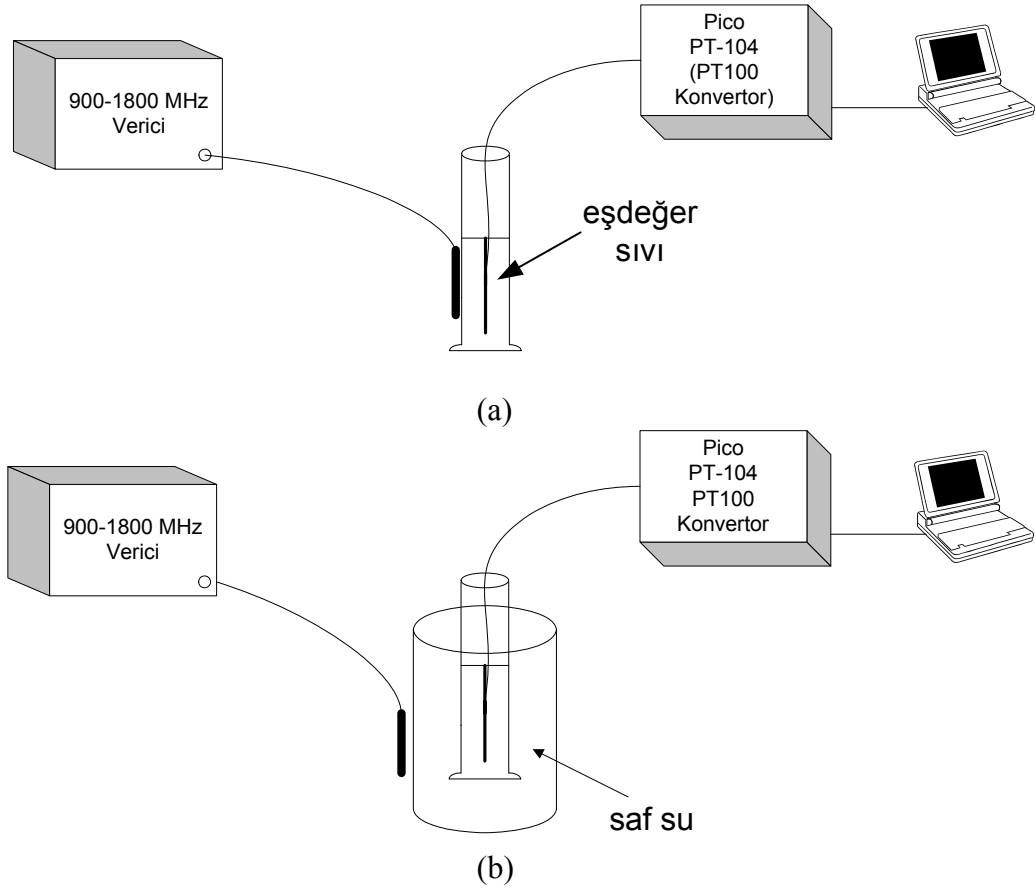
Frekans (MHz)	Alüminyum Toz	NaCl	Polietilen Toz	Su	HEC	Şeker	Koruyucu
27.12	9.3	0.16	-	87.44	3.0	-	0.1
900 (karışım-1)	-	1.0	20	75.9	3.0	-	0.1
2450	-	0.9	22	74	3.0	-	0.1
900 (Kas Dokusu -karışım2)	-	1.5	-	52.4	1.0	45.0	0.1

(HEC: Hydroxyethylcellulose)

Fantom modelleri hazırlama adımları şu şekildedir (Hartsgrove ve Kraszewski, 1984), (Durney, 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

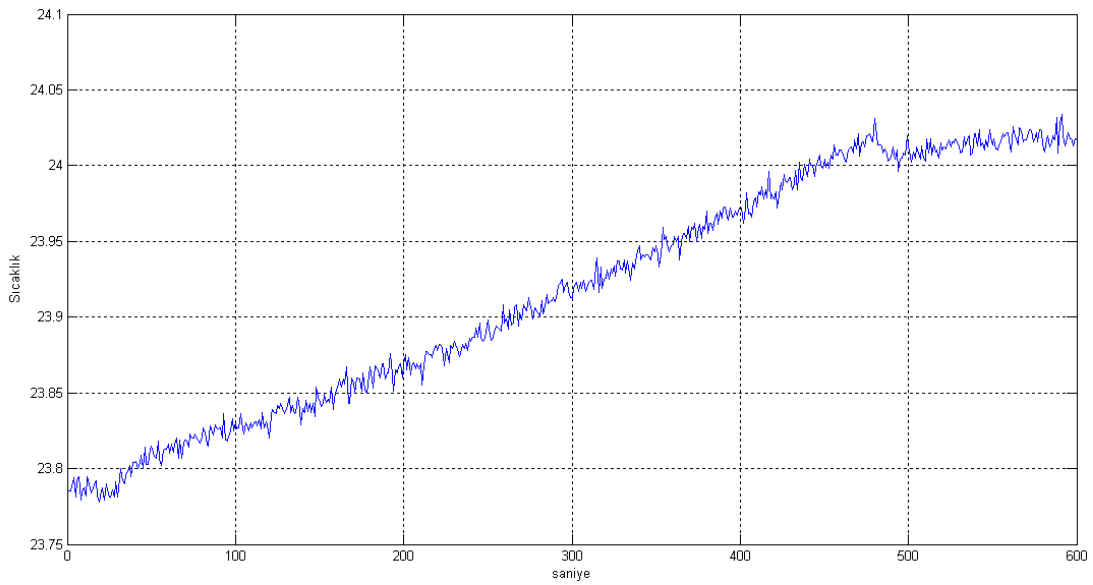
İlk olarak 900 MHz için çizelge 3.1'deki karışım-1 oluşturuldu ve gerekli deney düzeneği kuruldu. Şekil 3.1a da kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için kurulan deney düzeneğinin blok diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.1b de ise kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın saf suyun bulunduğu bir başka kabın içerisine konulması ve antenin saf suyun bulunduğu kabın üzerine monte edilmiş durum için kurulan deney düzeneğinin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Oluşturulan eşdeğer sıvı içerisinde sıcaklık artış ölçümünün yapıldığı deney düzeneği b) Oluşturulan eşdeğer sıvının saf suyun içerisine konulması durumu için eşdeğer sıvı içerisinde sıcaklık artış ölçümünün yapıldığı deney düzeneği

Sıcaklık ölçüm cihazı bilgisayara bağlanarak farklı anten polarizasyonları için 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

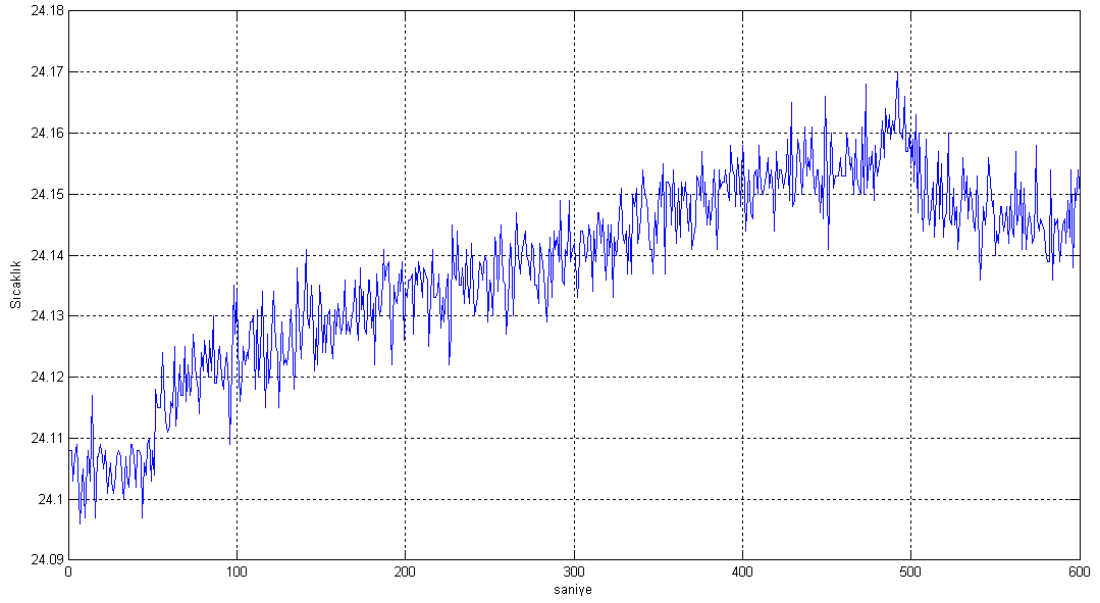
yerleştirilerek, saf suyun bulunduğu kabın üzerine monte edilmiştir. Isı yalıtımını sağlamak için ölçüm alanının her tarafı straforlar kullanılarak yalıtılmaya çalışılmıştır. Vericinin model üzerinde oluşturduğu elektrik alan değeri yaklaşık olarak 15.5 V/m olarak ölçülmüştür. Şekil 3.2’de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için model içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 32. sn de verici çalıştırılmış ve 480. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye ölçüm alınmıştır.



**Şekil 3.2.** 900 MHz (Karışım-1) için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

Şekil 3.3’de oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş antenin bulunması durumu için model içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 50. sn de verici çalıştırılmış ve 505. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye ölçüm alınmıştır.

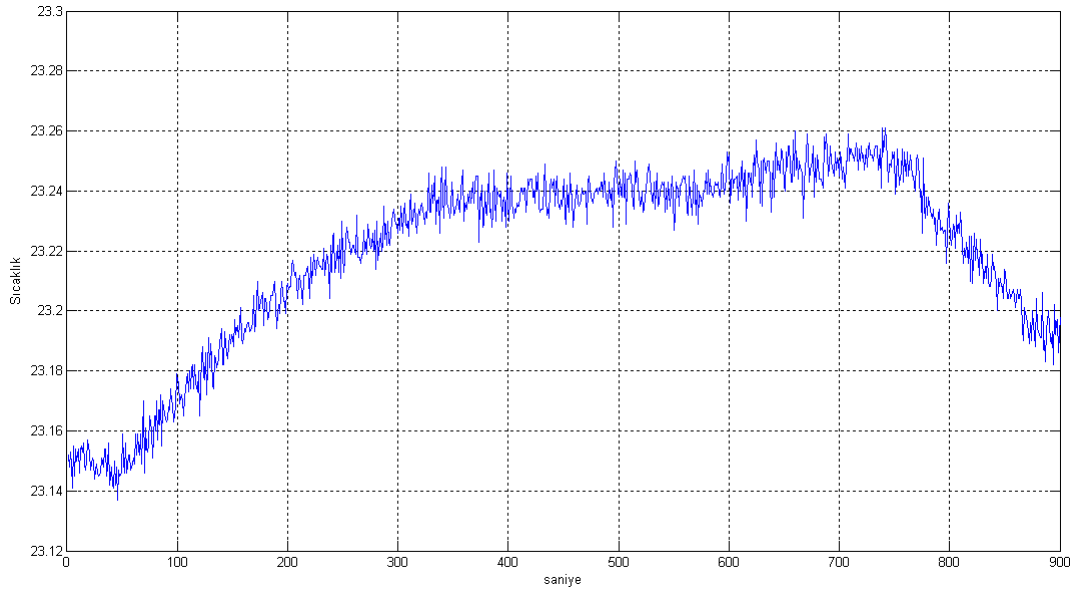




**Şekil 3.3.** 900 MHz (Karışım-1) için karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

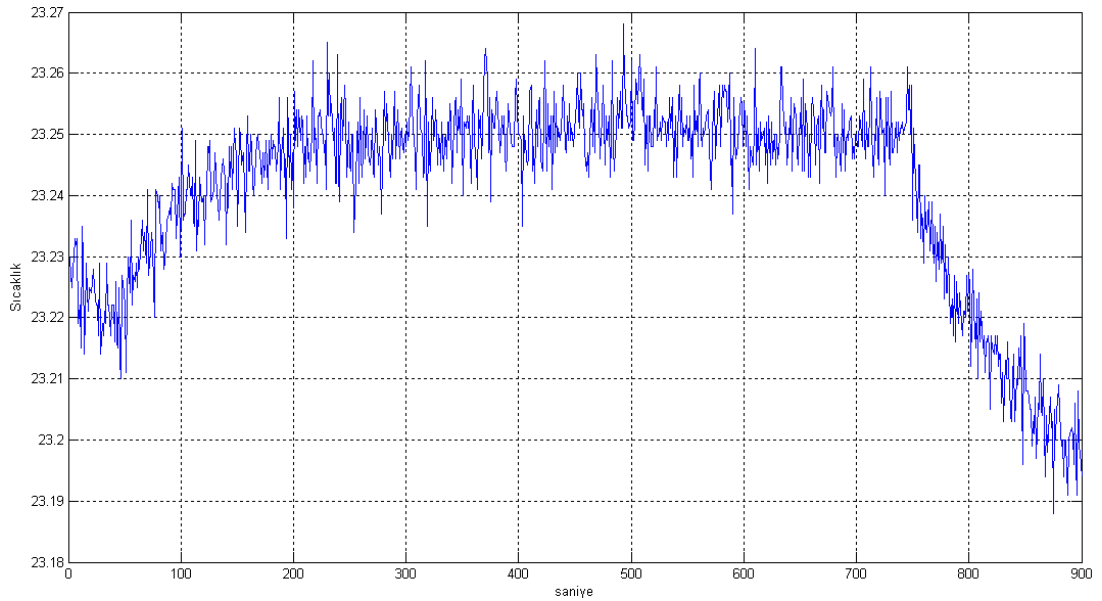
Şekil 3.3 de görülmektedir ki başlangıç sıcaklığı ve öncesinde sıvı içerisindeki sıcaklık artış eğilimindedir. Yani sıvı sıcaklığı ortam sıcaklığına henüz ulaşmamıştır. Bu artış eğilimi üzerine kayıt başlangıcından itibaren 50. Saniyeden sonra RF(Radyo Frekans) enerji yüklenmeye başlanmış, RF enerji sıvının elektriksel özelliklerine göre sıcaklık yükselmesi olarak yaklaşık 7.5 dakika süresince sıcaklığın yükselmesine katkıda bulunmuştur.

Şekil 3.4’de oluşturulan saf suyun bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş ve Şekil 3.5’de de oluşturulan saf suyun bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş antenin bulunması durumları için model içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 50. sn de verici çalıştırılmış ve 750. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 900 saniye ölçüm alınmıştır.



**Şekil 3.4.** 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

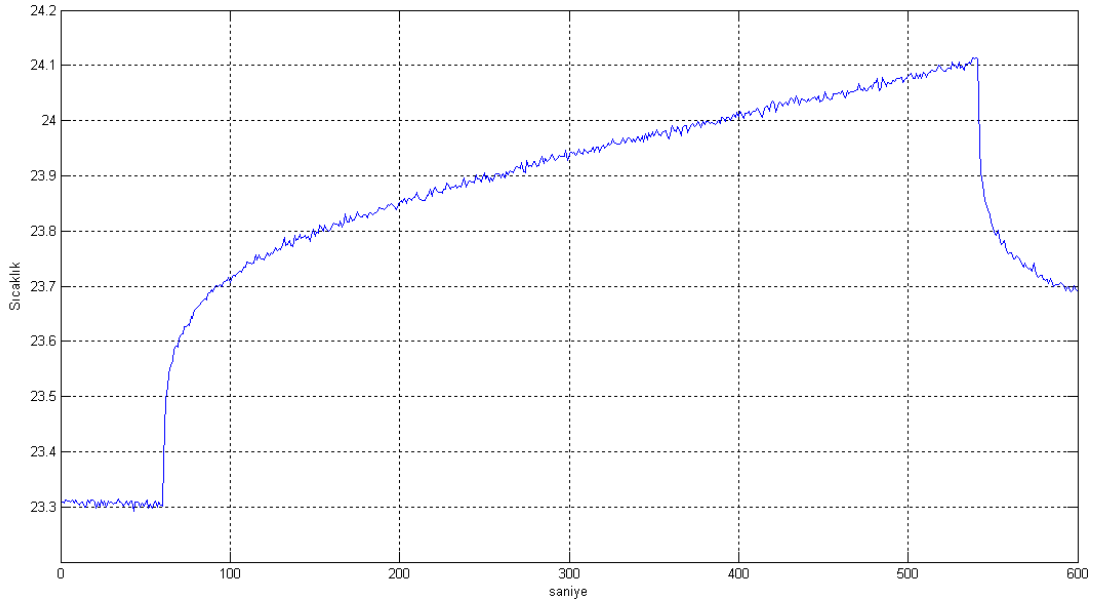
Şekil 3.4 deki değişime göre verici çalıştırıldıktan sonraki 300 sn (6 dakika) süresince sıcaklık artışı meydana gelmiş sonrasında ise yaklaşık aynı değerlerde kalmıştır. Buradaki 6 dakikalık ısı artışı için denklem 2.6 ve 2.7 kullanılarak spesifik ısı kapasitesi değeri hesaplandığında 15.5 V/m elektrik alan değeri için yaklaşık 0.691 (J/(kg-°C)) olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 3.5.** 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

900 MHz için elde edilmiş bu değişimler incelendiğinde; sıvı iç sıcaklığı oda sıcaklığına düşmeye çalışmaktadır. Düşme eğilimindeyken vericinin devreye girmesi ile beraber fantom model içerisindeki sıcaklık yükselmeye başlamış, verici kapatıldıktan sonra ise yeniden soğumaya başlamıştır.

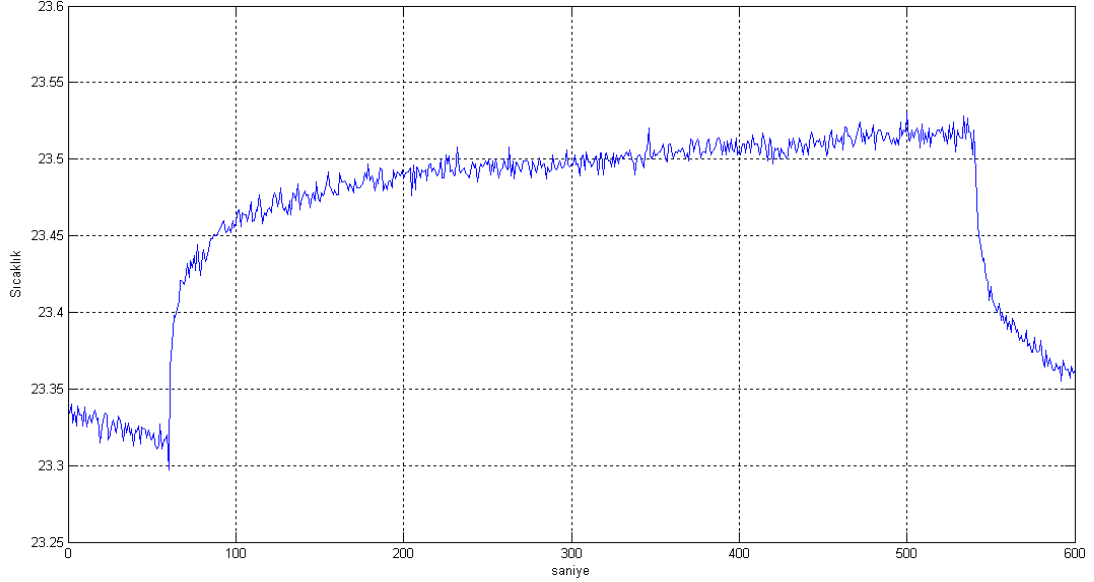
900 MHz için farklı içeriği olan kas doku eşdeğer sıvısı olarak çizelge 3.1'deki karışım-2 oluşturuldu(Hartsgrove vd, 1987), (ARIB, 1998) ve gerekli deney düzeneği kuruldu. Şekil 3.6'da oluşturulan karışım-2'nin bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için karışım içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Burada oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 60. sn de verici çalıştırılmış ve 540. sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye ölçüm alınmıştır.



**Şekil 3.6.** 900 MHz (Karışım-2) için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

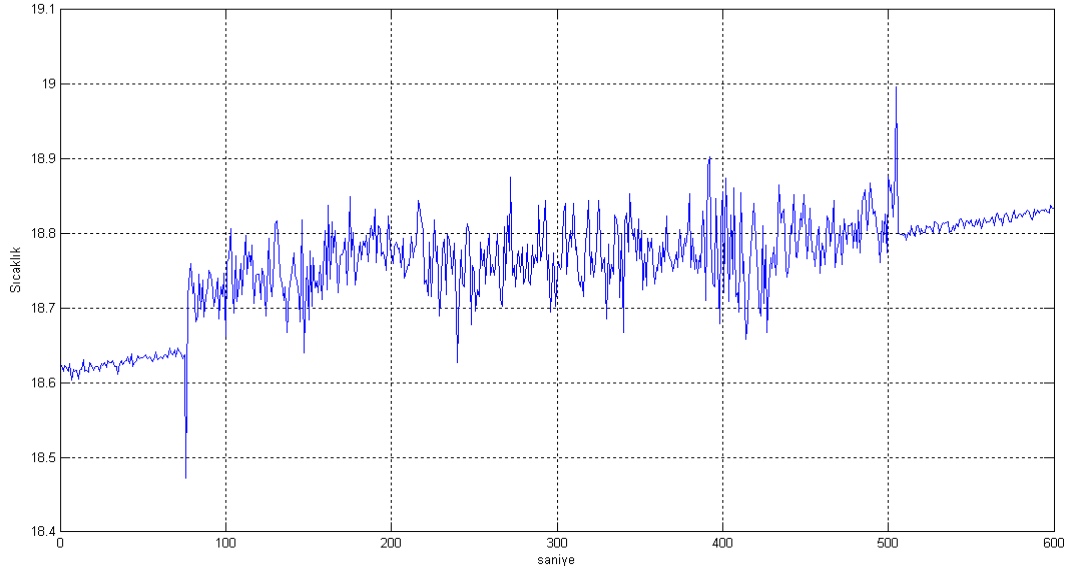
Şekil 3.7'de oluşturulan kimyasal karışım-2'nin bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş antenin bulunması durumu için model içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 60. sn de verici çalıştırılmış ve 540 sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye ölçüm alınmıştır. Buradaki zamanla ısı değişimi göz önüne alınarak ve denklem 2.6

ve 2.7 kullanılarak spesifik ısı kapasitesi değeri hesaplandığında 15.5 V/m elektrik alan değeri için yaklaşık 1.144 (J/(kg-°C)) olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 3.7.** 900 MHz (Karışım-2) için karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

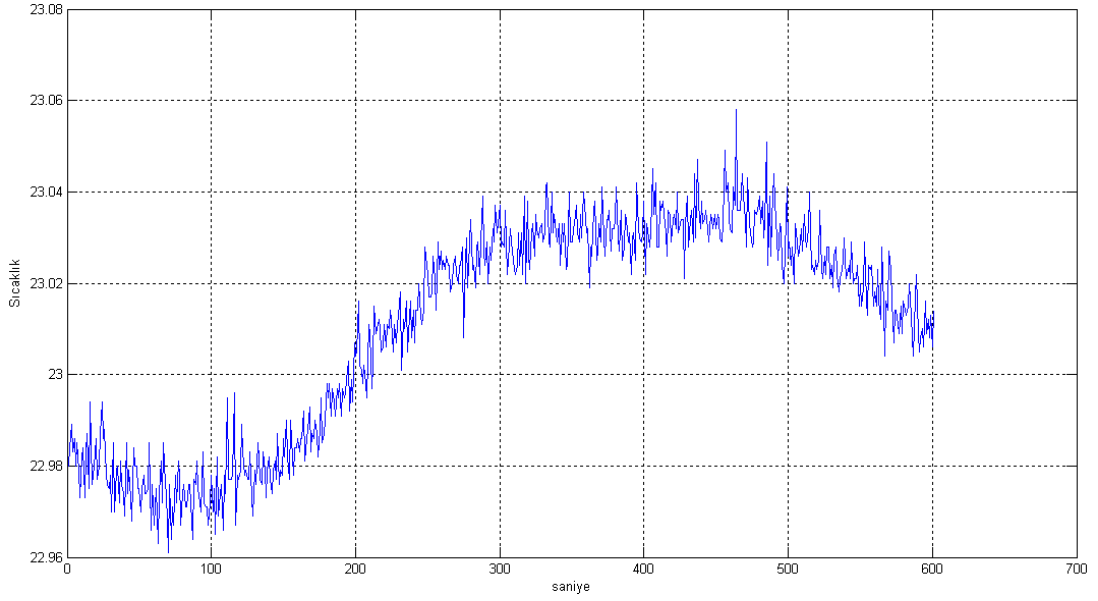
Şekil 3.8'de 27.12 MHz için oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kabın 10'ar cm uzağında kısa dalga diatermi cihazının elektrotlarının bulunması durumu için model içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 76. sn de verici çalıştırılmış ve 515 sn de verici kapatılmış, toplamda ise 600 saniye ölçüm alınmıştır.



**Şekil 3.8.** Kısa dalga diatermi cihazı maruziyetinde karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

Bu çalışmada Eğirdir Kemik Eklem Hastalıkları Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Ünitesinde bulunan Kısa dalga diatermi cihazı kullanılmıştır.

Şekil 3.9’da 2450 MHz için oluşturulan kimyasal karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş antenin bulunması durumu için model içerisindeki sıcaklık artışının değişimi gösterilmiştir. Bu kısımda da oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve 60. sn de verici çalıştırılmış ve 460. sn de verici kapatılarak ölçüm alınmıştır. Şekil 3.9’dan görüleceği üzere verici çalıştırıldığı andan itibaren eşdeğer sıvı içerisindeki sıcaklık yükselmekte, verici kapatıldığı andan itibaren ise sıcaklık değeri düşüşe geçmektedir.



**Şekil 3.9.** 2450 MHz için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık değişimi

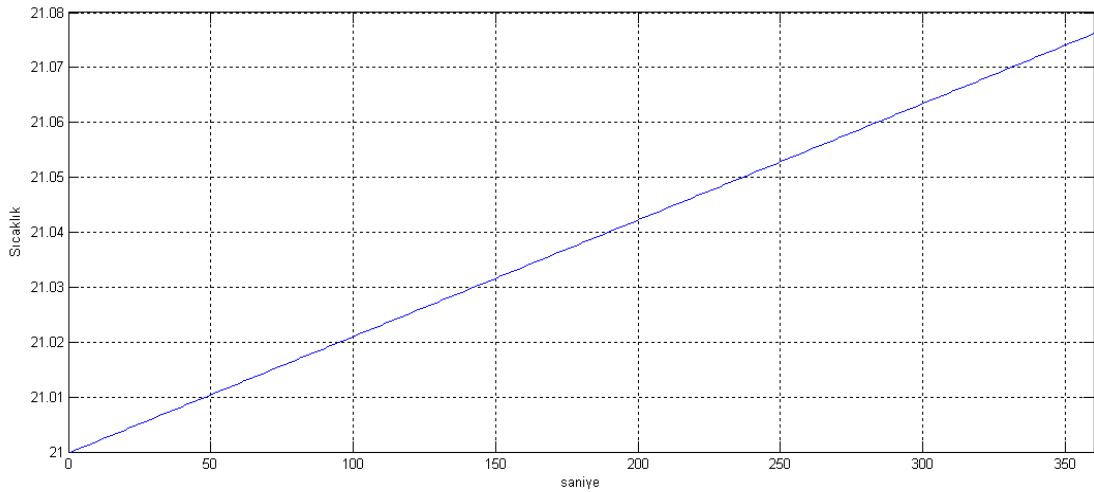
### **3.2. Kas Doku İçerisindeki SAR Dağılımının ve Isı Artışının Matematiksel Modeli**

Denklem 2.6 ve denklem 2.7 kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışılan farklı frekansların her biri için kas dokunun, iletkenlik, yoğunluk, spesifik ısı kapasitesi, sınır değer olarak ICNIRP'nin belirlediği elektrik alan değerleri kullanılarak doku içindeki sıcaklık artışı miktarları ve SAR değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar HFSS model ile elde edilen SAR değerlerine oldukça yakındır. Çizelge 3.2 de çalışılan frekanslar için matematiksel olarak hesaplanan SAR değerleri ve sıcaklık artış miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Kas doku içerisindeki matematiksel olarak hesaplanan SAR değerleri ve sıcaklık artış miktarları

Frekans (MHz)	SAR değeri (W/kg)	6 dakika maruziyet sonucu meydana gelen sıcaklık artış miktarı (°C)
27	0.2330	0.0233
900	0.7721	0.0763
1800	2.1919	0.2132
2450	3.2350	0.3147

Şekil 3.10 da 900 MHz çalışma frekansı için ve 41.25 V/m elektrik alan değerli, 6 dakikalık maruziyet sonucu kas doku içerisinde meydana gelen sıcaklık artışının matematiksel model kullanılarak hesaplanan değişimi gösterilmektedir.

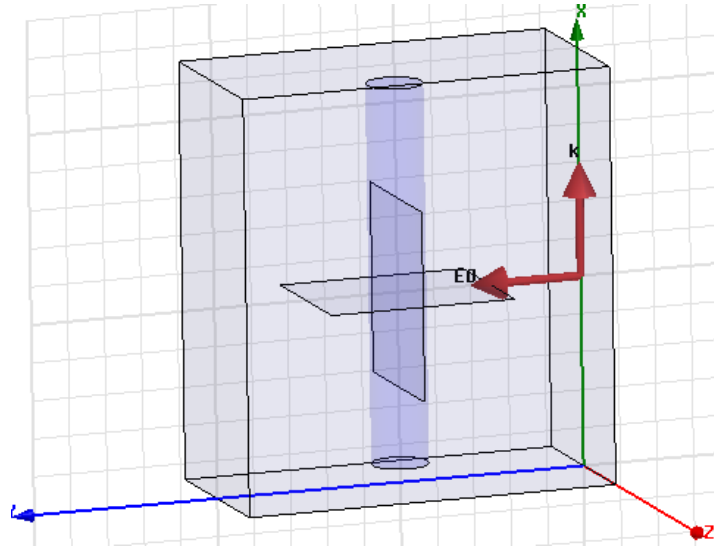


Şekil 3.10. 900 MHz çalışma frekansında 6 dakikalık maruziyet sonucu kas doku içerisinde meydana gelen sıcaklık artışının matematiksel model kullanılarak hesaplanan değişimi

### 3.3. HFSS Programı Kullanılarak Silindirik Kas Modelin Oluşturulması

#### 3.3.1. Benzetime hazır silindirik model

Basit kas modeli HFSS (Ansoft, 2010) programında silindir şeklinde oluşturuldu. Oluşturulan kas modelinde: 27 MHz, 900 MHz, 1800 MHz ve 2450 MHz ‘deki elektriksel özellik değerleri programda kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirildi. Şekil 3.11 de oluşturulan silindirik kas modelin önden görünüşü ve ölçüm sonuçlarının alınacağı kesitler gösterilmektedir. Bu kısımda elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olarak geldiği durum için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda k vektörü x yönünde ise (1 ,0 ,0), y yönünde ise (0 ,1 ,0) alınmıştır.



**Şekil 3.11.** Basit silindirik modelin görünüşü ve model üzerinde kesit alınması

Çizelge 3.3 de oluşturulan silindirik model için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametreler verilmiştir. (IFAC-CNR, 2011)



Çizelge 3.3. Silindirik kas modeli için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametre değerleri

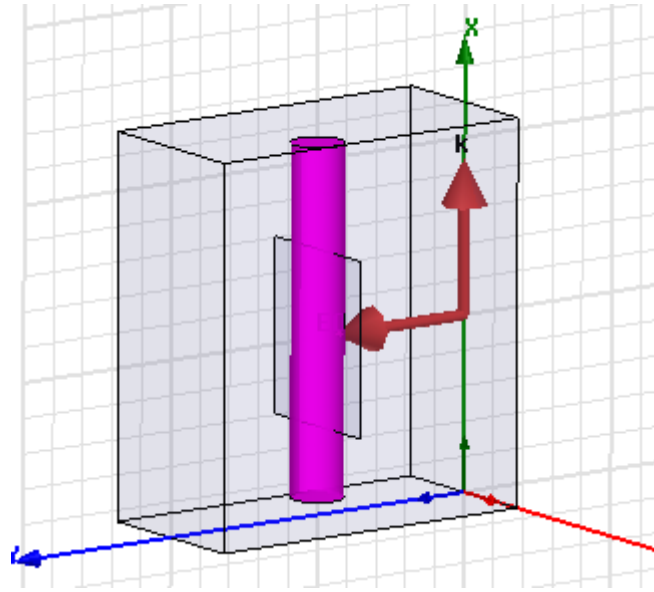
<b>Frekans</b>	<b><math>\epsilon_r</math></b>	<b><math>\sigma</math>(mho/m)</b>
<b>27 MHz</b>	95,947	0,654
<b>900 MHz</b>	55,032	0,94
<b>1800 MHz</b>	53,54	1,34
<b>2450 MHz</b>	52,729	1,7388

Simülasyonlarda 900 MHz için sınır değeri olarak elektrik alan için ICNIRP'nin belirlediği 41.25 V/m değeri alınmıştır. Kas modelinin yakınına (modele 100 mm uzaklıkta) bir kaynak yerleştirilmiştir. 1800 MHz için sınır değeri olarak ise elektrik alan için ICNIRP'nin belirlediği 58.33 V/m değeri, 27 MHz için 28 V/m, 2450 MHz için ise 61 V/m değerleri alınarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.2. Model üzerinde elde edilen simülasyon sonuçları**

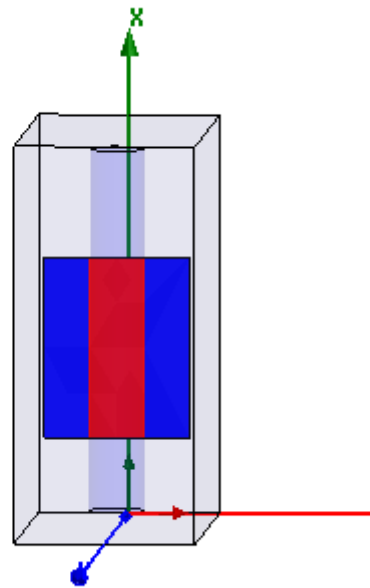
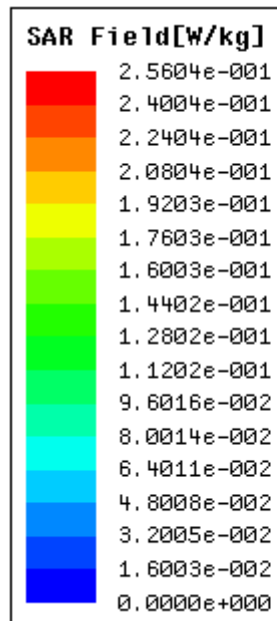
#### **3.3.2.1. Silindirik model üzerindeki dikey kesit için elde edilen simülasyon sonuçları**

Simülasyonlarda Şekil 3.12 de oluşturulan silindirik kas modelin önden görünüşünde alınan iki kesitten biri olan dikey kesit gösterilmektedir. Simülasyonların bu aşamasında elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik gelecek şekilde kaynak yerleştirilmiştir.

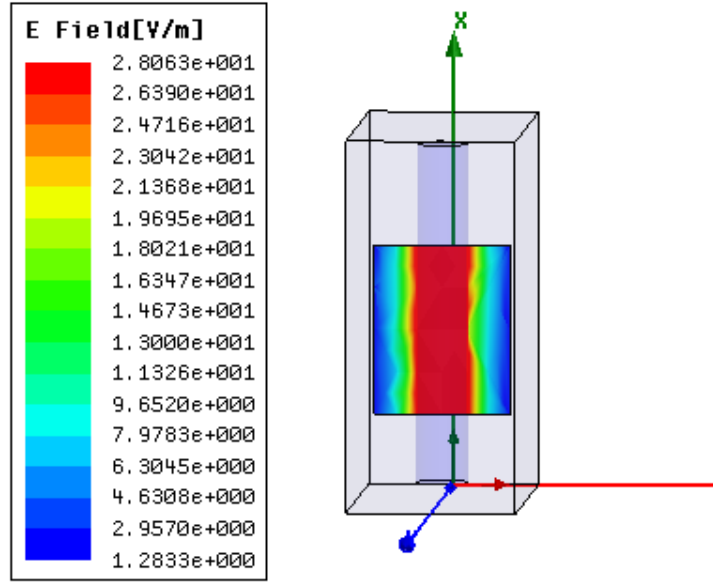


**Şekil 3.12.** Elektrik Alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda basit silindirik modelin önden görünüşü ve model üzerinde dikey kesit alınması

Şekil 3.13a da 27 MHz ve şekil 3.14a'da ise 900 MHz frekansında silindirik kas modelinden alınan dikey kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.13'b de 27 MHz ve şekil 3.14b'de ise 900 MHz frekansında alınan dikey kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.

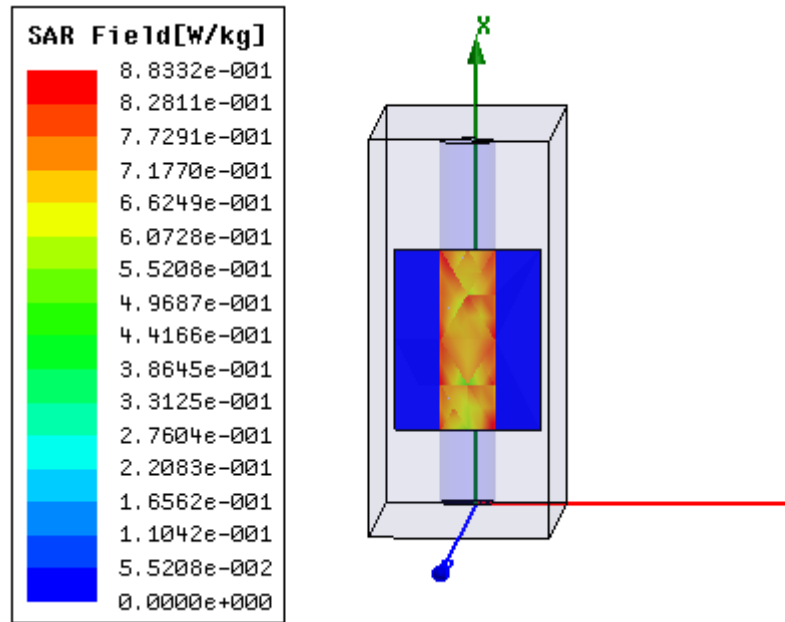


(a)

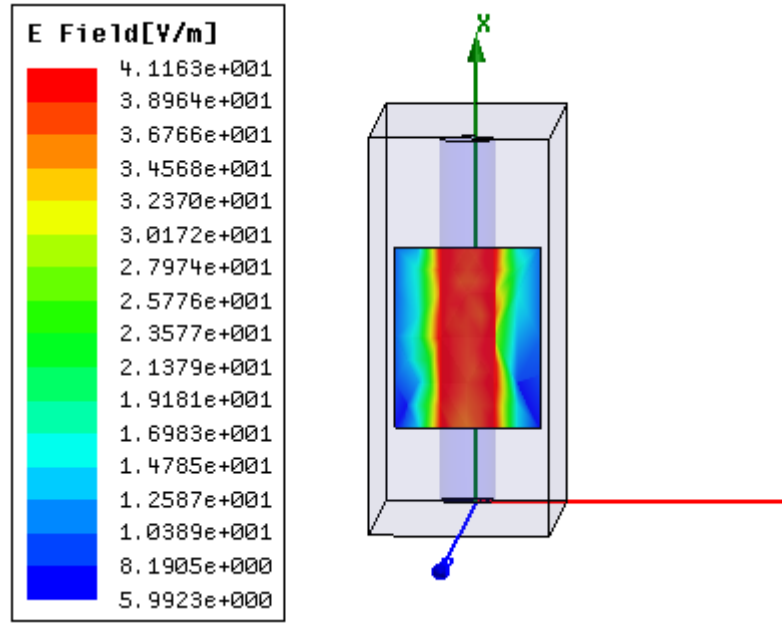


(b)

Şekil 3.13. Dikey kesit üzerinde 27 MHz’de elektrik alan bileşenin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü



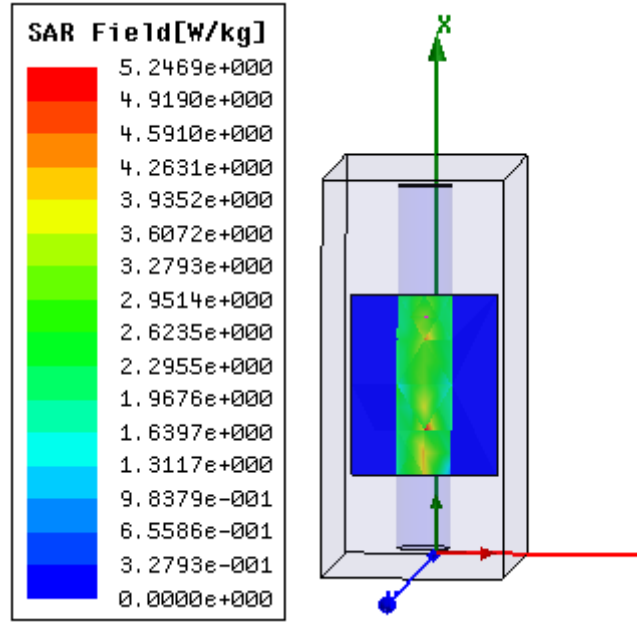
(a)



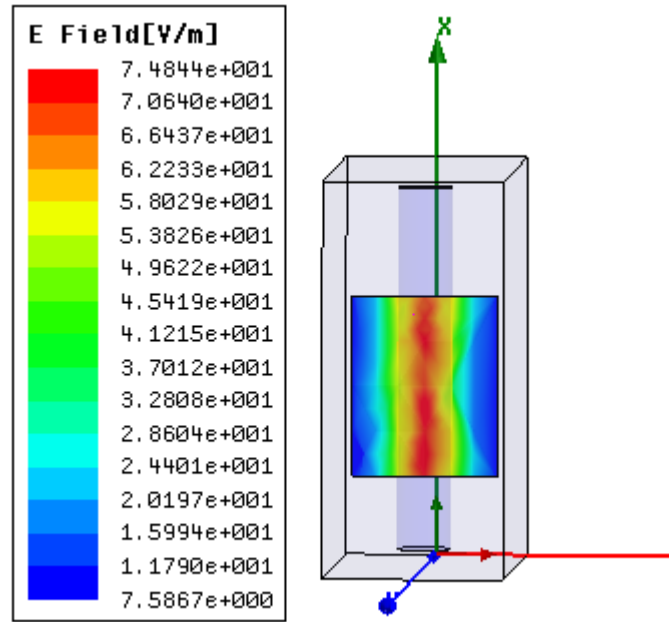
(b)

**Şekil 3.14.** Dikey kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü

Şekil 3.15a da 1800 MHz ve şekil 3.16a’da ise 2450 MHz frekansında silindirik kas modelinden alınan dikey kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.15b de 1800 MHz ve şekil 3.16b’de ise 2450 MHz frekansında alınan dikey kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.

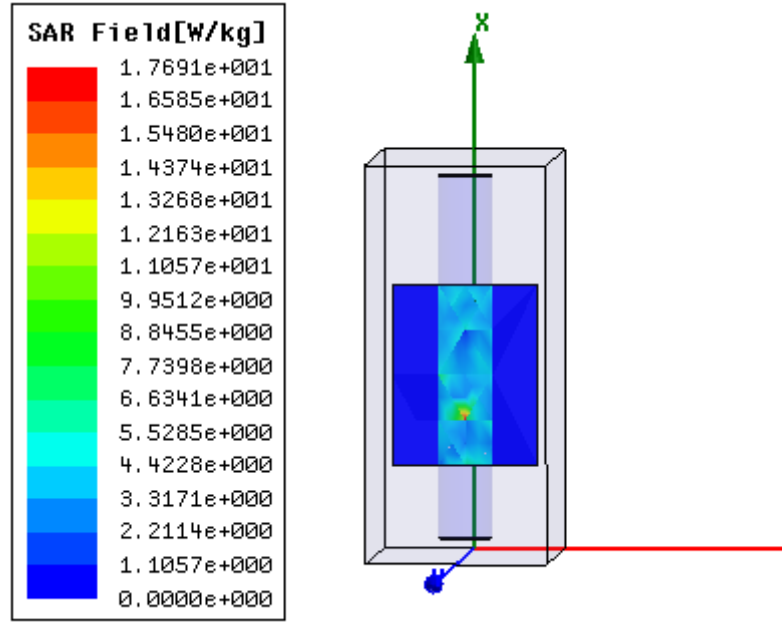


(a)

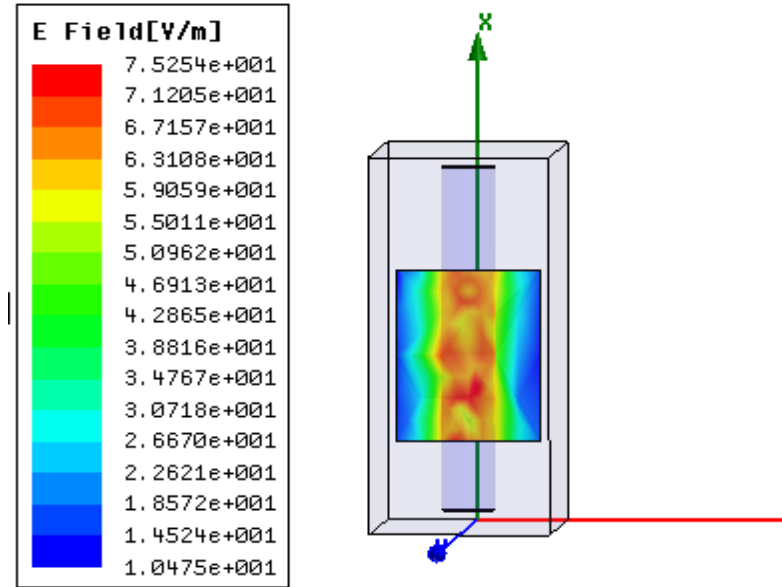


(b)

**Şekil 3.15.** Dikey kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü



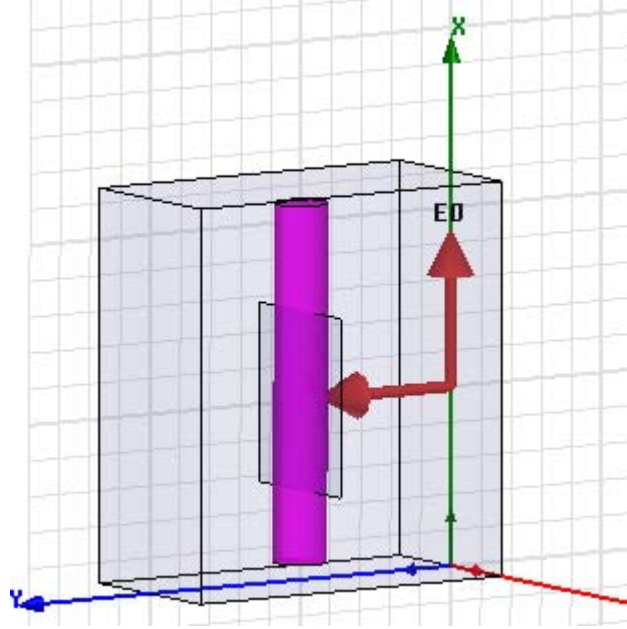
(a)



(b)

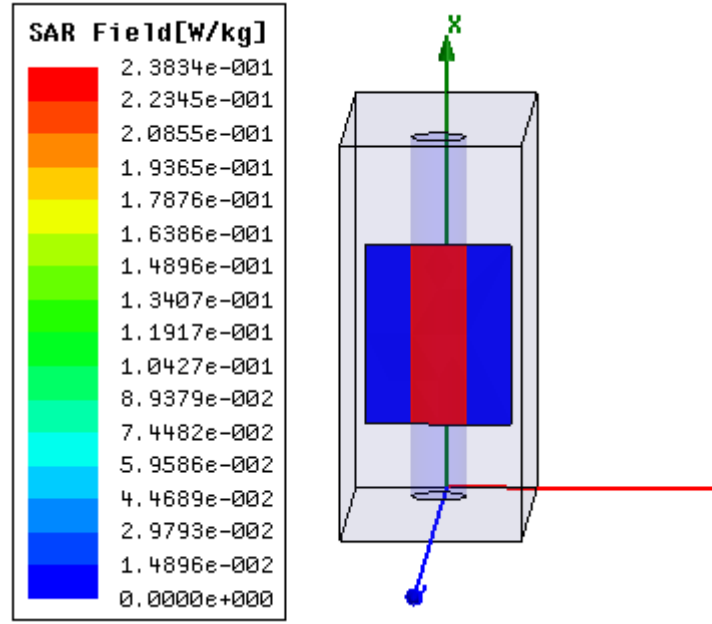
**Şekil 3.16.** Dikey kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü

Simülasyonların bir sonraki aşamasında, önceki aşamada ilgilenilen kesit aynı ancak elektrik alan bileşeninin silindirik modele Şekil 3.17’de gösterildiği gibi paralel olacak biçimde kaynak yerleştirilmiştir.

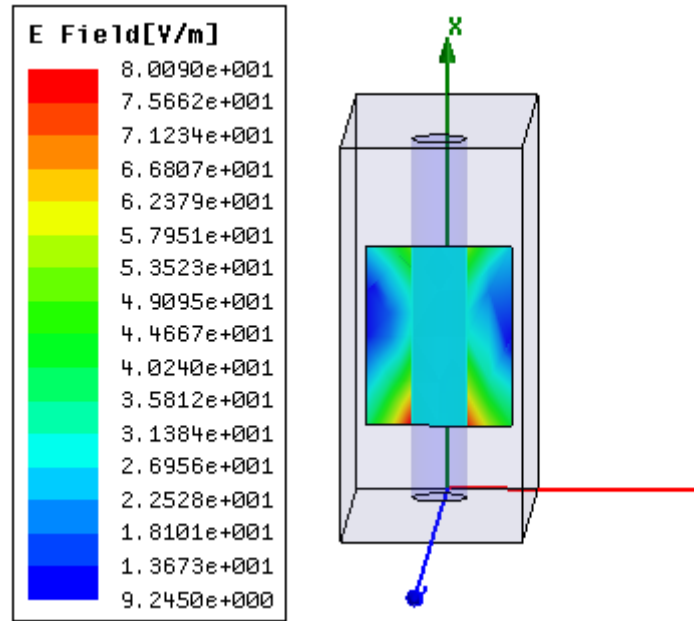


**Şekil 3.17.** Elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda basit silindirik modelin önden görünüşü ve model üzerinde dikey kesit alınması

Şekil 3.18a’da 27 MHz ve şekil 3.19a’da ise 900 MHz frekansında elektrik alan bileşeninin paralel olması durumu için silindirik kas modelinden alınan dikey kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.18’b de 27 MHz ve şekil 3.19b’de ise 900 MHz frekansında alınan dikey kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



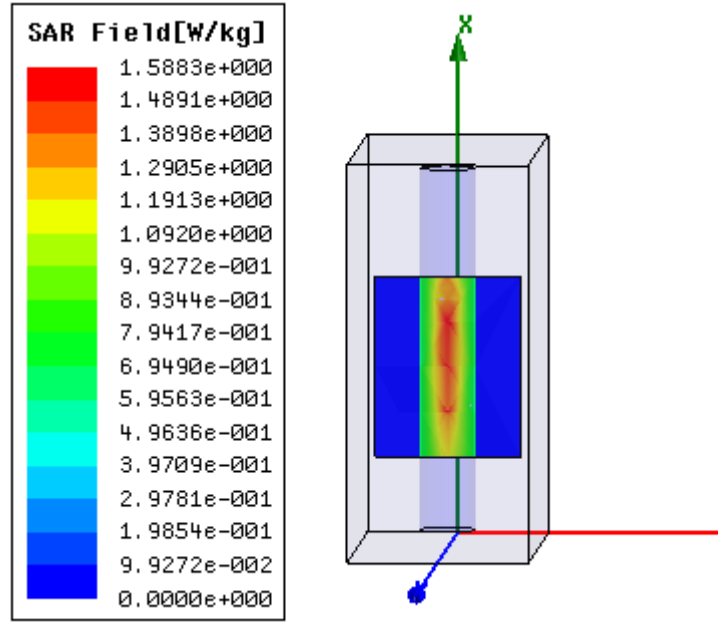
(a)



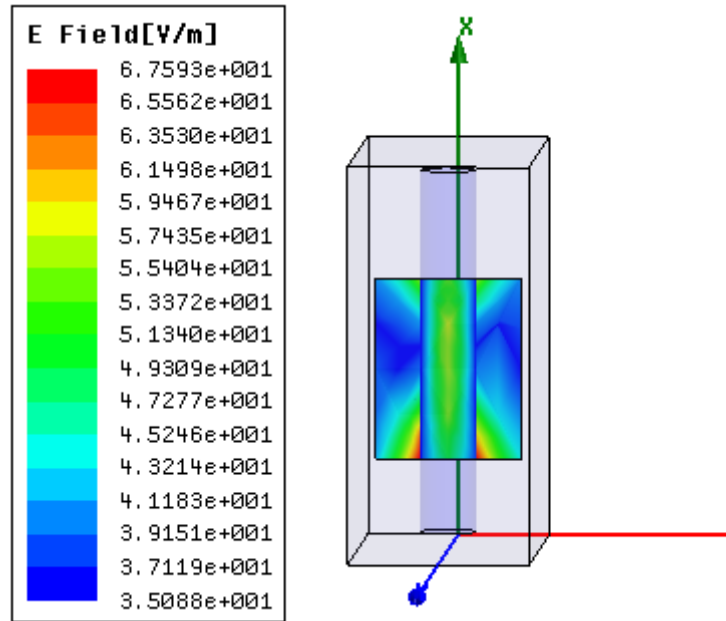
(b)

**Şekil 3.18.** Dikey kesit üzerinde 27 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü





(a)

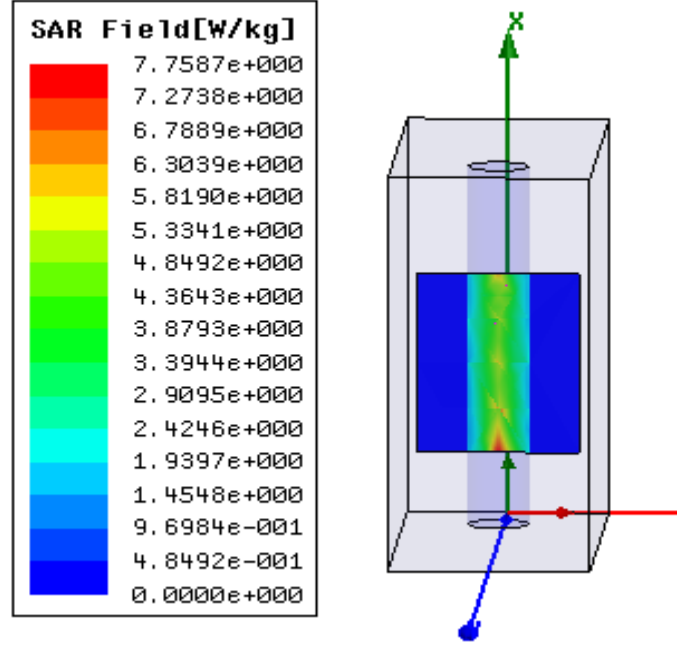


(b)

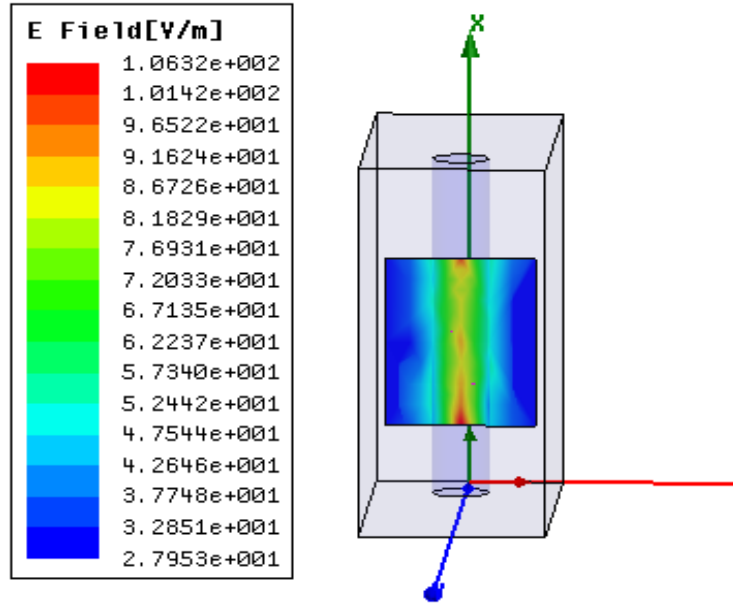
**Şekil 3.19.** Dikey kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü

Şekil 3.20a da 1800 MHz ve şekil 3.21a’da ise 2450 MHz frekansında elektrik alan bileşeninin paralel olması durumu için silindirik kas modelinden alınan bir kesit

üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.20b de 1800 MHz ve şekil 3.21b’de ise 2450 MHz frekansında alınan kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.

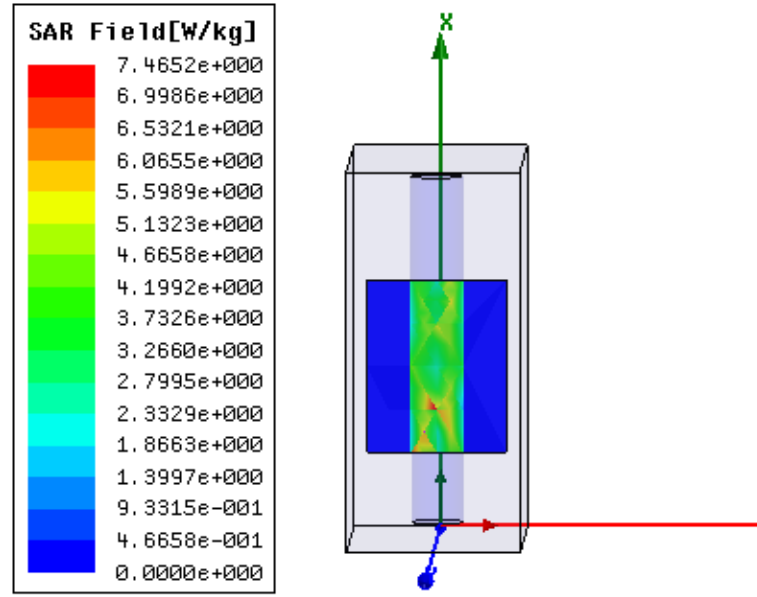


(a)

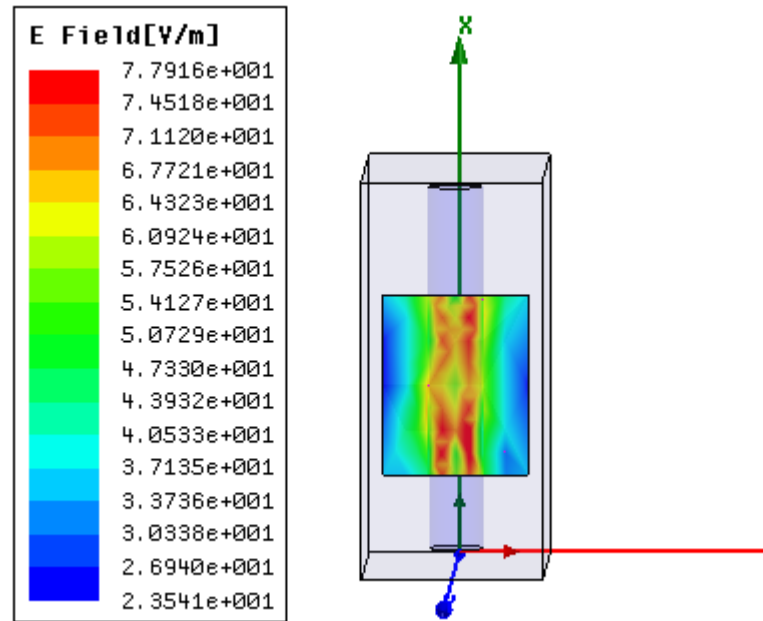


(b)

Şekil 3.20. Dikey kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü



(a)

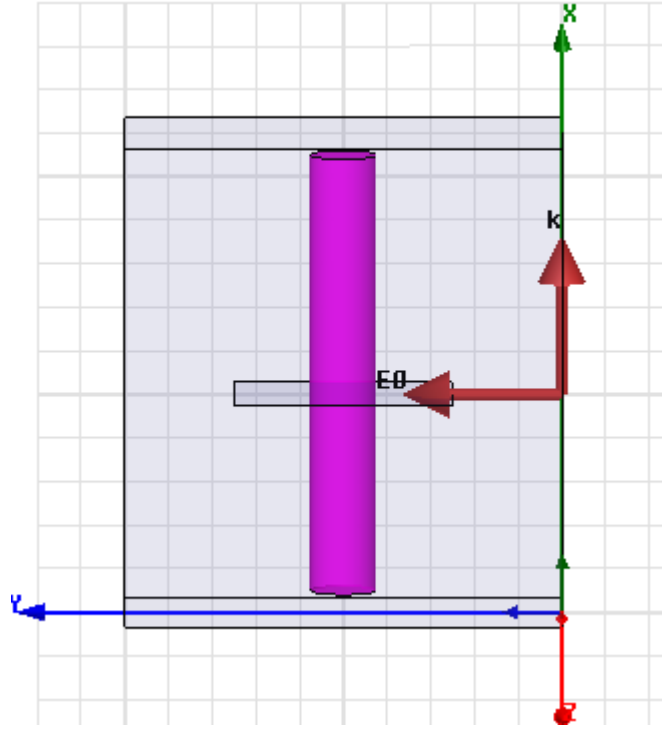


(b)

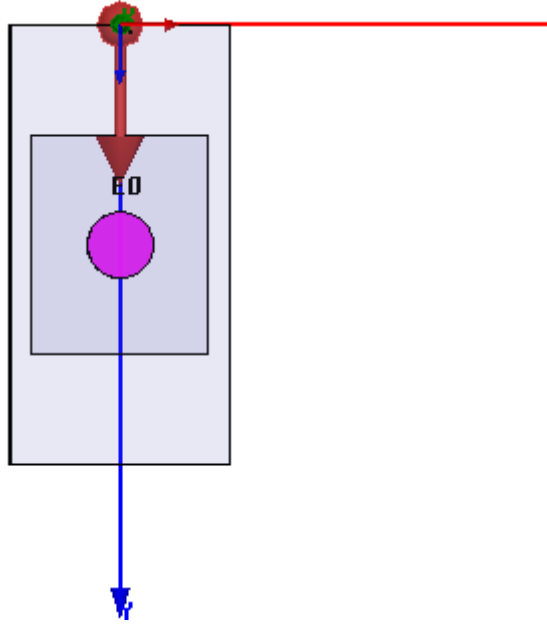
**Şekil 3.21.** Dikey kesit üzerinde 2450 MHz'de elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü

### 3.3.2.2. Silindirik model üzerindeki yatay kesit için elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 3.22a ve 3.22b’de oluşturulan silindirik kas modelinin önden ve üstten görünüşü gösterilmektedir. Simülasyonların bu aşamasında elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik gelecek şekilde kaynak yerleştirilmiştir.



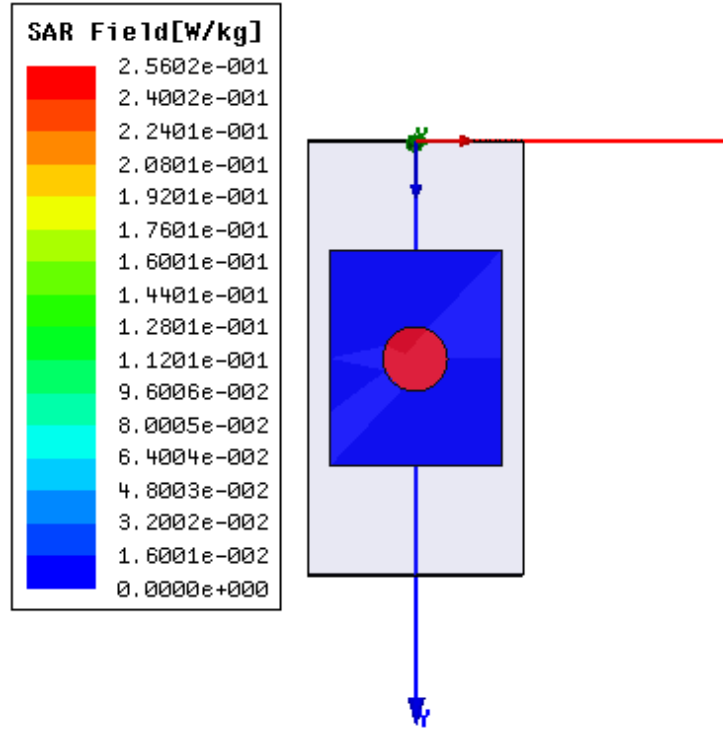
(a)



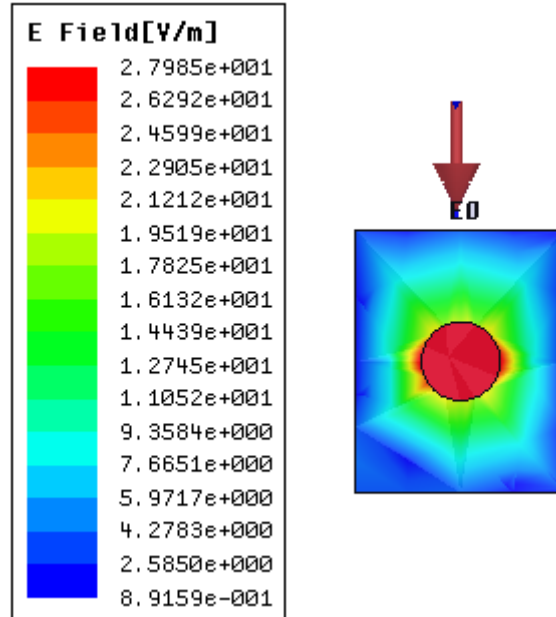
(b)

**Şekil 3.22.** Elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda, basit silindirik modelin a)önden görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması b) üstten görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması

Şekil 3.23a' da 27 MHz ve şekil 3.24a'da ise 900 MHz frekansında silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.23b' de 27 MHz ve Şekil 3.24b'de ise 900 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.

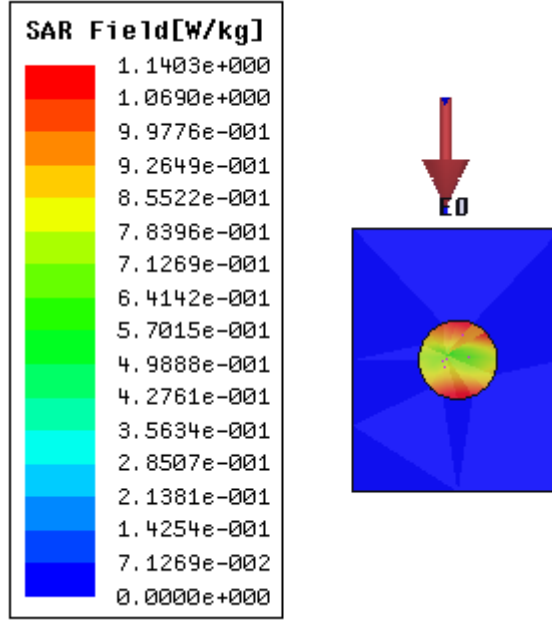


(a)

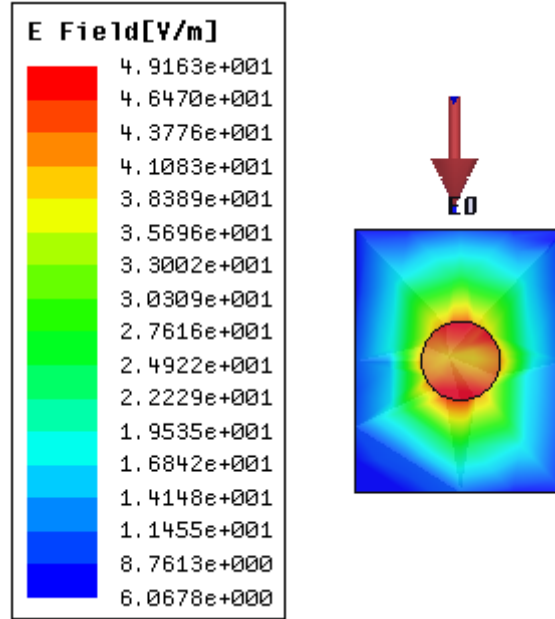


(b)

**Şekil 3.23.** Yatay kesit üzerinde 27 MHz'de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü



(a)

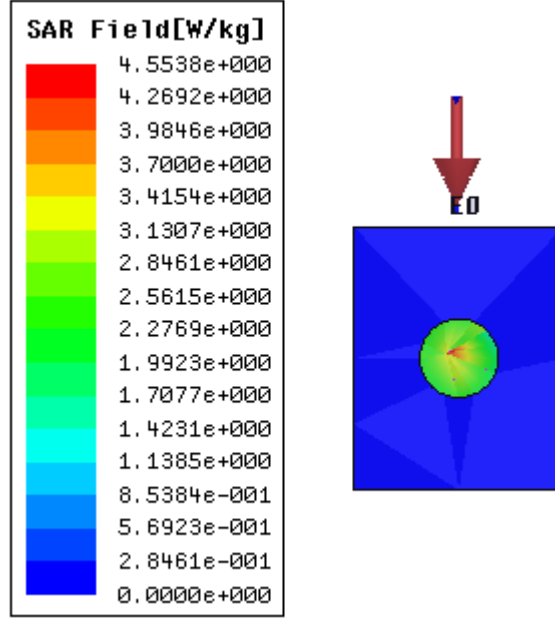


(b)

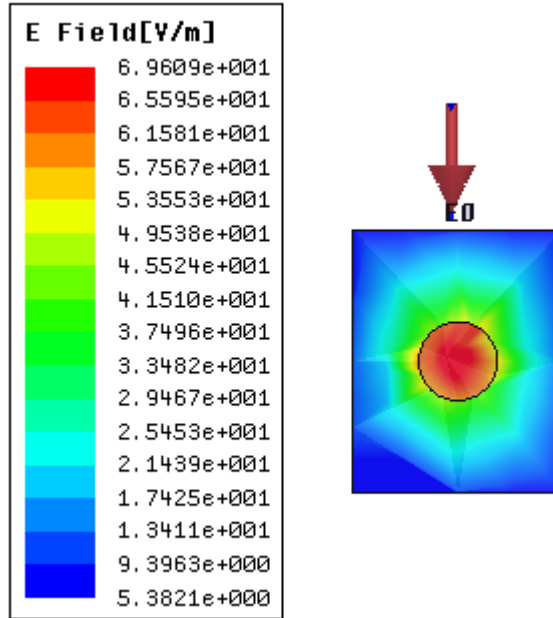
**Şekil 3.24.** Yatay kesit üzerinde 900 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

Şekil 3.25a ‘da 1800 MHz ve şekil 3.26a’da ise 2450 MHz frekansında silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil

3.25b' de 1800 MHz ve şekil 3.26b'de ise 2450 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



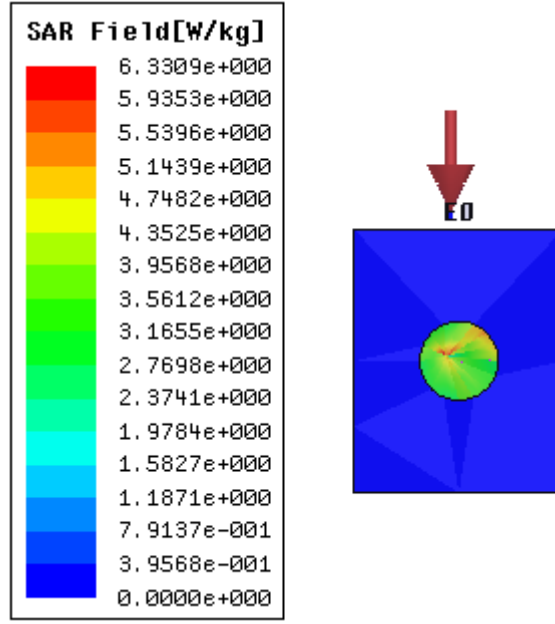
(a)



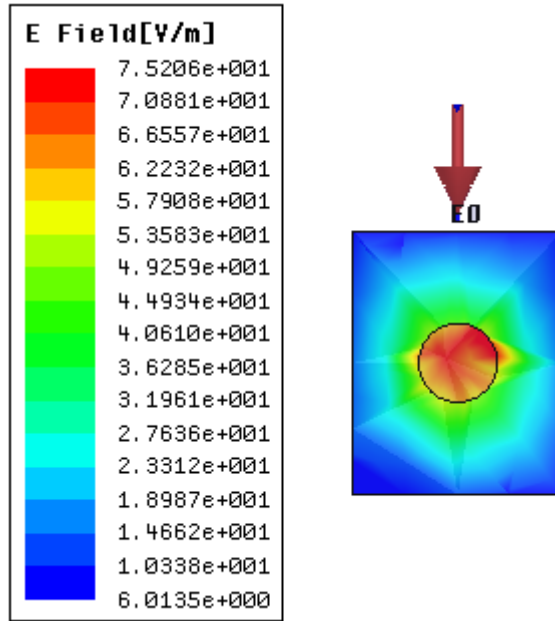
(b)

Şekil 3.25. Yatay kesit üzerinde 1800 MHz'de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü





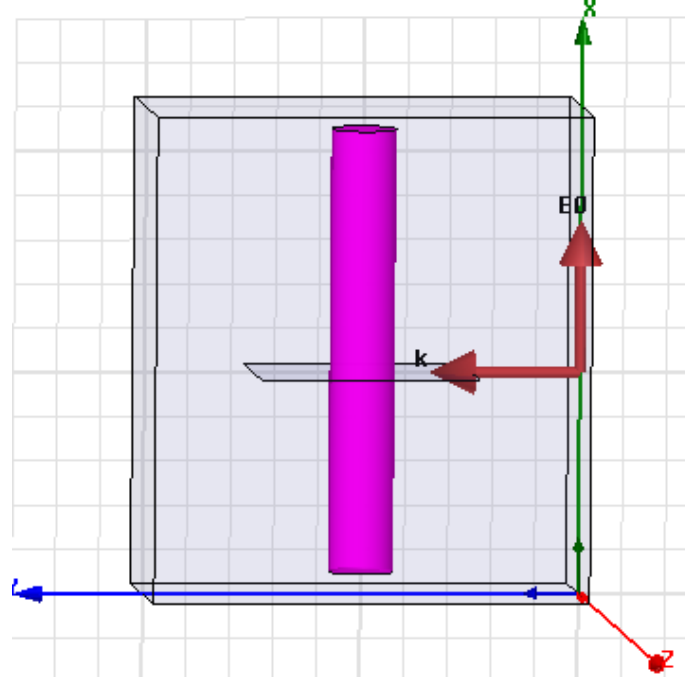
(a)



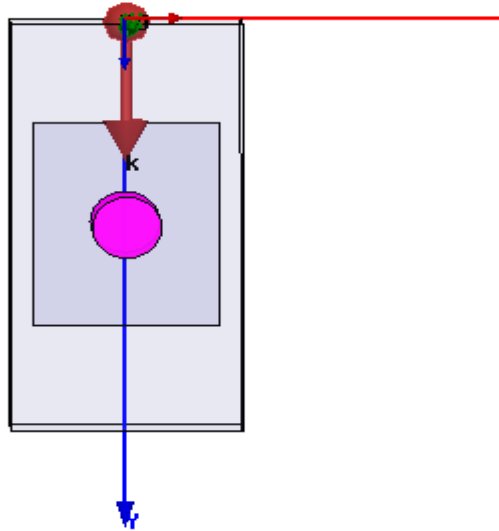
(b)

**Şekil 3.26.** Yatay kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşeninin silindirik modele dik olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

Simülasyonların bir sonraki aşamasında, önceki aşamada ilgilenilen kesit aynı ancak elektrik alan bileşeninin silindirik modele Şekil 3.27’de gösterildiği gibi paralel olacak biçimde kaynak yerleştirilmiştir.



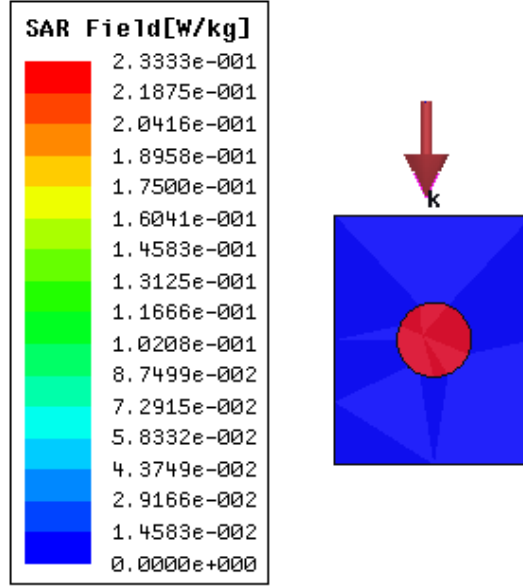
(a)



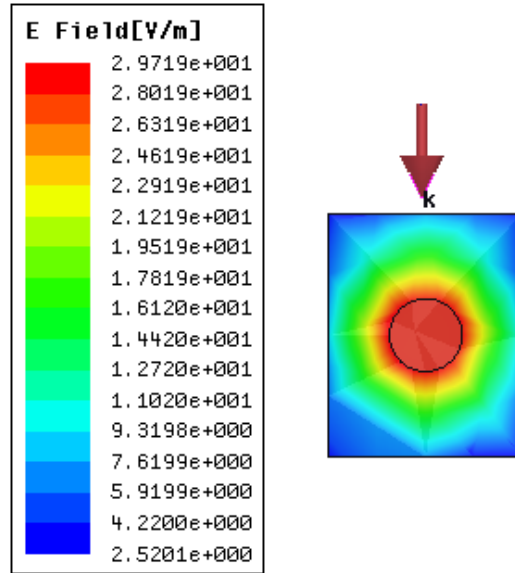
(b)

**Şekil 3.27.** Elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda basit silindirik modelin a) önden görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması b) üstten görünüşü ve model üzerinde yatay kesit alınması

Şekil 3.28a da 27 MHz frekansında elektrik alan bileşenin paralel olması durumu için silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.28'b de 27 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



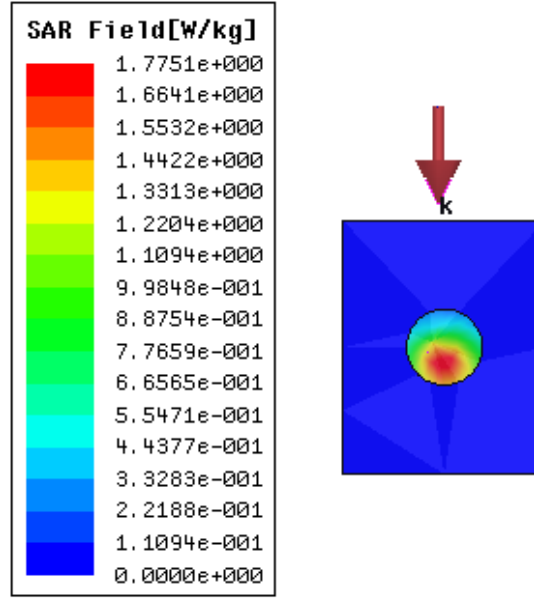
(a)



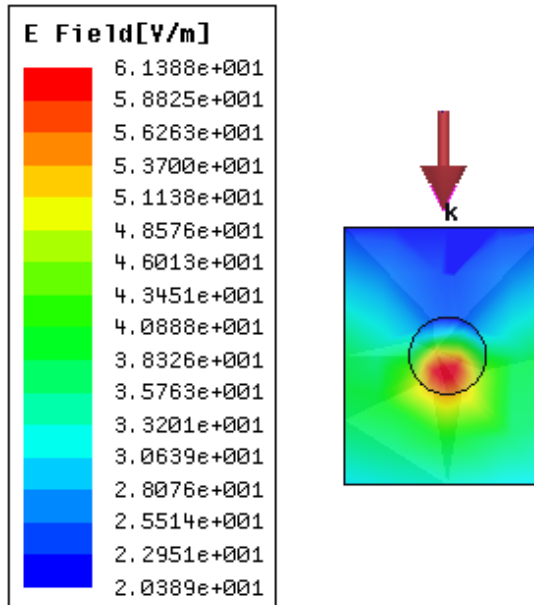
(b)

**Şekil 3.28.** Yatay kesit üzerinde 27 MHz'de elektrik alan bileşenin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

Şekil 3.29a da 900 MHz frekansında elektrik alan bileşenin paralel olması durumu için silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.29'b de 900 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



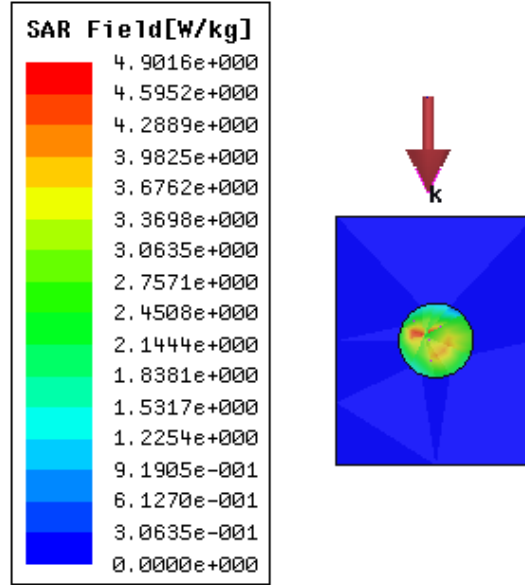
(a)



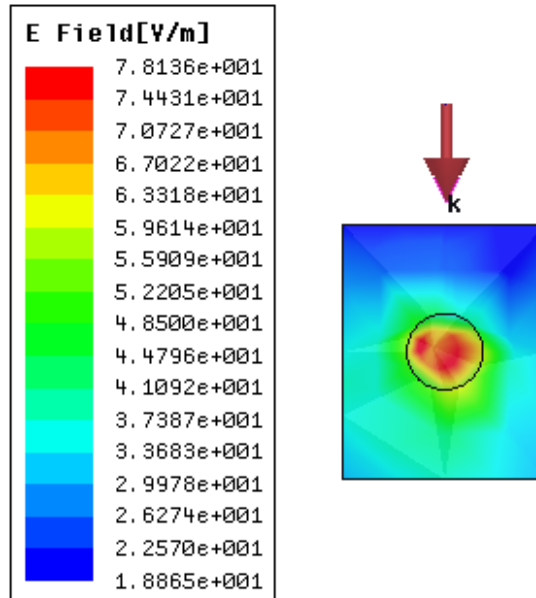
(b)

Şekil 3.29. Yatay kesit üzerinde 900 MHz'de elektrik alan bileşenin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

Şekil 3.30a da 1800 MHz frekansında elektrik alan bileşenin paralel olması durumu için silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.30b de 1800 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



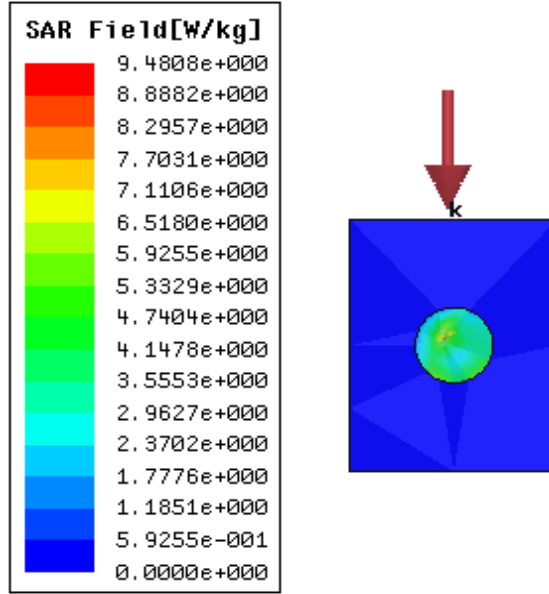
(a)



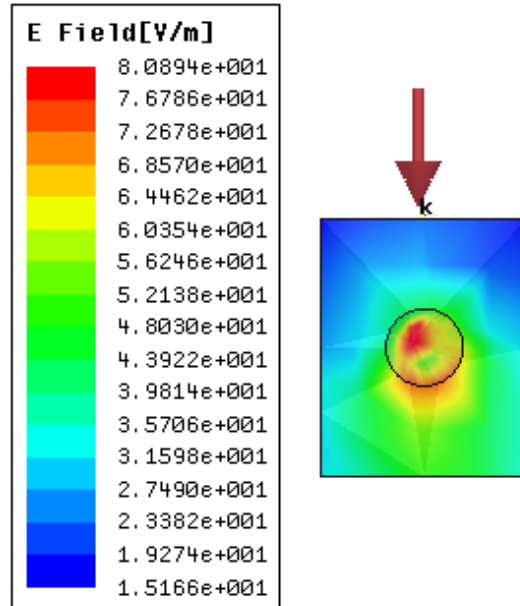
(b)

**Şekil 3.30.** Yatay kesit üzerinde 1800 MHz’de elektrik alan bileşenin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

Şekil 3.31a da 2450 MHz frekansında elektrik alan bileşenin paralel olması durumu için silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.31b de 2450 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



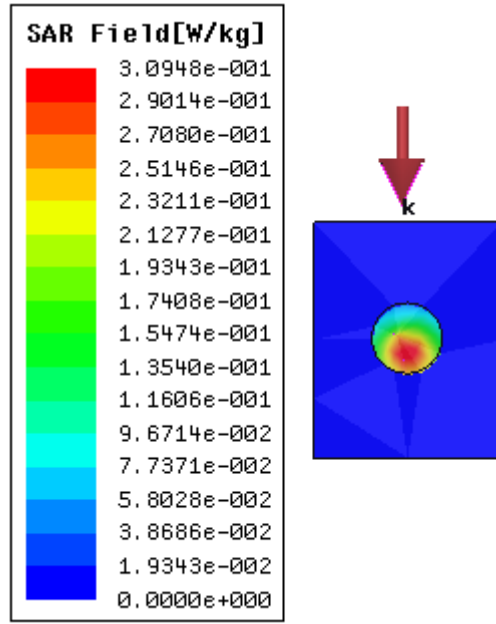
(a)



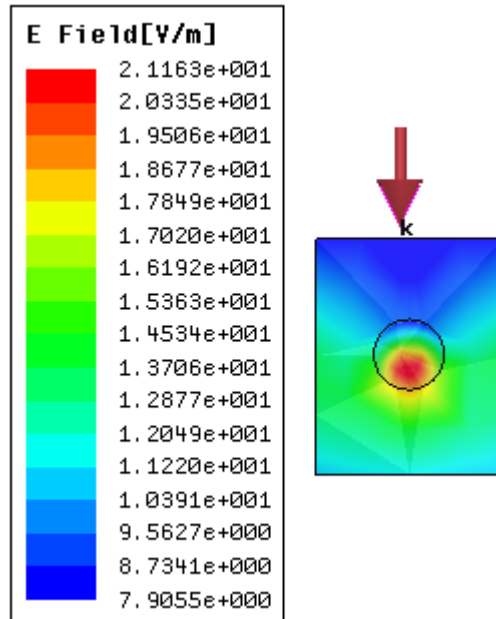
(b)

Şekil 3.31. Yatay kesit üzerinde 2450 MHz’de elektrik alan bileşenin silindirik modele paralel olması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

Bu aşamaya kadar yapılan HFSS simülasyonlar IFAC-CNR'ın internet sayfasında (IFAC-CNR, 2011) bulunan kas dokunun çalışılan frekanslardaki elektriksel özellikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak literatürde incelediğimiz frekanslar için yapılan kas eşdeğer sıvısı modellerinin elektriksel özellik değerleri farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle oluşturduğumuz 900 MHz frekansı için kas eşdeğer sıvısının(karışım-2) elektriksel özellik değerleri kullanılarak ve aynı zamanda deney düzeneğinde model üzerinde ölçülen elektrik alan değeri kullanılarak da simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu durum için 900 MHz'de HFSS simülasyonlarında  $\epsilon_r=54.7$ , iletkenlik=1.38 ve elektrik alan değeri 15.5 V/m alınmıştır. Bu aşamada ilk olarak şekil 3.27 'da gösterilen biçimde kaynak yerleştirilmiştir. Şekil 3.32a'da bu durum için 900 MHz frekansında elektrik alan bileşenin paralel olması ve kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellik değerlerinin aynısının kullanılması durumu için silindirik kas modelinden alınan yatay kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.32b de aynı durum için 900 MHz frekansında alınan yatay kesit üzerinde oluşan elektrik alan değerleri gösterilmektedir. Daha sonrada aynı parametre değerleri için şekil 3.22 'de gösterilen biçimde kaynak yerleştirilmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.33a ve şekil 3.33b'de kaynağın bu durumu için SAR ve elektrik alan değişimlerinin simülasyon sonuçları gösterilmiştir. 900 MHz frekansında kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellikleri ve deney düzeneğindeki aynı elektrik alan değeri için denklem 2.6 kullanılarak SAR değeri 0.1593 (W/kg) olmaktadır. Bu değer şekil 3.33a'daki elektrik alan bileşenin dik olması durum için silindirik model üzerinde oluşan SAR dağılımı değerlerine oldukça yakındır.



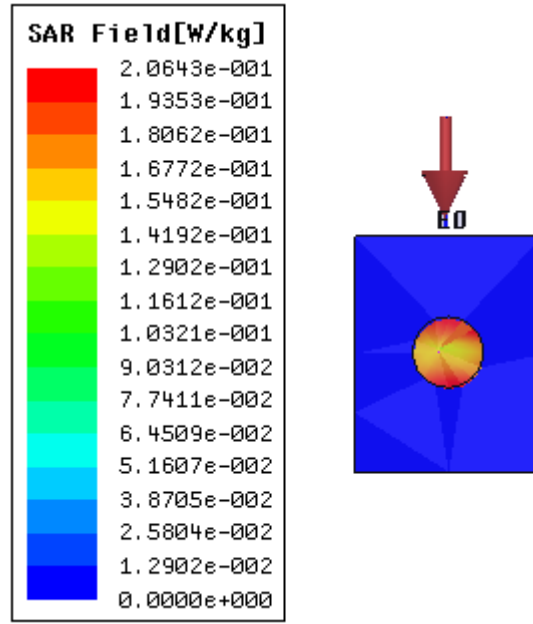
(a)



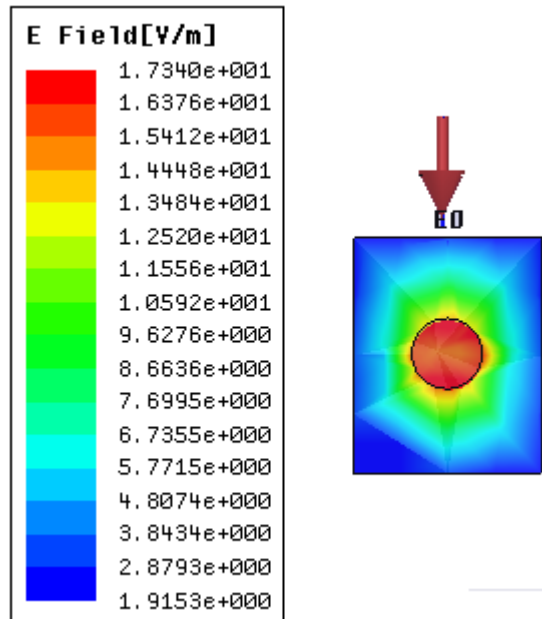
(b)

**Şekil 3.32.** 900 MHz'de elektrik alan bileşenin paralel olması ve kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellik değerlerinin aynısının kullanılması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü





(a)

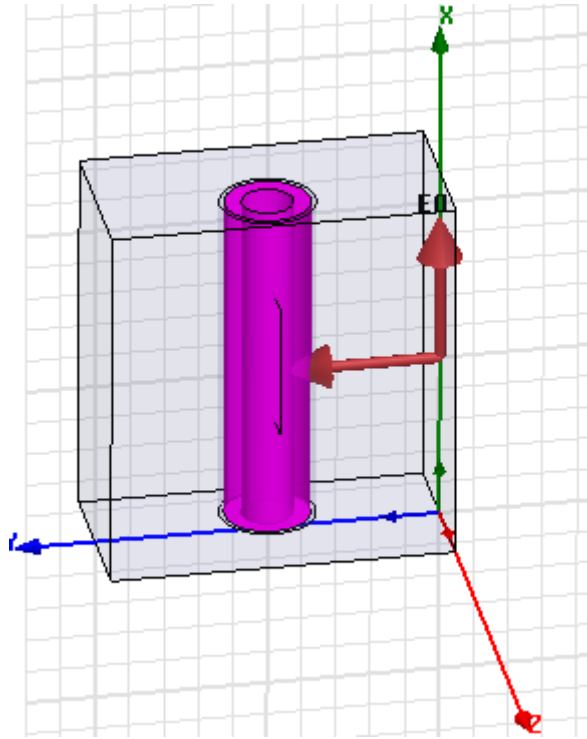


(b)

**Şekil 3.33.** 900 MHz’de elektrik alan bileşenin dik olması ve kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellik değerlerinin aynısının kullanılması durumunda a) SAR dağılımının üstten görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının üstten görünüşü

### 3.4. HFSS Programı Kullanılarak Silindirik Üç Katmanlı Modelin Oluşturulması

Çalışmanın bu kısmında model: deri, yağ ve kas olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Bu üç katmanın 900 MHz ve 1800 MHz 'deki elektriksel özellik değerleri programda kullanılarak simülasyon gerçekleştirildi. Şekil 3.34 de oluşturulan üç katmanlı silindirik modelin önden görünüşü ve ölçüm sonuçlarının alınacağı dikey kesit gösterilmektedir. Bu kısımda elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olarak geldiği durum için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Üç katmanlı model simülasyonlarda da  $k$  vektörü  $x$  yönünde ise  $(1, 0, 0)$ ,  $y$  yönünde ise  $(0, 1, 0)$  alınmıştır.



Şekil 3.34. Üç katmanlı silindirik modelin önden görünüşü

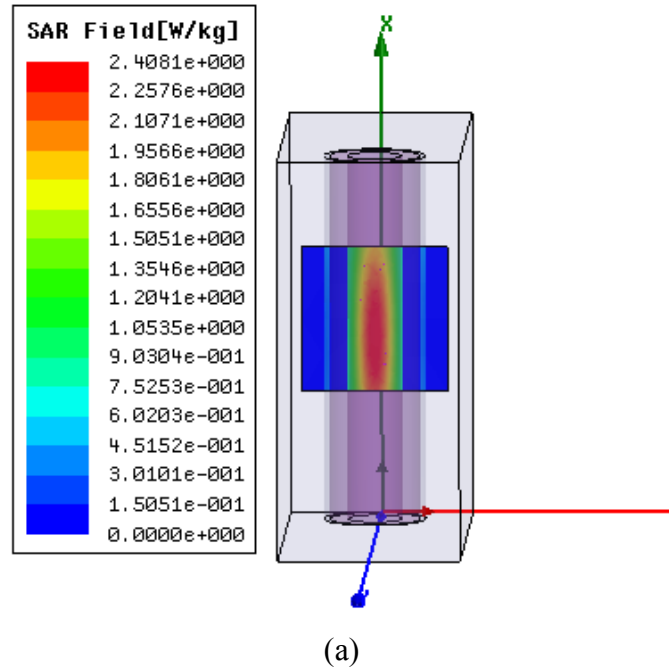
Çizelge 3.4 de oluşturulan üç katmanlı silindirik model için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametreler verilmiştir. (IFAC-CNR, 2011)

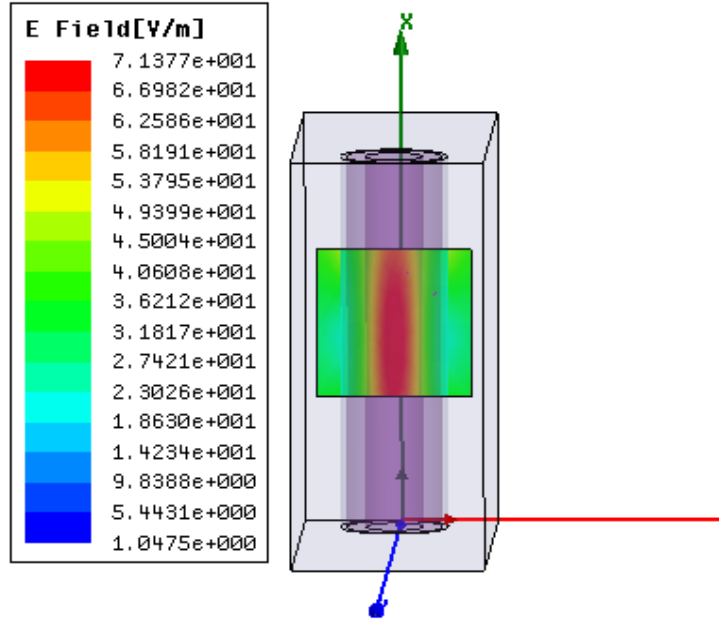
Çizelge 3.4. Üç katmanlı silindirik kas modeli için çalışılan frekanslardaki elektriksel parametre değerleri

	$\epsilon_r$ (1800 MHz)	$\sigma$ (mho/m) (1800 MHz)	$\epsilon_r$ (900 MHz)	$\sigma$ (mho/m) (900 MHz)
Deri	38.872	1.1847	41.405	0.86
Yağ	5.3494	0.0783	5.462	0.051
Kas	53.54	1.34	55.032	0.94

### 3.4.1. Üç katmanlı silindirik model üzerinde elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 3.35a da 900 MHz frekansında 3 katmanlı modelden alınan dikey kesit üzerinde oluşan SAR değerleri gösterilmektedir. Şekil 3.35b de 900 MHz frekansında model üzerinde oluşan Elektrik alan değerleri gösterilmektedir. Oluşan SAR ve elektrik alan değerlerinden görüleceği üzere kas dokusu üzerinde SAR ve elektrik alan değerleri deri ve yağ katmanlarına göre daha yüksek değerlerde olmaktadır.

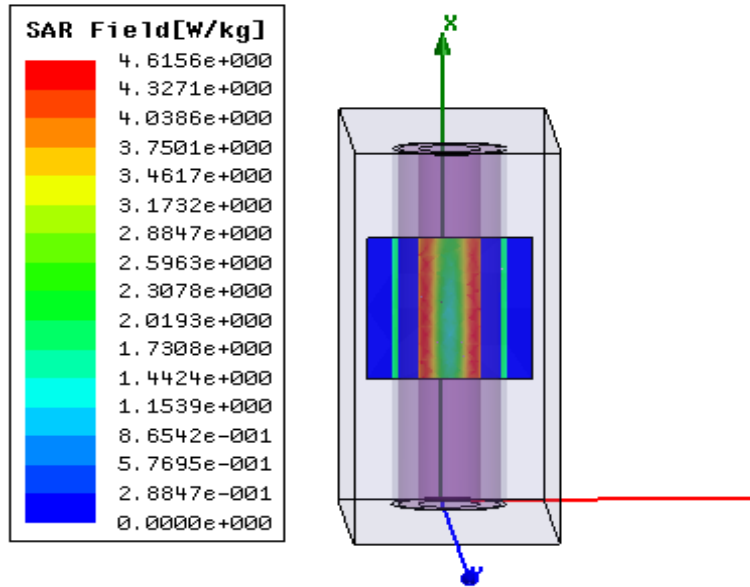




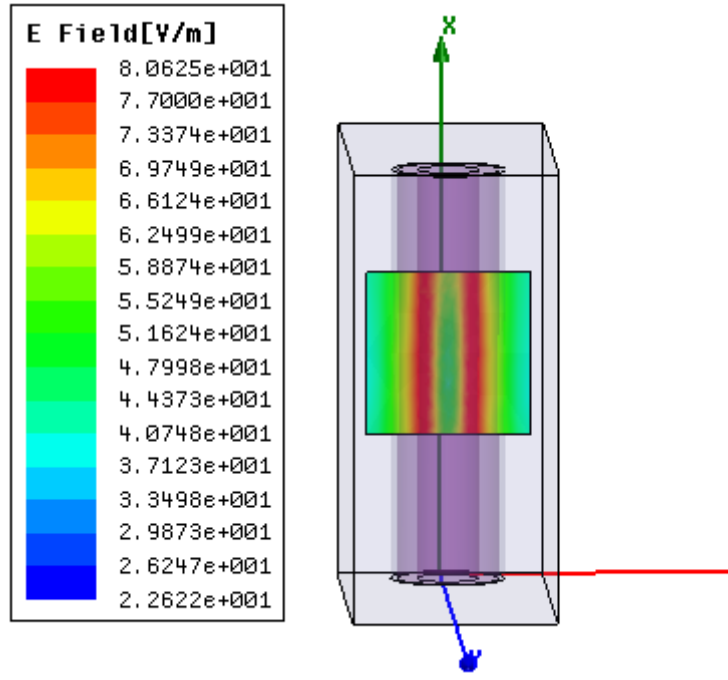
(b)

Şekil 3.35. 900 MHz’de a) SAR dağılımının önden görünüşü, b) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü

Şekil 3.36a da 1800 MHz frekansında 3 katmanlı modelden alınan bir kesit üzerinde oluşan SAR değerleri, Şekil 3.36b de ise elektrik alan değerleri gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.36. 1800 MHz'de a) SAR dağılımının önden görünüşü,  
b)Elektrik alan dağılımının önden görünüşü

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında farklı çalışma frekanslarına sahip olan kısa dalga diatermi cihazı(27.12 MHz), cep telefonu ve kablosuz haberleşme cihazlarının (900, 1800 ve 2450 MHz'de), kas doku içerisinde meydana getirdiği ısıl değişimler ve özgül soğurma oranı değişimleri farklı eşdeğer kas modellemeleri ile belirlenmiştir.

900 ve 2450 MHz için yapılan vücut eşdeğer ve kas eşdeğer sıvısı modellemelerinin hepsinde oda sıcaklığında ölçüm alınmaya başlanmış ve verici cihaz çalıştırıldığı anda sıvı içerisindeki sıcaklık değeri artmaya başlamış, cihaz kapatıldığında ise yeniden eşdeğer sıvı sıcaklığı düşmeye başlamıştır. Kısa dalga diatermi cihazının çalıştırılması durumunda ise karışımın içerisindeki sıcaklık değerinin değişiminde dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiş, cihaz kapatılınca bu dalgalanmaların durduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 900 MHz vücut eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın, saf suyun bulunduğu başka bir kaba konulması durumu ve tek başına bulunması durumları ve ayrıca kapların üzerine farklı anten polarizasyonlarının yapılması durumları için sıcaklık ölçümleri alınmıştır. 900 MHz kas eşdeğer sıvısı için ise sadece sıvının bulunduğu kabın üzerine farklı anten polarizasyonlarının yapılması durumları için sıcaklık ölçümleri alınmıştır. 900 MHz (Karışım-1) için saf suyun bulunduğu kabın üzerine dikey polarize edilmiş anten için karışımın içerisinde verici çalıştırdıktan sonraki yaklaşık 300 sn (6 dakika) süresince sıcaklık artışı meydana gelmiş sonrasında ise yaklaşık aynı değerlerde kaldığı gözlemlenmiş, yatay polarize edilmiş anten için ise verici çalıştırdıktan sonraki yaklaşık 200 sn süresince sıcaklık artışı meydana geldiği gözlemlenmiştir. 900 MHz için karışımın bulunduğu kabın üzerine dikey ve yatay polarize edilmiş anten için karışımın içerisindeki sıcaklık vericinin çalıştırılması ile artmaya başlamış, kapatılmasıyla beraber sıcaklık artışının durduğu gözlemlenmiştir. 900 MHz (Karışım-2)'deki kas eşdeğer sıvısı için ise karışımın bulunduğu kabın üzerine yatay polarize edilmiş anten için verici çalıştırdıktan sonraki yaklaşık 200 sn süresince sıcaklık artışı meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.6' dan görüldüğü üzere 900 MHz için dikey polarize edilmiş anten bulunması durumu için oluşturulan kas eşdeğer sıvısında(karışım-2) 6 dakikalık sürede sıcaklık artışı 0.7°C, şekil 3.7'de 900 MHz için yatay polarize

edilmiş anten bulunması durumu için oluşturulan kas eşdeğer sıvısında (karışım-2) bu artış yaklaşık olarak  $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve şekil 3.9'dan görüldüğü gibi 2450 MHz de  $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$  olmaktadır. Bu duruma neden olan etken deri kalınlığı (skin depth) değişimi olmalıdır.

Çalışmada çalışılan farklı frekanslar için kas dokunun, iletkenlik, yoğunluk, spesifik ısı kapasitesi, sınır değer olarak ICNIRP'nin belirlediği elektrik alan değerleri kullanılarak doku içindeki SAR değerleri matematiksel olarak hesaplanmıştır. Matematiksel olarak elde edilen bu SAR değerleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilen silindirik kas modeli simülasyonları ile elde edilen sonuçlara oldukça yakındır. 27 MHz ve 2450 MHz için matematiksel olarak hesaplanan SAR değeri, silindirik model üzerinde alınan farklı iki kesit için ve farklı elektrik alan yönleri için elde edilen SAR değişim değerlerine çok yakındır. 1800 MHz için matematiksel olarak hesaplanan SAR değeri, silindirik model üzerinde sadece dikey kesit üzerinde elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda elde edilen SAR değerinden yaklaşık olarak  $0.7\text{ (W/kg)}$  daha düşük çıkmıştır. 900 MHz için silindirik modelde dikey kesit üzerinde elektrik alan bileşeninin silindirik modele paralel olması durumunda elde edilen SAR değeri; silindirik modelin orta kısmında matematiksel olarak hesaplanan SAR değerine göre yaklaşık olarak  $0.7\text{ (W/kg)}$  daha yüksek çıkarken, silindirik modelin kenarlarında ise yaklaşık olarak aynı değerlerde çıkmıştır. Aynı yakınlık durumu 900 MHz frekansında kas eşdeğer sıvısının elektriksel özellikleri ve deney düzeneğindeki aynı elektrik alan değeri için matematiksel model kullanılarak hesaplanan ve HFSS simülasyonu ile belirlenen SAR değerleri içinde gözlemlenmiştir. Ancak kas eşdeğer sıvısı ve matematiksel model ile belirlenen sıcaklık artışı değerleri arasında bir miktar farklılık olmaktadır.

Silindirik kas modeli simülasyonlarında frekansın ve anten polarizasyonunun değişmesi ile doku içerisindeki SAR değeri ve elektrik alan değerlerinde değişim olduğu ve ayrıca kas model üzerinden farklı kesitlerin alınmasının da alınan değerlerde bir miktar değişime neden olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında özellikle 900 ve 1800 MHz frekanslarındaki cep telefonlarının ve 2.45 GHz frekansındaki kablosuz haberleşme cihazlarının ve ayrıca 27.12 MHz frekansındaki tıbbi fizyoterapi tedavi cihazlarının (kısa dalga diatermi) insan kas dokusu üzerine etkilerini belirlemek amaçlı kas eşdeğer sıvısı modelleri, matematiksel model ve bilgisayar ortamında silindirik kas modelleri oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen eşdeğer sıvı modellerinde özellikle 900 ve 2450 MHz frekanslarında elektromanyetik alan maruziyetinin doku içerisinde sıcaklık yükselmesine neden olduğu gözlemlenmiştir.

Kas eşdeğer sıvısı modellemelerinde farklı frekansların ve farklı anten polarizasyonlarının kas doku içerisinde meydana getirdiği ısı değişimlerinde farklılık oluşturduğu gözlemlenmiştir. 900 MHz frekansında, kas eşdeğer sıvısının bulunduğu kabın üzerinde yatay 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. Çalışılan diğer frekanslar için oluşturulan eşdeğer sıvılar için de vericilerin çalıştırılmasıyla beraber sıvı içerisindeki sıcaklığın artmaya başladığı, vericilerin kapatılmasıyla da yeniden ortam sıcaklığına düşme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen tek katmanlı silindirik kas modeli simülasyonları sonuçları matematiksel model sonuçları ile yakınlık göstermektedir. Gerçekleştirilen tek katmanlı silindirik kas modeli simülasyonları neticesinde modelden alınan kesit üzerindeki bazı kısımlarda 1800 ve 2450 MHz için SAR değerinin 4W/kg değerinden yüksek olduğu, 27 ve 900 MHz için ise SAR değerinin bu sınır değerden yüksek olmadığı gözlemlenmiştir. Üç katmanlı silindirik kas modelinde ise 1800 MHz frekansı için, modelden alınan kesit üzerindeki bazı kısımlarda SAR değerinin sınır değerden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Simülasyonlar göstermektedir ki, kas doku elektriksel parametreleri açısından ve



vücuttaki iskelet doku üzerindeki fizyolojik yerleşimi dolayısı ile EM enerjiden fazlası ile etkilenmektedir.

Penne ısı transfer eşitliği incelendiğinde ısı yayılımının çok karmaşık olduğu görülmektedir. Çünkü doku içerisindeki kan akış hızı, kanın ısı kapasitesi ve hedef dokunun ısı iletkenliği bu denklemin parametreleridir. Yüzeğe yakın noktalarda ısının bir artıp bir yükselmesi sınır koşullarında ısı osilasyonlara neden olmaktadır. Termal model analizinde aşağıdaki bir boyutlu Penne bioısı transfer denklemi göz önüne alınabilir (Shih T.C vd., 2007), (Pennes H.H, 1948).

$$\rho_t c_t \frac{\partial T}{\partial t} + W_b c_b (T - T_a) = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (5.1)$$

Burada  $\rho_t$  doku yoğunluğu,  $c_t$  dokunun spesifik ısısı, T dokunun sıcaklığı, t zaman,  $W_b$  kan perfüzyon oranı,  $c_b$  kanın spesifik ısısı,  $T_a$  arter kan sıcaklığı, k dokunun termal iletkenliği,  $x$  ise deri yüzeyinden olan mesafedir. Oluşturulacak olan biyolojik doku modellerinde Penne eşitliğindeki parametrelerde göz önünde bulundurularak çalışılan doku içerisindeki ısı değişimleri incelenebilir.

Gelecekte diğer spesifik frekanslar için kas modelleri oluşturulup elektromanyetik enerjinin etkileri incelenebilir. Ayrıca gönüllü denekler veya hayvanlar üzerinde elektromanyetik alan maruziyeti sonucu kas doku içerisinde meydana gelen kimyasal değişimler ve ayrıca maruziyetin kaslarda meydana getireceği yorgunluk etkileri incelenebilir. İnsan kas dokusunda elektromanyetik alan maruziyetinin etkilerinin incelendiği bu çalışmanın gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılar için yararlı olması dileklerimizle.

## 6. KAYNAKLAR

- Akleman, F., Özyalçın, M.O., Sevgi, L., 1999. Elektromanyetik Kirlilik ve Modelleme Teknikleri. Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- Anonim, 2001. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı-Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları, Tübitak-Bülten.
- Anonim, 2002. IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 GHz, C95.3-2002.
- Anonim, 2003. Radiocommunications (Electromagnetic Radiation — Human Exposure) Standard.
- Ansoft, 2010. <http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/>, Erişim Tarihi: 20.04.2010.
- Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), 1998. ARIB-STD- T56, Specific Absorption Rate (SAR) Estimation for Cellular Phone.
- BTK, 2009. [http://www.tk.gov.tr/Yayin/baz\\_istasyonu/baz-ist-bilginotu.pdf](http://www.tk.gov.tr/Yayin/baz_istasyonu/baz-ist-bilginotu.pdf), Erişim Tarihi: 12.05.2010.
- 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.
- Ermol, C., 2008. 900 ve 1800 MHz Mobil Telefonların Oluşturduğu Elektromanyetik Alanın Tendon İyileşmesine Etkisi: Ratlarda Deneysel Çalışma. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi.
- Firengiz, A., Kavas, A., 2005. Cep Telefonlarından Yayınlanan Elektromagnetik Radyasyon Ölçümleri ve Maruz Kalma Standartlarının Değerlendirilmesi. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, ITUSEM, pp-65-70. 17-19 Kasım 2005, Adana.
- Fizikoterapi, 2011. <http://www.fizikoterapi.com>, Erişim Tarihi: 20.05.2011.
- Hartsgrove, G., Kraszewski, A., Surowiec, A., 1987. Simulated Biological Materials for Electromagnetic Radiation Absorption Studies. *Bioelectromagnetics* 8, pp. 29-36,
- IFAC-CNR, 2011. <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop> Erişim Tarihi: 15.04.2011.

- Kahriman, M., Çerezci, O., Demir, Z., 2001. Cep Telefonlarının İnsan Kafasında Oluşturduğu Elektromanyetik Güç Yoğunluğunun (SAR) Ölçülmesi. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9.Ulusal Kongresi, Kocaeli.
- Leonard, J.B., Foster, K.R., Athey, T.W., 1984. Thermal properties of tissue equivalent phantom materials. IEEE Trans.Biomed, Eng. 31 533–6
- Liang-Cheng Kuo and Huey-Ru Chuang, 2003. Design of A 900/1800 MHz Dual-Band Loop Antenna Mounted on A Handset Considering the Human Hand and Head Effects.
- Paker, S., Sevgi, L., 1998. FDTD Evaluation of The SAR Distribution In a Human Head Near a Mobile Cellular Phone. Elektrik, Vol.6, No.3, TUBITAK 1998, pp227-242
- Pennes, H.H., 1948. Analysis of tissue and arterial temperatures in the resting human forearm. Journal of Applied Physiology, vol 1, 93-122.
- Pšenáková, Z., 2006. Numerical modeling of electromagnetic field effects on the human body. Advances in Electrical and Electronic Engineering, No. 1-2, Vol. 5/2006, ISSN. 1336-1376 str. 319-322.
- Sevgi, L., 2000. Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları. EMO İstanbul Şubesi Bülteni, Ocak-Temmuz 2000 sayısı.
- Sevgi, L., Ağustos 2004. Haberleşme Sistemleri ve Elektromanyetik Dalga Yayılımı. Endüstriyel&Otomasyon, [www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO\\_Agustos04.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Agustos04.pdf). Erişim Tarihi: 01.06.2010.
- Shih, T.C., Yuan, P., Lin, W.L., Kou, H.S., 2007. Analytical analysis of the Pennes bioheat transfer equation with sinusoidal heat flux condition on skin surface. Medical Engineering & Physics, 29, 946-953.
- 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.
- Şeker, Ş.S., Çerezci, O., 2000. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi Yayını.
- Yagmur, F., Bozbiyık, A., Hancı, H., 2003. Elektromanyetik dalgaların insan biyokimyası üzerine etkileri. Sted 2003; 12: 296–97.

- Yüksel, M.E., Zaim, A.H., 2009. RFID'nin Kablosuz İletişim Teknolojileri İle Etkileşimi. Akademik Bilişim, Şanlıurfa, 11 - 13 Şubat 2009.
- 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

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Lütüfiye Nurel ÖZDİNÇ POLAT

Doğum Yeri ve Yılı: Gaziantep / 1985

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gaziantep Anadolu Lisesi (1999-2003)

Lisans : Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü (2005 -2008)

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü (2009 –devam ediyor)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

- Süleyman Demirel Üniversitesi, Uluborlu Selahattin Karasoy Meslek Yüksekokulu-Elektronik Haberleşme Teknolojisi Bölümünde Kısmi zamanlı Öğretim Elemanı (Şubat 2010 –Haziran 2010)
- Fujitsu Siemens Computers, Proje Kontrol Mühendisi (Ocak 2009-Haziran 2009)
- Ersan Elektrik İnş. Taah.Tic.Ltd.Şti., Hakediş-Planlama Mühendisi (Kasım 2008 –Ocak 2009 )
- ETC Telekomünikasyon Sanayi Tic. A.Ş. , Proje-Kontrol Mühendisi (Eylül 2008-Kasım2008)

Yayımları (SCI ve diğer makaleler)

1- Ulusal toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri :

L. Nurel Özdiñç Polat, Mesud Kahrıman, Selçuk Çömlekçi, "Üç Eksenli Görüntü Kullanılarak Kafa modeli Oluşturma ve Nümerik Yöntemler ile SAR Dağılımının Hesaplanması", 15. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı- Biyomut 2010, 21-24 Nisan 2010, Antalya, Türkiye.