

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, gelişimi gün geçtikçe artan kablosuz haberleşme teknolojisi sonucu elektromanyetik alana maruziyetinden kaynaklanan elektrik alan şiddeti ve özgül soğurma oranının; belirlenen bazı parametreler kıstasında ölçümü sağlanmıştır. Bu oranı insan vücudunda ölçmek oldukça zor olduğundan üç boyutlu bir analiz programı kullanılmıştır. Yerleştirilen antenin ve referans noktaların konumu değiştirilerek farklı frekanslarda çalışmalar tekrar edilmiştir. Farklı frekansların ve uygulama noktasındaki değişikliklerin elektrik alan şiddeti ile özgül soğurma oranı dağılımlarına etkisi incelenmiştir.

Bu tezin hayata geçirilmesi sürecinde uygun parametrelerin belirlenmesi, benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi ve uygun sonuçların elde edilmesi için bilgi, tecrübe ve önerilerinden faydalandığım danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA'ya, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölüm arkadaşlarım Esmâ KADI ve Reyhan SAĞ'a, yoğun çalışma saatlerimize rağmen desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen KTÜ Teknoloji Transferi Uygulama ve Araştırma Merkezi yönetimi ve mesai arkadaşlarıma, bana olan güvenlerini hiç kaybetmeyen anneme, babama, Burcu ablama ve Sedanur ablama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gözde SAĞLAM

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Elektromanyetik Işınım Maruziyetinin Bebek Modeli Üzerinde İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 02/06/2020


Gözde SAĞLAM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Elektromanyetik Dalgalar	3
1.3. Elektrik Alan Şiddeti Standartları	3
1.4. Antenler.....	4
1.5. Temel Anten Parametreleri.....	5
1.5.1. Işıma Örüntüsü ve Hüzme Genişliği	5
1.5.2. Yansıma Katsayısı ve Geri Dönüş Kaybı	6
1.5.3. Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio - VSWR)	6
1.5.4. Giriş Empedansı	7
1.5.5. Polarizasyon.....	7
1.5.6. Bant Genişliği	8
1.5.7. Anten Verimi	9
1.5.8. Yöneltilik	9
1.5.9. Anten Kazancı	10
1.5.10. Anten Alan Bölgeleri	10
1.6. Anten Çeşitleri.....	11
1.6.1. Tel Antenler	11
1.6.2. Dipol ve Yarım Dalga Dipol Antenler	11
1.7. Küresel Mobil İletişim Sistemi (Global System for Mobile Communication – GSM) Frekansları.....	12
1.8. Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity – Wi-Fi) Frekansları.....	13
1.9. Özgül Soğurma Oranı (SAR- Specific Absorption Rate)	13
1.10. Literatür Araştırması	16

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	20
2.1.	CST Studio Suite Paket Programı	20
2.2.	Model Düzenek Tasarımı.....	20
2.2.1.	Yarım Dalga Dipol Anten Tasarımı	20
2.2.2.	Yarım Dalga Dipol Anten ile Bebek Modeli'nin Konumlandırılması ve Ölçüm Detayları	23
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	27
3.1.	900 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti ve SAR Dağılımının İncelenmesi	27
3.1.1.	900 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Düşey Eksendeki Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti'nin İncelenmesi	27
3.1.2.	900 MHz Frekansta Antenin Konumunun Düşey Eksendeki Değişimine Göre SAR Dağılımının İncelenmesi	29
3.2.	1800 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti ve SAR Dağılımının İncelenmesi	32
3.2.1.	1800 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Düşey Eksendeki Değişimine Göre Elektrik Alan İncelenmesi.....	32
3.2.2.	1800 MHz Frekansta Antenin Konumunun Düşey Eksendeki Değişimine Göre SAR Dağılımının İncelenmesi	34
3.3.	2,4 GHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti ve SAR Dağılımının İncelenmesi	36
3.3.1.	2,4 GHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Düşey Eksendeki Değişimine Göre Elektrik Alan İncelenmesi.....	36
3.3.2.	2,4 GHz Frekansta Antenin Konumunun Düşey Eksendeki Değişimine Göre SAR Dağılımının İncelenmesi	38
3.4.	Seçilen Çalışma Noktalarındaki Elektrik Alan Şiddeti'nin Frekanslara Göre Değişiminin İrdelenmesi.....	41
3.5.	Kafa Bölgesindeki SAR Dağılımı'nın Frekanslara Göre Değişiminin İrdelenmesi.....	42
4.	SONUÇ	45
5.	ÖNERİLER.....	46
6.	KAYNAKLAR.....	47

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ELEKTROMANYETİK IŞINIM MARUZİYETİNİN BEBEK MODELİ ÜZERİNDE
İNCELENMESİ

Gözde SAĞLAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA
2020, 49 Sayfa

Günümüzde hızlı değişim ve gelişim gösteren teknoloji kavramı haberleşme alanında da önemli bir yere sahip olup, bu gelişimle birlikte her yaş ve meslek grubunun kullandığı çeşitli elektronik cihazlar (cep telefonları, bilgisayar vs.) ortaya çıkmıştır. Günlük hayatta kullanılan bu cihazların kullanıcılara sağladığı avantajların yanı sıra yaygın kullanıma bağlı olarak, dezavantajları da bulunmaktadır. Bu çalışmada da kablosuz cihazların çalıştıkları frekanslarda oluşturdukları elektromanyetik yayılımın bebek modeli üzerine etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Elektromanyetik alanlara maruz kalma sonucu oluşan temel biyolojik risk, dokudaki sıcaklık artışıdır. Buna bağlı olarak kabul edilen temel büyüklük; birim ağırlık başına elektromanyetik enerjinin soğurulma oranı olarak tanımlanan Özgül Soğurma Oranı'dır. Bu çalışmada da; insan vücudunda SAR değerini direkt olarak ölçmek oldukça zor olduğundan üç boyutlu elektromanyetik analiz yazılımı olan bir paket program kullanılarak elektrik alan şiddetinin ve SAR dağılımının incelenebileceği bir düzen oluşturulmuştur. Yarım dalga dipol anten üzerinden 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslarında sürekli dalga işaretleri uygulanarak bir bebek modeli üzerinde oluşan elektromanyetik dağılım incelenmiştir. Seçilen referans noktadaki elektrik alan şiddeti ve bebek modelinin beyin dokusundaki SAR dağılımı; antenin farklı konumlarında ve farklı frekanslarda incelenmiştir. Böylece uygulama noktasındaki mesafe ve frekans değişiminin, elektrik alan şiddeti ile özgül soğurma oranı dağılımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik alan şiddeti, Elektromanyetik dalga, SAR, Özgül soğurma oranı

Master Thesis

SUMMARY

EXAMINATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION EXPOSURE ON THE
BABY MODEL

Gözde SAĞLAM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assistant Professor Haydar KAYA
2020, 49 Pages

The concept of technology, which is rapidly changing and developing today, has an important place in the field of communication, and with this development various electronic devices (mobile phones, computers etc.) have been used by all ages and professions. In addition to the advantages of these devices, there are also disadvantages depending on the widespread use. In this study, it is aimed to investigate the effects of electromagnetic propagation created by wireless devices at the frequencies they operate on the baby model. The main biological risk resulting from exposure to electromagnetic fields is the increase in temperature in the tissue. Accordingly, it is the Specific Absorption Rate, which is defined as the absorption rate of electromagnetic energy per unit weight. Since it is very difficult to directly measure the SAR value in the human body, a scheme has been created to examine the electric field intensity and the SAR distribution using a package program with three-dimensional electromagnetic analysis software. Electromagnetic distribution on a baby model was examined by applying continuous wave signals at 900 MHz, 1800 MHz and 2.4 GHz frequencies over a half-wave dipole antenna. The electric field intensity at the selected reference points and the SAR distribution of the baby model in the brain tissue; was examined at different positions of the antenna and at different frequencies. Thus, the effects of distance and frequency change at the application point on the electric field intensity and the specific absorption ratio distribution were evaluated.

Key Words: Electric field intensity, Electromagnetic wave, SAR, Specific absorption rate

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	“S ₁₁ ” değişim grafiği üzerinde bant genişliğinin gösterimi	8
Şekil 2.1.	f= 900 MHz için dalga boyu 15,2 cm olarak belirlenen antenin S ₁₁ değişimi	21
Şekil 2.2.	900 MHz frekansta tasarlanan antenin uzak alan yönlendiricilik paterni.....	21
Şekil 2.3.	f= 1800 MHz için dalga boyu 7,6 cm olarak belirlenen antenin S ₁₁ değişimi	22
Şekil 2.4.	1800 MHz frekansta tasarlanan antenin uzak alan yönlendiricilik paterni.....	22
Şekil 2.5.	f= 2,4 GHz için dalga boyu 5,7 cm olarak belirlenen antenin S ₁₁ değişimi ...	23
Şekil 2.6.	2,4 GHz frekansta tasarlanan antenin uzak alan yönlendiricilik paterni	23
Şekil 2.7.	Yarım dalga dipol anten ve bebek modelinin yerleşimi	24
Şekil 2.8.	Antenin A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₄ konumlarının ve prob koordinatlarının gösterimi	25
Şekil 2.9.	SAR dağılımının değerlendirilmesi için kullanılan renk cetveli	26
Şekil 3.1.	900 MHz frekansta (-24, 6, 0) ve (-24, 4, 0) noktalarındaki elektrik alan şiddetinin değişimi	28
Şekil 3.2.	900 MHz frekansta anten A ₁ konumundayken yönlendiricilik paterni	28
Şekil 3.3.	900 MHz frekansta, anten A ₁ konumunda iken görülen SAR dağılımı	29
Şekil 3.4.	900 MHz frekansta, anten A ₂ konumunda iken görülen SAR dağılımı	30
Şekil 3.5.	900 MHz frekansta, anten A ₃ konumunda iken görülen SAR dağılımı	30
Şekil 3.6.	900 MHz Frekansta, Anten A ₄ Konumunda iken Görülen SAR Dağılımı.....	30
Şekil 3.7.	900 MHz frekansta antenin konumu bebek modelinden uzaklaştıkça (a-d) beyin dokusunda görülen SAR dağılımının değişimi	31
Şekil 3.8.	1800 MHz frekansta (-24, 6, 0) ve (-24, 4, 0) noktalarındaki elektrik alan şiddetinin değişimi	32
Şekil 3.9.	1800 MHz frekansta anten A ₁ konumundayken yönlendiricilik paterni	33
Şekil 3.10.	1800 MHz frekansta, anten A ₁ konumunda iken görülen SAR dağılımı	34
Şekil 3.11.	1800 MHz frekansta, anten A ₂ konumunda iken görülen SAR dağılımı	34
Şekil 3.12.	1800 MHz frekansta, anten A ₃ konumunda iken görülen SAR dağılımı	35
Şekil 3.13.	1800 MHz frekansta, anten A ₄ konumunda iken görülen SAR dağılımı	35
Şekil 3.14.	1800 MHz frekansta antenin konumu bebek modelinden uzaklaştıkça (a-d) beyin dokusunda görülen SAR dağılımının değişimi	35
Şekil 3.15.	2,4 GHz frekansta (-24, 6, 0) ve (-24, 4, 0) noktalarındaki elektrik alan şiddetinin değişimi	37
Şekil 3.16.	2,4 GHz frekansta anten A ₁ konumundayken yönlendiricilik paterni.....	37

Şekil 3.17. 2,4 GHz frekansta, anten A ₁ konumunda iken görülen SAR dağılımı.....	39
Şekil 3.18. 2,4 GHz frekansta, anten A ₂ konumunda iken görülen SAR dağılımı.....	39
Şekil 3.19. 2,4 GHz frekansta, anten A ₃ konumunda iken görülen SAR dağılımı.....	39
Şekil 3.20. 2,4 GHz frekansta, anten A ₄ konumunda iken görülen SAR dağılımı.....	40
Şekil 3.21. 2,4 GHz frekansta antenin konumu bebek modelinden uzaklaştıkça (a-d) beyin dokusunda görülen SAR dağılımının değişimi	40
Şekil 3.22. (-24, 6, 0) noktasındaki elektrik alan şiddetinin antenin konumuna ve frekansa göre değişim grafiği	41
Şekil 3.23. (-24, 4, 0) noktasındaki elektrik alan şiddetinin antenin konumuna ve frekansa göre değişim grafiği	42
Şekil 3.24. Anten A ₁ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları.....	43
Şekil 3.25. Anten A ₂ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları.....	43
Şekil 3.26. Anten A ₃ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları.....	43
Şekil 3.27. Anten A ₄ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları.....	44

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından belirlenen elektrik alan şiddeti limitleri.....	4
Tablo 2.1. Adlandırılan anten konumlarının koordinatları	25
Tablo 3.1. 900 MHz frekansta anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken, referans noktalarda görülen elektrik alan şiddetleri	27
Tablo 3.2. 900 MHz frekansta ortamın serbest uzay olarak kabul edilerek, $(-24, 6, 0)$ referans noktası için hesaplanan elektrik alan şiddetleri.....	29
Tablo 3.3. 900 MHz frekansta $(-24, 4, 0)$ noktasına görülen elektrik alan şiddeti ve karşılık gelen SAR değeri	31
Tablo 3.4. 1800 MHz frekansta anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken, referans noktalarda görülen elektrik alan şiddetleri.....	32
Tablo 3.5. 1800 MHz frekansta ortamın serbest uzay olarak kabul edilerek, $(-24, 6, 0)$ referans noktası için hesaplanan elektrik alan şiddetleri.....	33
Tablo 3.6. 1800 MHz frekansta $(-24, 4, 0)$ noktasına görülen elektrik alan şiddeti ve karşılık gelen SAR değeri	36
Tablo 3.7. 2,4 GHz frekansta anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken, referans noktalarda görülen elektrik alan şiddetleri.....	36
Tablo 3.8. 2,4 GHz frekansta ortamın serbest uzay olarak kabul edilerek, $(-24, 6, 0)$ referans noktası için hesaplanan elektrik alan şiddetleri.....	38
Tablo 3.9. 2,4 GHz frekansta $(-24, 4, 0)$ noktasına görülen elektrik alan şiddeti ve karşılık gelen SAR değeri	40

SEMBOLLER DİZİNİ

CST	Computer System Technology
D	Yönelticilik
dB	Desibel
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
E	Elektrik Alan
f	Frekans
FCC	Federal Communications Commission
FDTD	The Finite-Difference Time-Domain
FNBW	First Null Beamwidth
G	Kazanç
GHz	GigaHertz
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	Global System for Mobile Communication
HPBW	Half-Power Beamwidth
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
J	Joule
Kg	Kilogram
kHz	kiloHertz
m	metre
MHz	MegaHertz
MMS	Multimedia Messaging Service
RF	Radyo Frekans
SAR	Spesific Absorption Rate
SMS	Short Message Service
U	Işıma şiddeti
W	Watt
WHO	World Health Organization
Wi-Fi	Wireless Fidelity
V	Volt

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde hızla gelişen teknolojiyle birlikte elektromanyetik cihaz kullanımı da paralel olarak artmaya devam etmektedir. İletişimin hızlı ve etkin olabilmesi adına mesafeler arası iletişimde kullanılan kablosuz haberleşme, 21. yüzyılın en önemli bilimsel gelişmelerinden biridir. Kablosuz haberleşme; iki veya daha fazla nokta arasında herhangi kablolu bir iletken olmadan bilgi aktarımı olarak tanımlanmakta olup, havadan antenler ve radyo frekans yardımıyla kullanılan bir iletişim teknolojisidir. Antenler, kablo kullanılmayan haberleşme sistemlerinde verileri değişik formlara dönüştürüp ileten elemanlardır. “Radyo Frekans” bandı ise 3 kHz ile 300 GHz arasındaki frekans bölgesi olarak tanımlanmaktadır.

Özellikle 2000’li yıllara doğru artan teknolojinin gelişim hızıyla birlikte elektromanyetik alan kaynaklarının sayısı ve çeşitliliği de artmaya başlamış, günlük hayatta her yaş ve meslek grubunun herhangi bir yerde veya zamanda kullanımı kaçınılmaz olan elektronik cihazlar (cep telefonları, kişisel bilgisayarlar vs.) ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla elektronik cihazların bu kadar yaygın kullanılmaya başlamasından önce insan gövdesine ve kafasına bu kadar yakın kullanılmakta olan elektromanyetik alan kaynağı bulunmamaktaydı. Dolayısıyla; son yıllarda artan yaygın kullanımla birlikte, elektromanyetik alan maruziyeti sonucunda oluşabilecek biyolojik etkilerin araştırılması önem kazanmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization - WHO) tarafından, 1996 yılında elektromanyetik alanlara maruz kalmanın olası sağlık etkileri hakkındaki endişeleri ele alan bir araştırma programı başlatılmış olup, bu programın ana odak noktalarından biri, mobil iletişim kaynaklı ortaya çıkan maruziyettir. Dünya Sağlık Örgütü; halk sağlığını koruma sözleşmesinin bir parçası olarak ve elektromanyetik alanlara maruz kalmanın sağlığa etkileri konusunda halkın endişesine yanıt olarak, 1996 yılında elektromanyetik alanların 0 ile 300 GHz frekans aralığında olası sağlık etkilerinin bilimsel kanıtlarını değerlendirmek amacıyla Uluslararası Elektromanyetik Alan Projesini oluşturmuştur. Bu proje, bilim alanındaki önemli boşlukları doldurma ve elektromanyetik alan maruziyetini sınırlayan uluslararası kabul edilebilir standartların geliştirilmesini kolaylaştırma odaklı araştırmaları teşvik etmektedir [1].

Bu doğrultuda; radyo frekans alan maruziyeti sonucu biyolojik olarak kabul edilen temel risk, dokuda oluşan sıcaklık artışıdır. Ortama elektromanyetik ışınım yayan elektronik cihazlar, ışınımın bir kısmının insan vücudu tarafından emilmesiyle insan sağlığına olumsuz etkiler göstermektedir. Buna bağlı olarak özellikle mobil telefonlar için, elektromanyetik etkileşimde kabul edilen temel büyüklük Özgül Soğurma Oranı (Specific Absorption Rate - SAR)'dır. SAR; elektromanyetik alana maruz kalan insan vücudunda elektromanyetik enerjinin emiliminin sebep olduğu ısınmanın; birim ağırlık başına soğrulma oranıdır ve birimi Watt/Kilogram (W/kg) olarak ifade edilir [2].

Kablosuz iletişim teknolojisinin popülerliği ve hızla yayılımı, elektromanyetik enerji yayan yeni cihaz ve sistemlerin sayısının artmasına neden olmuştur. Bu durum, işyerinde veya genel olarak halkta çok sayıda kişinin elektromanyetik alanlara maruz kalmasına sebep olmakla birlikte çoğu durumda, radyo frekans kaynakları insan vücuduna yakın durumdadır. İşyerinde veya günlük yaşamda artan maruziyetler, bu kapsamdaki güvenlik ve sağlık sonuçlarını değerlendirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmasını sağlamıştır. Şu anki büyüme hızı doğrultusunda dünya nüfusunun büyük bir kısmı cep telefonu hizmetlerine erişebilecektir [3]. Bu nedenle; mobil telefonların zarar veya yaralanmaya neden olmayacaklarından emin olmak için performans testine ve uygunluk testine girmeleri gerektiği görüşü hâkimdir.

Bahsedilen elektronik cihazların kullanıcısı yetişkinler olarak görülse de günümüzde farklı sebeplerden dolayı çocukların da bu cihazlarla oldukça etkileşimde olduğu söylenebilir. 2012 yılında yayınlanan Biyo-İnisiyatif Raporu şu sonuca varmıştır: Fetal (in-utero) ve erken çocukluk döneminde cep telefonu radyasyonuna ve genel olarak kablosuz teknolojilere maruz kalma, okuldaki hiperaktivite, öğrenme bozuklukları ve davranış sorunları için bir risk faktörü olabilir [4].

Elektromanyetik alana maruz kalınmasından kaynaklanan SAR değerini direkt insan vücudunda ölçmek oldukça zordur. Bu sebeple; SAR ölçümlerinin laboratuvar ortamındaki doku eş değeri sıvıyla dolu fantomlarda veya bilgisayar ortamındaki analiz programlarıyla tespiti mümkündür.

Bu çalışmada da; 3 boyutlu elektromanyetik analiz yazılımı olan bir paket program kullanılarak elektrik alan ve SAR dağılımının belirlenebileceği bir düzen oluşturulmuştur. Bir bebek modeli üzerinde günlük hayatta oluşan elektromanyetik dağılımın incelenebilmesi amacıyla, yarım dalga dipol anten üzerinden 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslarında sürekli dalga işaretleri uygulanmıştır. Öncelikle yarım dalga dipol antenin

belirli noktalarda oluşturduğu elektrik alan şiddeti, sonrasında ise ortamda yayılan elektromanyetik ışınımına maruz kalan bebek modelinin beyin dokusundaki SAR dağılımı incelenmiştir. Aynı zamanda yerleştirilen antenin konumu değiştirilerek çalışmalar tekrar edilmiştir. Böylece uygulama noktasındaki mesafe ve frekans değişiminin, elektrik alan şiddeti ile özgül soğurma oranı dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.2. Elektromanyetik Dalgalar

Zamanla değişen elektrik alan ve manyetik alanın birbirini oluşturarak, ortamda yayılmaları sonucunda elektromanyetik dalgalar oluşur. Değişen elektrik alanlar, manyetik alanları meydana getirir. Elektromanyetik dalgayı oluşturan elektrik alan ve manyetik alan birbirine dik, elektromanyetik dalgaının yayılma yönü ise bu iki bileşene de diktir.

Bir cihazın beslenme gerilimi ile ortaya çıkacak elektrik alan değeri orantılıdır. Beslenme gerilimi arttıkça elektrik alan artmakta olup, azaldıkça elektrik alanda da azalma görülmektedir. Elektrik alanın birimi Volt/metre (V/m) olarak ifade edilmekte olup elektrik alan değeri uzaklık arttıkça azalmaktadır.

1.3. Elektrik Alan Şiddeti Standartları

Kablosuz haberleşme cihazları, baz istasyonları, trafo ve yüksek gerilim hatları; olumsuz etkileyecek şekilde insan sağlığını elektromanyetik alanlara maruz bırakabilmektedir. Bu sebeple dünyadaki her ülke kendi standartlarına göre elektromanyetik alan maruziyetinden insanların korunması için limit değerler belirlemiştir. Avrupa Birliği ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri de dâhil olmak üzere birçok ülkede uygulanan sınır değerler Dünya Sağlık Örgütü tarafından da tanınan Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu (Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) tarafından belirlenmiştir. Sınır değerler frekansa bağlı olarak değişmekte olup, belirli frekans aralıkları için farklıdır.

Türkiye'deki sınır değerler ise Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından, ICNIRP limitlerinin en üst seviyesine göre belirlenen limitler 21.04.2011 Tarih ve 27312 Sayılı Resmi Gazetede "Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit

Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmeliği” ile yürürlüğe sokulmuş olup 17.04.2018 Tarih ve 30394 Sayılı Resmi Gazetede “Elektronik Haberleşme Cihazları Güvenlik Sertifikası Yönetmeliği” şeklinde değiştirilerek aşağıdaki şekilde belirlemiştir [5].

Tablo 1.1. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından belirlenen elektrik alan şiddeti limitleri

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	
	Tek cihaz için limit değer	Ortam için limit değer
0,010-0,15	19,3	65,25
0,15-1	19,3	65,25
1-10	$19,3/f^{1/2}$	$65,25/f^{1/2}$
10-400	6,2	21
400-789	$0,305f^{1/2}$	$1,03f^{1/2}$
790-2000	$0,275f^{1/2}$	$0,96f^{1/2}$
2000-60000	12,3	42,93

1.4. Antenler

Gün geçtikçe gelişen elektronik ve haberleşme teknolojisinin günümüzdeki ve gelecekteki temeli; bilindiği üzere kablosuz haberleşmedir. Haberleşme sistemlerinin temel amacının da bilginin iletilmesi ve yayılması olduğu düşünüldüğünde, kablosuz haberleşmenin ana yapısını oluşturan parametrelerin elektromanyetik dalgalar ve antenler olduğu görülmektedir.

Antenler; boşlukta yayılan elektromanyetik dalgaları toplayarak bu dalgaların iletim hatları içerisinde yayılmasını sağlayan ya da iletim hatlarından gelen sinyalleri boşluğa dalga olarak yayan cihazlardır.

Antenler verici olarak kullanıldığında iletim hattından aldığı elektriksel işareti elektromanyetik dalgaya dönüştürerek iletim ortamına ışıma yapar. Alıcı antende ise gönderilmiş olan elektromanyetik dalga toplanarak elektriksel işarete dönüştürülür ve iletim hattına gönderilir. Aynı anda hem alıcı hem verici olarak kullanılabilen alıcı-verici anten türleri de mevcuttur.

Haberleşme sistemlerinin karakteristik özelliklerini ve özellikle kalitesini belirleyen en önemli elemanlardan biri antenlerdir. Sistemlerde; haberleşme kalitesinin yüksek düzeyde olabilmesi için öncelikle ortam koşullarına ve amaca göre tercih edilen durumların uygun şekilde belirlenmesi ve bu durumlarda yüksek performans gösteren antenlerin tercih edilmesi önemlidir. Aksi halde haberleşme kalitesi, antenlerin göstereceği performansın düşüklüğü sebebiyle istenilen seviyelere ulaşamayacaktır.

1.5. Temel Anten Parametreleri

Yukarıda da bahsedildiği üzere amaca ve ortama uygun anten seçimi önemlidir. Anten çeşitlerinin ortam koşullarına göre gösterecekleri performans hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için çeşitli parametre tanımları gereklidir. Bu parametrelerin bazıları birbirleriyle ilişkilidir [6].

1.5.1. Işıma Örüntüsü ve Hüzme Genişliği

Işıma örüntüsü; antenin ışınma özelliklerinin, uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak matematiksel bir ifadesi veya grafiksel gösterimi olarak tanımlanır. Çoğu zaman ışınma örüntüsü uzak alanda belirlenir. Işınma örüntüsü incelendiğinde antenin hangi yönde ışınma yaptığı belirlenebilmektedir. Işınma örüntüsünün göreceli olarak daha zayıf ışınma şiddetine sahip bölgelerle sınırlanmış kısımlarına ise ışınma kulağı adı verilir. Genellikle ana kulak, ikincil kulak, yan kulak, arka kulak gibi isimlendirilen ışınma kulakları bulunmaktadır. Ana kulak; maksimum ışınma yönündeki ışınma kulağı, ikincil kulaklar ise genel olarak ana kulak haricindeki tüm kulaklar olarak sınıflandırılabilir. Yan kulak ve arka kulak da ikincil kulaklardan biridir; yan kulak genellikle ana kulağa komşu olup, arka kulak ise ana kulağın ters yönündeki yarıkürede bulunan bir ikincil kulak olarak tanımlanır [6].

Hüzme genişliği ise antenin ışınma örüntüsü ile ilgili bir parametredir ve ışınma örüntüsünün maksimum olduğu kenar karşısında tanımlı iki nokta arasındaki açısal genişlik olarak tanımlanabilir. Bir antenin örüntüsünde birkaç tane hüzme genişliği bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan hüzme genişliği yarım güç hüzme genişliğidir (HPBW: Half-Power Beamwidth). HPBW ışınmanın maksimum olduğu düzlemde ışınma şiddetin yarı değerinde olduğu iki yön arasındaki açıdır. Bir başka deyişle; maksimum ışınma

doğrultusundaki gücün yarıya düştüğü yani 3 dB azaldığı açışal genişlik olarak tanımlanabilir. Bir başka önemli hüzme genişliği ise ilk sıfır noktalarının arasındaki açışal genişlik olan ilk sıfır hüzme genişliğidir (FNBW: First Null Beamwidth).

1.5.2. Yansıma Katsayısı ve Geri Dönüş Kaybı

Antenin giriş empedansı ve besleme hattının karakteristik empedansının aynı olması gerekmektedir. Besleme hattında çoğunlukla reel değeri 50 Ω olan kablo kullanılırken empedansın sanal kısmının kayıpları önlemek amacıyla sıfıra yakın olması istenir. Giriş empedansı 50 Ω olduğunda eşitlik olacaktır ve geri yansıyan sinyal olmayacaktır. Teoride mükemmel durumda yansıma sıfır olması gerekir fakat bu pratikte pek mümkün değildir.

Antenden çıkan dalgaların geri yansıma oranı olan yansıma katsayısı aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (1)$$

Z_{in} : Giriş empedansı,

Z_0 : İletim hattı karakteristik empedansı

Geri dönüş kaybı ise; antene gönderilen enerjinin ne kadarının geri döndüğünü gösterir. İyi tasarlanmış antenlerde bu kayıp -10 dB ve altında olmalıdır.

$$L_R(dB) = -20 \log |\Gamma| \quad (2)$$

1.5.3. Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio - VSWR)

Gerilim duran dalga oranı; iletim hattındaki maksimum gerilim değerinin minimum gerilim değerine oranı olarak verilmekte olup, giriş empedansı ile iletim hattının karakteristik empedansının uyumunu göstermektedir. Gerilim duran dalga oranı aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3)$$

V_{\max} : Maksimum gerilim

V_{\min} : Minimum gerilim

Γ : Yansımaya katsayısı

1.5.4. Giriş Empedansı

Giriş empedansı; antenin besleme uçlarındaki gerilimin akıma oranı olarak tanımlanır. Z_{in} olarak ifade edilen giriş empedansı aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in} \quad (4)$$

Z_{in} : Giriş empedansı

R_{in} : Terminallerdeki anten direnci

X_{in} : Terminallerdeki anten reaktansı

1.5.5. Polarizasyon

Polarizasyon, bir elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörünün zamanla yaptığı hareket olarak tanımlanmaktadır. Yani elektrik alanı temsil eden vektörün çizdiği eğridir. Verilen bir yönde bir antenin polarizasyonu demek anten tarafından yayılan dalganın polarizasyonu demektir ve verici antenden yayılan dalganın polarizasyonu ile alıcı antenin polarizasyonunun uyumu çok önemlidir. Zira, alıcı anten ile verici anten arasındaki polarizasyon uyumu sağlanamadığında; gönderilen ışıarete büyük kayıplar meydana gelecektir ve istenilen verim ile kazanç sağlanamayacaktır.

Polarizasyon genellikle doğrusal, dairesel ve eliptik olarak sınıflandırılmaktadır.

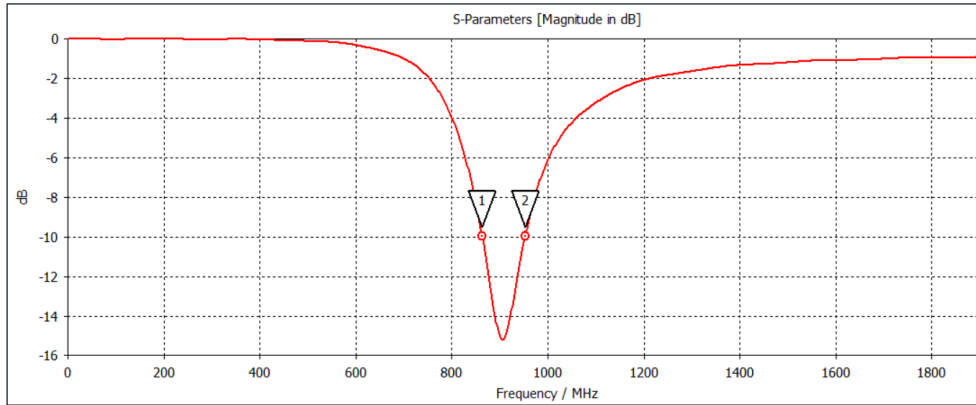
Uzaydaki bir noktada elektrik alanı tanımlayan vektör; zamanın bir fonksiyonu olarak bir hat boyunca yönlendirilirse doğrusal polarizasyon oluşur. Bu durumda alan vektörü; bir bileşene sahiptir ve iki dik doğrusal bileşen aynı fazda veya 180° faz farkıyla olması gerekmektedir. Elektrik alan vektörü bir daire çizdiğinde ise dairesel polarizasyon oluşur. Bu durumda alan vektörünün; iki dik doğrusal bileşeni olmalı ve bu bileşenler aynı genlikte

olmalıdır. Ayrıca iki bileşen 90° veya tek katlarında bir faz farkına sahip olmalıdır. Eğer elektrik alan vektörü eliptik bir şekil izliyorsa eliptik polarizasyon oluşur. Bu durumda alan vektörü; iki dik bileşene sahip olmalıdır. Bu bileşenler aynı veya farklı genliklere sahip olabilmektedir. Bileşenler arasındaki faz farkı ise doğrusal ve dairesel polarizasyonlardaki faz farklarından farklı olması gerekir [6].

1.5.6. Bant Genişliği

Bant genişliği; anten performansına etki eden anten parametrelerinin (ışınma örüntüsü, hüzme genişliği, giriş empedansı, polarizasyon gibi) kabul edilebilir olduğu merkez frekansın iki tarafındaki frekanslar arasındaki değer olarak ifade edilir.

Çoğunlukla yansımaya katsayısı olarak ifade edilen “ S_{11} ” grafiğinde “-10 dB” aşağısındaki değerleri sağlayan frekanslara göre hesaplanabilmektedir. Eğer ki yansımaya katsayısı “-10 dB” yukarısında bir değer seçilirse, alıcı anten ile verici anten arasındaki veri iletimi büyük oranda etkilenecektir. Bu durumda verici antenden yayılan elektromanyetik dalgaların büyük bir kısmı yansımaya uğrayacaktır, dolayısıyla doğru veri iletiminin yapılması önlenecektir.



Şekil 1.1. “ S_{11} ” değişim grafiği üzerinde bant genişliğinin gösterimi

Şekildeki gösterilen grafikte -10 dB’nin aşağısında kalan frekans bölgesi bant genişliği olarak alınır.

1.5.7. Anten Verimi

Anten verimi; farklı verimlilik etkenlerinin birleşimi olarak tanımlanabilir. Toplam anten verimi e_0 antenin yapısından kaynaklanan kayıpları (dielektrik malzemedeki omik kayıplar ile giriş terminallerindeki yansımalarından kaynaklanan kayıpları) ve giriş terminalindeki kayıpları göz önünde bulundurur. Anten verimi aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$e_0 = e_c e_r e_d \quad (5)$$

e_0 : Toplam verimlilik

e_c : İletim verimliliği

e_r : Yansıma verimliliği

e_d : Dielektrik verimliliği

1.5.8. Yöneltilik

Yöneltilik; girişe gelen sinyalin anten tarafından ne kadar yönettildiğini gösterir. Yani verilen bir yöndeki ışıma şiddetinin bütün yönlerdeki ışıma şiddetinin ortalamasına oranıdır [6]. Kayıpsız antenlerde anten kazancı yöneltiliğe eşittir.

Ayrıca ortalama ışıma şiddeti, toplam ışıma gücünün 4π ile bölümüdür. Yöneltilik aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{ışıma}} \quad (6)$$

D : Yöneltilik

U : Işıma şiddeti

$P_{ışıma}$: Toplam ışıma gücü

U_0 : Ortalama ışıma şiddeti

1.5.9. Anten Kazancı

Kazanç bir antenin aldığı giriş gücünü belirli bir yönde ışıtmaya dönüştürme ölçüsüdür ve aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$G = 4\pi \frac{U}{P_{in}} \quad (7)$$

P_{in} : Giriş gücü

G : Anten Kazancı

1.5.10. Anten Alan Bölgeleri

Yakın alan ve uzak alan kavramları bir elektromanyetik dalga kaynağının etrafındaki bölgeyi tanımlar. Anteni çevreleyen kısım reaktif yakın alan bölgesi olarak ifade edilmektedir. Elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri reaktif yakın alan bölgesinde düzlem dalga karakteristiği gösteremezler. Antenin ışıtılan yakın bölgesi ise; uzak alan bölgesi ile reaktif yakın alan bölgesi arasındaki bölgeyi ifade eder ve bu bölgede de elektromanyetik dalgalar düzlem dalga karakteristiği göstermezler. Antenin açısız alan dağılımının antenden uzaklığına bağlı olmadığı bölge de uzak alan bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgede elektromanyetik dalgalar için düzlem dalga yaklaşımı yapılabilmektedir. Antenlerle ilgili hesaplamalar genellikle uzak alan bölgesi için yapılır.

Antenlerin bu üç alan bölgesini belirlemek için kullanılan ifadeler aşağıdaki gibidir.

Reaktif yakın alan bölgesi için; $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ mesafesi olarak alınır.

Işıtılan yakın alan bölgesi için; iç sınır $R \geq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$, dış sınır ise $R < 2 \frac{D^2}{\lambda}$ mesafesi olarak alınır.

Uzak alan bölgesi için; $R \geq 2 \frac{D^2}{\lambda}$ mesafesi olarak alınır.

1.6. Anten Çeşitleri

Kablosuz haberleşmenin gerektirdiği şartlarla birlikte çeşitli türlerde antenler ortaya çıkmıştır. Bu antenler, çeşitli ölçütlere ve özelliklerine (çalışma frekansı, elektromanyetik ve elektriksel özellikleri, kullanım yeri, boyutu, polarizasyonu, maksimum gücü vb.) göre sınıflandırılabilirler [7].

Bu şekildeki sınıflandırmanın dışında fiziksel yapılarının benzerliğine göre de sınıflandırılabilmektedirler. Buna ithafen; tel antenler, açıklık antenler ve mikroşerit antenler olmak üzere üç ana başlık altında incelenmesi mümkündür. Antenlerin analiz yöntemleri de bu başlıklara göre farklılaşmaktadır. Bundan dolayı böyle bir sınıflandırma oldukça önemlidir.

Sistemlerde uygun yapıyı ve istenilen gereksinimleri sağlayan antenler kolaylık sağlayacağından anten seçiminin dikkatli yapılması gerekmektedir. Bu kısımda detayları verilecek olan anten çeşidi ise çalışmada kullanılan tel anten türünden olan yarım dalga dipol antendir.

1.6.1. Tel Antenler

Yalnızca iletken bir tel kullanılarak oluşturulabilecek tel antenler, hacim olarak az yer kaplamalarının yanı sıra ucuz ve kolay üretilebilir olmaları sebebiyle de en yaygın kullanım alanına sahip anten çeşidi olmuştur. Bu avantajlarından dolayı uzun süredir çok çeşitli alanlarda kullanılmıştır ve halen kullanımına devam edilmektedir.

Tel antenler; kolay geometrilerinin yanı sıra diğer anten tiplerinin düşük frekanslara uygun olmaması sebebiyle de düşük frekans bandından, çok yüksek frekans bandına kadar en çok kullanılan anten türüdür. Bu türdeki antenlerin boyları çalıştıkları frekans aralığı ile doğrudan alakalıdır.

1.6.2. Dipol ve Yarım Dalga Dipol Antenler

Mümkün olabildiğince az enerji harcayıp daha uzak noktalarla haberleşmeyi, yönlü antenlerle gerçekleştirmek mümkündür. Bu tip antenlerle, vericinin yayın gücü belirli bir noktaya yoğunlaştırılarak iletilmesi sağlanır. Yönlü antenlerin yaygın olarak kullanılan en

basit türü de dipol antenlerdir. Dipoller en basit fakat en yaygın kullanılan anten türlerinden biridir. Bir dipolün tipik yapısı, normalde eşit uzunlukta olan iki metal telden oluşur. Dipol antenler içinde en çok kullanılan anten çeşidi ise yarım dalga boyu dipol antenlerdir. Bir dipol antenin dalga boyu λ ise, yarım dalga boyu dipol antenler uzunluğu $\lambda/2$ 'dir [6].

Sözcük anlamında dipol iki uç ya da iki kutup anlamına gelmektedir. Hem maliyetinin düşük olması, hem de hemen hemen her yerde uygulanabilir oluşu, yönlü anten kullanımındaki ilk tercihin dipol anten olmasını sağlamaktadır.

Yarım dalga dipol antende antenin ortasında bulunan besleme noktasının her iki kenarında çeyrek dalga boyu uzunluğunda dipol elemanları bulunan antendir. Antenin açık olan uçlarında akım sıfır, gerilim ise maksimumdur.

Bir dipol ve yarım dalga dipol antenin çalıştığı frekansa uygun dalga boyunu bulmak için kullanılan ifade aşağıdaki gibidir;

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (8)$$

λ : Dalga boyu [m]

C: Işık hızı = 3.10^8 m/s

f: Frekans [1/s]

Dipol antenlerin boyu formülden de anlaşıldığı üzere çalıştığı frekansa göre değişiklik gösterir.

1.7. Küresel Mobil İletişim Sistemi (Global System for Mobile Communication – GSM) Frekansları

Bilgi ve İletişim Teknolojileri; dünyada hızla yaygınlaşmaya devam etmektedir. Dolayısıyla insanlar gün geçtikçe daha fazla ses ve veri paylaşımında bulunmaktadır. Bu paylaşımlar ise özellikle mobil sistemler sayesinde olmaktadır. Bilindiği üzere; Küresel Mobil İletişim Sistemi günümüzde dünyada en çok kullanılan mobil telefon sistemidir.

Avrupa ülkelerinde; 1990'lı yıllara kadar birbirinden farklı mobil sistemler kullanılmaktaydı. Bu farklılıklar gün geçtikçe uyumsuzluğu artırmış ve tek bir mobil sistemine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Böylece kullanılan tüm farklı haberleşme tekniklerinin bir araya getirildiği sayısal hücreli haberleşme sistemi kuruldu. Bu sistem kullanıcıya istediği zamanda ve gizlilikle haberleşme olanağı sağlamıştır. Bu sistemin

kullanışlı olmasının yanı sıra, alt yapısının pahalı olması standartlaştırılmasını gündeme getirmiştir ve 900 MHz'de böyle bir standardın oluşturulması kabul edilerek “Küresel Mobil İletişim Sistemi” kurulmuştur.

İlk ortaya çıkış şekliyle GSM, 900 MHz bandını kullanmaktaydı. Fakat GSM operatörleri sadece 900 MHz radyo frekans dalgaları ile yayın yapmakta iken yıllar içinde bu sektörden beklentiler artmıştır. Bu sebeple 1800 MHz radyo frekans dalgaları da kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada da mobil haberleşme esas alınarak ölçümler 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında gerçekleştirilmiştir.

1.8. Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity – Wi-Fi) Frekansları

Kablosuz bağlantı alanı; yüksek hızda ve kablosuz olarak internet ve ağ bağlantılarını sağlamak amacıyla radyo dalgalarını kullanan kablosuz ağ teknolojisi olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan bu teknoloji; bilgisayarlar ve akıllı telefonlar başta olmak üzere, teknolojik cihazların internete bağlanmasını veya bu cihazların sınırlı bir alanda kablosuz olarak birbirleriyle iletişim kurmasını sağlamaktadır.

Kablosuz bir ağ üzerinden iletişim sağlayan elektronik cihazlar ise Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü tarafından belirlenen 802.11 standartlarından birine sahiptir. 802.11 standartları ise eklenen yeni geliştirmelerle birlikte 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n ve benzeri halleri almışlardır.

Günümüzde kablosuz ağ teknolojisini kullanan birçok elektronik cihaz (cep telefonları, tabletler, dizüstü bilgisayarlar vb.) vardır. Bu cihazlar arasında en yaygın kullanılan frekans ise 2,4 GHz frekansıdır. Fakat her geçen gün bu alanda gelişen teknoloji ile birlikte 5 GHz frekansını kullanabilen elektronik cihaz sayısında da artış olmuştur. Bu çalışmada da kablosuz haberleşme esas alınarak 2,4 GHz frekansında ölçüm gerçekleştirilmiştir.

1.9. Özgül Soğurma Oranı (SAR- Specific Absorption Rate)

Günümüzde teknolojinin hızlı gelişimi; insanların kullandığı elektronik cihazların çeşitliliğini ve kullanım alanlarını da artırmıştır. Öyle ki; bu cihazlar günlük yaşantımızın bile vazgeçilmezleri haline gelmiş olup hemen herkesin bir cep telefonu veya kişisel

bilgisayara sahip olması ve bu cihazları kamuya açık alanlarda kullanması artık günümüzde çok olağan sayılmaktadır. Özellikle ilk icat edildiği zamanlarda sadece haberleşme için kullanılabilen cep telefonları gün geçtikçe insanların hayatlarında vazgeçilmez bir yere sahip olmuştur. Fakat her teknolojik gelişimin avantajlarının yanında bazı dezavantajlarının da olması sebebi ile bu cihazların yaşamımızı kolaylaştırmakla birlikte bazı sorunları da beraberinde getirebileceği kesindir [8].

Tahmin edilebilir ki; cep telefonu kullanıcılarının sayısının artmasıyla beraber insanlar her zamankinden daha fazla radyo frekans alanlarına maruz kalmaktadır. Taşınabilir telefonların günümüzdeki kadar yaygın kullanılmasına başlamadan önce insanların baş bölgesine bu kadar yakın kullanılan bir elektromanyetik alan kaynağı yoktu. Dolayısıyla kullanılan cep telefonlarının insan üzerinde oluşturduğu etkiler üzerine çok fazla araştırma bulunmamaktaydı. Fakat cep telefonlarının son zamanlardaki yaygın kullanımına bağlı olarak, insanların radyo frekansı maruziyetleri sonucunda oluşabilmesi muhtemel biyolojik etkilerin araştırılması büyük önem kazanmaya başlamıştır. Bu sebeple cep telefonlarının ürettiği elektromanyetik dalgaların insan sağlığına etkisini incelemek için çalışmalar yapılmaktadır.

Elektromanyetik radyasyon maruziyetinin insan sağlığına olası zararlarını inceleyen birçok araştırmacı ve farklı çalışmalar bulunmaktadır. Cep telefonlarının bireyler tarafından uzun süreli kullanımlarında baş ağrısı, uyuşturma, görme bulanıklığı, yanma hissi, kaşıntı, uyku bozukluğu, aşırı yorgunluk, bulantı ve hatta kısa süreli hafıza kaybı gibi olumsuz etkilerin olduğu iddia edilmiştir. Araştırmacılar özellikle yorgunluk, baş ağrısı ve yoğunlaşmadaki zorluğun yüksek radyasyon maruziyetinde olan insanların ortak bir şikâyetleri olduğunu tespit etmiştir [9].

İnsan vücudunun yaklaşık % 65-70'lik kısmı; su, elektrolit ve iyonlardan oluşmaktadır. Bu sebeple her insan vücudunun kendine has zayıf bir elektromanyetik alanı vardır. Dolayısıyla cep telefonlarından yayılan radyasyon, insan vücuduyla etkileşimde bulunarak insan vücudunun elektromanyetik alanını etkileyebilmektedir. İnsan vücudunun sahip olduğu elektromanyetik frekanslar insan sağlığı, hücre onarımı/çoğalımı ve DNA bölünmesi için gereklidir. Ayrıca insan vücudunun sahip olduğu elektromanyetik alan, dış kaynaklı elektromanyetik ve elektriksel enerjiler ile etkileşebilir ve bunun sonucunda biyolojik olarak olumsuz etkiler meydana gelebilir [10].

Dünya Sağlık Örgütü; radyo frekans dalgalarının, insan sağlığı için ana tehlike kaynaklarından biri olduğunu açıklamıştır. Ek olarak, insan tarafından emilen enerji, insan

vücudunda ısıya dönüşmekte ve yüksek sıcaklık ve termal etkilere yol açmaktadır. Özgül soğurma oranı, organizmanın vücudu ile radyo dalgalarının enerjisi arasındaki etkileşimdir ve organizmanın dokusundaki elektriksel ve manyetik alanların dağılımıyla mutlak bağlantılıdır [11].

Elektromanyetik alan maruziyetinde görülen biyolojik risk, dokunun soğurduğu elektromanyetik enerjinin sebep olduğu sıcaklık artışıdır. Bu doğrultuda mobil telefonlar için elektromanyetik etkileşimde kabul edilmekte olan temel parametre yukarıda da bahsedildiği üzere Özgül Soğurma Oranı'dır. Kısaca SAR; elektromanyetik alana maruz kalan insan vücudunda elektromanyetik enerjinin emiliminin sebep olduğu ısınmanın; birim ağırlık başına soğurma oranıdır ve birimi Watt/Kilogram (W/kg) olarak ifade edilir.

SAR değeri aşağıdaki ifadeyle hesaplanabilmektedir;

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \quad (9)$$

Bu ifadede; E Elektrik alanı (V/m), σ biyolojik dokunun iletkenliğini (S/m), ρ ise biyolojik dokunun yoğunluğudur (kg/m^3).

SAR değerinin sıcaklık artışı ile ilgili ifadesi ise aşağıdaki gibidir;

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (10)$$

Bu ifadede; ΔT , Δt saniyede $^{\circ}\text{C}$ olarak sıcaklığın artması ve c doku ısı kapasitesidir ($\text{j/kg}^{\circ}\text{C}$) .

Yüksek RF alanlarının insan vücudu üzerinde çok çeşitli fiziksel etkilere neden olduğu bilinmektedir. Kablosuz cihazların ve özellikle cep telefonlarının kamu kullanımındaki çarpıcı artışla, bu ürünlerin kullanıcılarını potansiyel olarak zararlı seviyelere maruz bırakmamasını sağlamak gerekli hale gelmiştir. Bu cihazların çoğunun çalıştığı frekanslarda, bilinen sağlık etkileri doku ısınması etrafında odaklanır [12].

Buna dayanarak elektromanyetik maruziyetine karşı, mobil telefon kullanıcılarını korumak amacıyla güvenlik sınırları hazırlanmıştır. Elektromanyetik alana maruz kalmanın sınırlandırılmasına yönelik güvenlik yönergeleri ICNIRP ve Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE) tarafından yayınlanmıştır. Çoğu ülkede, bu güvenlik yönergeleri 100 kHz ile 6 GHz

arasındaki frekanslar için doku ısınması ile ilgili olumsuz sağlık etkilerini önlemek adına SAR için temel sınırlar olarak benimsenmiştir [13]. Avrupa ülkelerinde kafa bölgesi SAR limiti 2 W/kg iken, Amerika'da 1,6 W/kg olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan bu temel limitler tüm vücut ortalaması için işyerlerinde 0,4 W/kg, halka açık genel yerlerde ise 0,08 W/kg olarak belirlenmiştir. Bu değerler kafa bölgesi için 6 dakikalık tüm vücut ortalaması için 30 dakikalık etkilenme süresi için verilen değerlerdir [14].

SAR dağılımını etkileyen bazı önemli parametreler olarak; cihazın konumu, çalışma frekansı, cihazın tasarımı, kafa içindeki dokuların dağılımı ve dokuların elektriksel özellikleri söylenebilir.

Günümüzde, çeşitli uluslararası standartlarda belirtildiği gibi, elle tutulan kablosuz iletişim cihazları için özgül soğurma oranı ölçümleri gereklidir. Fakat elektromanyetik araştırmalarda insan vücudundaki özgül soğurma oranını doğrudan ölçebilmek oldukça zordur. Bu sebeple, biyo-elektromanyetik kapsamındaki araştırmalarda sayısal insan modellerine veya dokuların modellerine dayanan bilgisayar simülasyonlarına yönelmek zorunluluk haline gelmiştir.

1.10. Literatür Araştırması

Literatürde özellikle mobil telefonlardan yayılan elektromanyetik dalgaların insan vücudu dokularına etkisine ve bazı niceliklere göre değişen özgül soğurma oranına yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların bu tezde kullanılan niceliklere uygun olan bir kısmından bahsedebiliriz.

Burdalo vd. (2004), ise yaptıkları çalışmalarında; uluslararası güvenlik kurallarına uygunluk değerlendirmesi için yetişkin ve çocukların kafa modellerinde cep telefonu kullanımı sırasında SAR değerinin değişimini incelemiştir. Zaman domeninde sonlu farklar yöntemi ile iki kafa modelinde de 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında SAR değeri hesaplaması yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde çocukların kafatasının ince olması nedeniyle yüksek SAR değeri gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra göz üzerinde yüksek SAR değeri görülmüş olup, kısa mesafe kullanımının düzenlenmesi ile bu durumun önüne geçilebileceği belirtilmiştir [15].

Kapucu vd. (2011), GSM 900 MHz frekansında çalışmakta olan cep telefonlarının arama/aranma sırasında yaydığı elektromanyetik radyasyonun değişimini bir RF spektrum analizörü aracılığı ile deneysel olarak incelemiştir. Yapılan ölçümler sonucunda; belirtilen

şartlar esnasında cep telefonunun hemen kulağa yönlendirilmesini ve 10 saniye gibi bir süre geçtikten sonra telefon kulağa yaklaştırılırsa radyasyondan daha az etkilenileceğini göstermiştir [10].

Panagopoulos vd. (2010) yaptıkları çalışmada; GSM 900 ve 1800 ışınımlarının canlı biyolojisine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada canlı modeline telefon anteninin 0 ile 100 cm arasında değişen mesafelerdeki etkisi deneysel olarak incelenmiş ve hücre çoğalmasını, üreme kapasitesindeki değişiklikleri etkilediğini hatta DNA hasarına ve hücre ölümüne bile yol açabileceği belirtilmiştir. Sonuç olarak telefon anteninin 20-30 cm mesafelerde etkinin en yüksek olduğuna, 40-50 cm ve daha uzun mesafeler için ise etkinin önemli ölçüde azaldığına ulaşılmıştır [16].

Atılgan vd. (2014); kablosuz ağ haberleşmesinde insan kafası modelinde özgül soğurma oranının hesaplanması ve ölçülmesi için 2450 MHz frekansındaki kablosuz haberleşme cihazlarının günlük hayatta insan beyni üzerine olası ısıl etkisinin belirlenebilmesi amacı ile bir model üzerine çalışmıştır. Bu çalışma yapılırken 2450 MHz frekansının yanı sıra 900 MHz ve 1800 MHz frekansları için de ölçümler yapılmıştır. Sonuçlara göre 2450 MHz'lik maruziyetin beklenen sıcaklık artışını gösteremediğini, fakat yetişkin bir bireyin beyin dokusunda etkili olmayan 2450 MHz'deki elektromanyetik maruziyetin, yetişkin olmayan bir insan beyninde bir miktar ısı artışı meydana getirebileceğini, bu sebeple mevcut standart ve limitlerin çocuklar için farklı olması gerektiğine dair bir görüş bildirilmiştir [2].

Zhang vd. (2011) tarafından; 100 MHz'lik bir yayın frekansında çalışmanın yapılmıştır. Bilgisayar modellemesiyle yapılan bu çalışmada kaynak olarak yarım dalga dipol kullanılmış olup antenin 15 cm uzaklığındaki SAR değerinin hesaplanmasında anten mesafesinin ve vücut büyüklüğünün önemli bir etkisinin olduğuna dair sonuçlar çıkarılmıştır. Bu araştırmanın ileri gidebilmesi için diğer frekans değerlerinde, çocuk ve yetişkinlerde, farklı anten mesafelerinde veya diğer anten çeşitleriyle ölçümler yapılması gerektiğini önermişlerdir [13].

Simba vd. tarafından; 900 MHz'de, cep telefonu bir yarım dalga boyu dipol antenle modellenerek, metalik bir duvara yakın küresel fantom kafasındaki SAR değerinin incelenmesi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda metalik yapılardan yansıyan RF ışınımının SAR değerini artırdığı tahminleri sayısal olarak doğrulanmış olsa da kullanılan mesafelerde elde edilen tepe değerinin temel 2 W/kg sınırından daha düşük olduğu

gözlemlenmiştir. Bu araştırma gerçek bir cep telefonu ile asansör içindeki ölçümler için ön araştırma niteliğinde olmuştur [17].

Özen vd. (2004); 900 MHz frekanslı elektromanyetik ışınının insan beyni dokusunda oluşturduğu sıcaklık artımı, beyin dokusunun fantom modelinin kullanılmasıyla araştırılmıştır. Araştırma beyin eşdeğer dokusunun, 900 MHz frekansında farklı maruziyet olasılıklarının dikkate alınmasıyla birlikte belirli sürelerde elektromanyetik alana maruz bırakılmasıyla yapılmıştır. Buna bağlı olarak beyin dokusunda oluşması beklenen ısıl etkiler ve soğurulan elektromanyetik enerji model kullanımı ile incelenmiştir. Çalışmada yapılan ölçümlere göre elektromanyetik dalgaya maruz kalan biyolojik dokuda beklenen ısı artışının frekansa ve elektromanyetik alan kaynağının biyolojik dokuya olan mesafesine bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır [18].

Watanabe vd. (2000) yaptığı çalışmada; mikrodalgalara maruz kalmanın, canlıların sağlıkları üzerindeki etkinin halkın büyük endişesi hale geldiği belirtilmiştir. Bu sebeple, konu hakkında iyi kalitede biyolojik araştırmaların yapılması gerektiğini tavsiye etmiştir. Araştırmacı kendi çalışmasında hücresel telefon kullanımının biyolojik etkilerini simüle etmek için test hayvanlarının maruz kaldıkları ışınının etkilerini sayısal ve deneysel olarak ölçerek karşılaştırmasını yapmıştır ve iki yöntemde de aldığı sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu belirlemiştir [19].

Firengiz vd. tarafından; mobil haberleşme sisteminde kullanılmakta olan cep telefonlarının küçük alıcı ve vericilere sahip olduğu ve haberleşme sırasında başa ve kulağa dayandırıldığı belirtilmiştir. Sinyal iletiminin ise, monopol anten veya dipol antenler aracılığıyla olduğu belirtilmiştir. Çalışmada 900 MHz frekansta farklı tür ve modellere sahip cep telefonlarından yayılmakta olan radyasyon; cep telefonlarının konuşma, aranma esnasında bekleme ve kısa mesaj gönderimi modları için gerçek ortamda ölçülmüştür. Sonuç olarak kullanıcının kafa bölgesindeki dokular ile elektromanyetik dalga kaynağı arasındaki uzaklığın oluşan etkinin artmasında veya azalmasında önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [20].

Sevgi vd. yaptıkları çalışmada cep telefonlarının yaydığı elektromanyetik dalgalara insanların iki farklı biçimde maruz kaldığını; cep telefonu kullanımı insan vücudunda en fazla kafa kısmını etkilese de, baz istasyonlarından yayılan dalgaların insan vücudunun tamamını etkilediğini belirtmektedir. Yine benzer şekilde farklı çalışma frekanslarında elektromanyetik dalga yayan farklı kablosuz haberleşme cihazların kullanımının da insan vücudu üzerinde farklı etkiler oluşturabileceği sonucuna ulaşımlardır [21].

Huber vd. (2003) yaptıkları çalışmada; yapılan analizlerin yetişkinler ve çocuklar arasındaki SAR farkını doğruladığını, bireylerin kafa anatomilerinde ve geometrilerindeki (kafanın dış şekli, kafa içindeki dokuların farklı dağılımları vs.) genel farklılıkların, radyo frekans dalgalarının oluşturduğu elektromanyetik enerjiyi soğurmada önemli rol oynadığını belirtmektedir [22].

Özdiç Polat vd. (2019) 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslardaki cihazların kas eşdeğer modelleri üzerinde oluşturduğu elektromanyetik maruziyeti incelemişlerdir. Yapılan çalışmada; elektromanyetik maruziyetin kas eşdeğer model dokusunda sıcaklığın yükselmesine neden olduğu ve model içerisinde oluşan ısıl değişimlerin farklı frekanslarda değişiklik gösterdiği, alan maruziyetinin kapatılmasından sonra ise kas eşdeğer sıvı sıcaklığının yeniden mevcut ortam sıcaklığına düşme eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır [23].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. CST Studio Suite Paket Programı

CST Studio Suite; elektromanyetik bileşenler ve sistemler tasarlamak, analiz etmek ve optimize etmek için yüksek performanslı bir 3 boyutlu EM analiz yazılımı paketidir. Araştırmacılara birden fazla bileşenden oluşan tüm sistemleri verimli ve kolay bir şekilde analiz etme esnekliği veren program EM analizinin genel konuları arasında yer alan; antenlerin performansı ve verimliliği, elektromanyetik, insan vücudunun EM alanlarına maruz kalması vb. çalışmalarda kullanılır.

Böyle paket programlar sayesinde; daha düşük maliyetlerle ve daha kısa zamanda ürün geliştirme döngüleri sağlayarak, ürünlerin tasarım sürecinin başında potansiyel uyum sorunları tanımlanabilir ve azaltılabilir, gerekli fiziksel prototip sayısı azaltılabilir ve test hataları en aza indirilebilir.

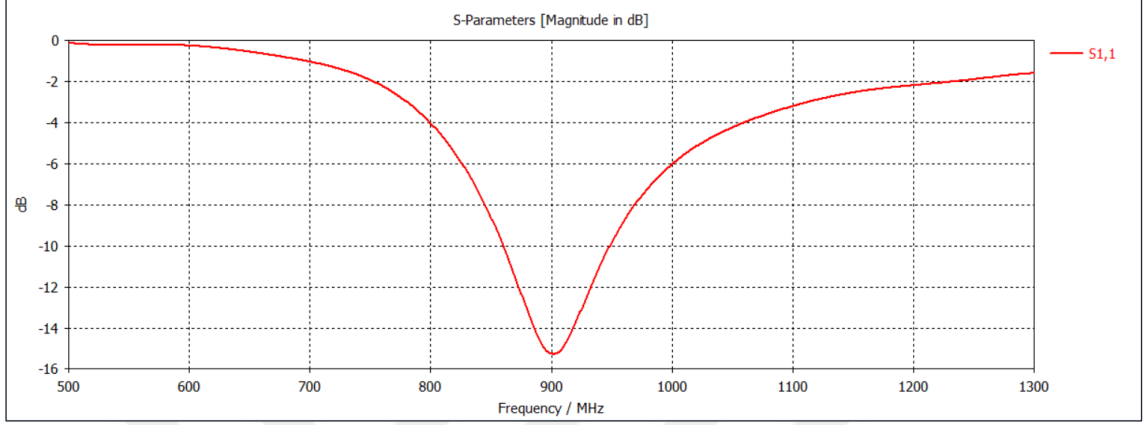
2.2. Model Düzenek Tasarımı

Kablosuz haberleşme frekanslarında yarım dalga dipol anten üzerinden uygulanacak işaretin bir bebek modelinde oluşturacağı elektromanyetik dağılımın incelenmesi amacıyla bir düzenek tasarlanmıştır. 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslarında yarım dalga dipol antenler tasarlanarak bebek modeline belirli uzaklıklarda yerleştirilmiştir. Yarım dalga dipol antenin uzunlukları frekansa göre değişeceğinden, her biri için hesaplamalar yapılarak uygun anten boyu belirlenmiştir. Her antenin besleme gerilimi 1 V, malzemesi ise bakır olarak seçilmiştir. Belirli koordinatlar seçilerek antenlerin oluşturduğu elektrik alan şiddetlerinin ve SAR dağılımlarının karşılaştırmasının yapılmıştır.

2.2.1. Yarım Dalga Dipol Anten Tasarımı

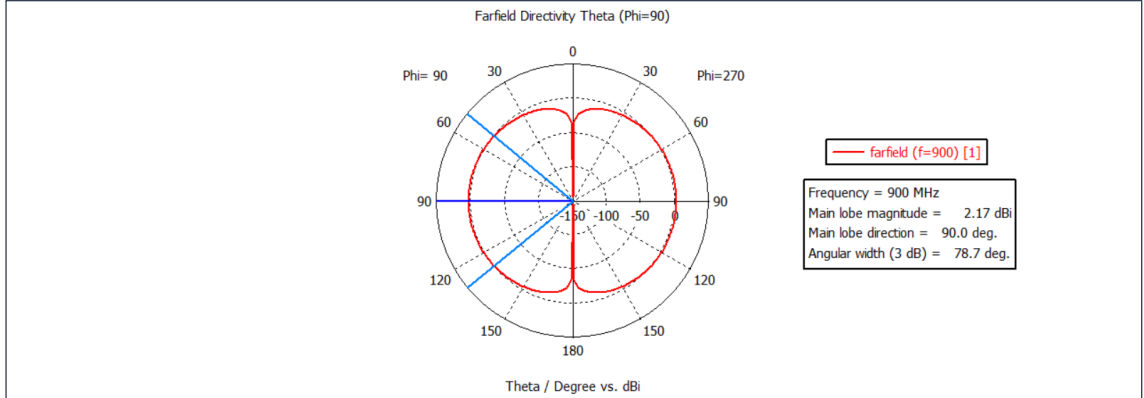
Yarım dalga dipol antenlerin uzunlukları hesaplanırken $\lambda = \frac{c}{f}$ denklemi kullanılmıştır.

900 MHz frekans için; bu denklem hesabına göre $\lambda/2$ olacak dalga boyunun 16,66 cm olması gerekmektedir. Fakat optimizasyon yapıldığında en düşük geri dönüş kaybını sağlayan uzunluğun 15,2 cm olduğu belirlenmiştir.



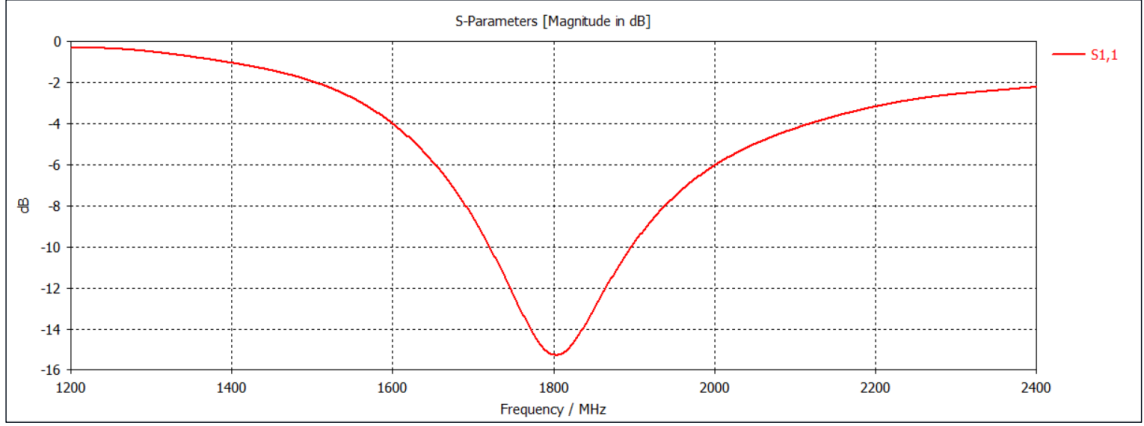
Şekil 2.1. $f=900$ MHz için dalga boyu 15,2 cm olarak belirlenen antenin S_{11} değişimi

900 MHz frekansta tasarlanan bu antenin oluşan uzak alan yöneltilik paterni ise Şekil 2.2'de verilmiştir.



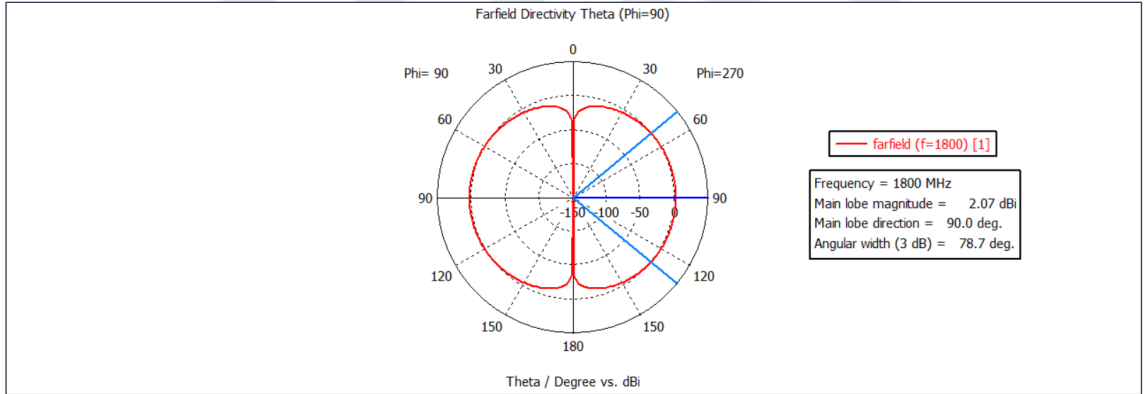
Şekil 2.2. 900 MHz frekansta tasarlanan antenin uzak alan yöneltilik paterni

1800 MHz frekans için; $\lambda/2$ olacak dalga boyunun 8,33 cm olması gerekmektedirken optimizasyon yapıldığında en düşük geri dönüş kaybını sağlayan uzunluğun 7,6 cm olduğu bulunmuştur.



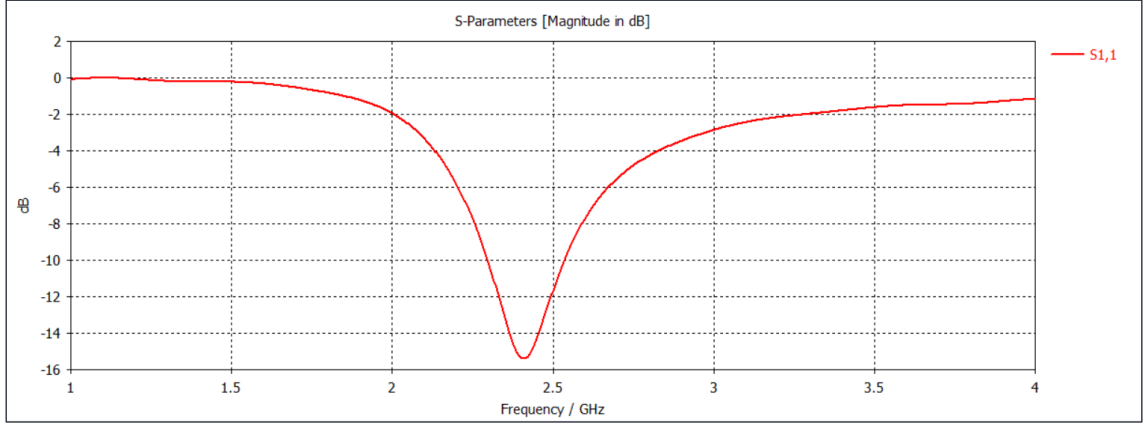
Şekil 2.3. $f = 1800$ MHz için dalga boyu 7,6 cm olarak belirlenen antenin S_{11} değişimi

1800 MHz frekansta tasarlanan bu antenin oluşan uzak alan yöneltilik paterni ise Şekil 2.4'de verilmiştir.



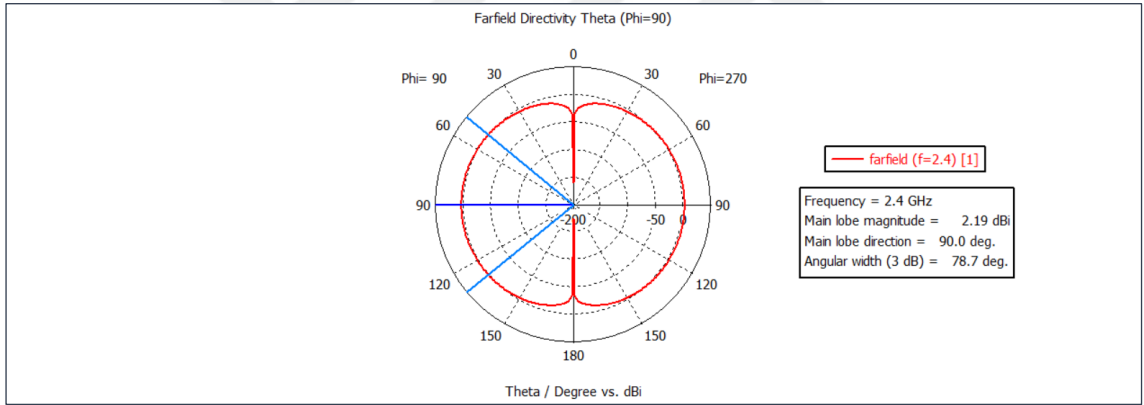
Şekil 2.4. 1800 MHz frekansta tasarlanan antenin uzak alan yöneltilik paterni

2,4 GHz frekans için; $\lambda/2$ olacak dalga boyunun 6,25 cm olması gerekmektedirken optimizasyon yapıldığında en düşük geri dönüş kaybını sağlayan uzunluğun 5,7 cm olduğu bulunmuştur.



Şekil 2.5. $f= 2,4$ GHz için dalga boyu 5,7 cm olarak belirlenen antenin S_{11} değişimi

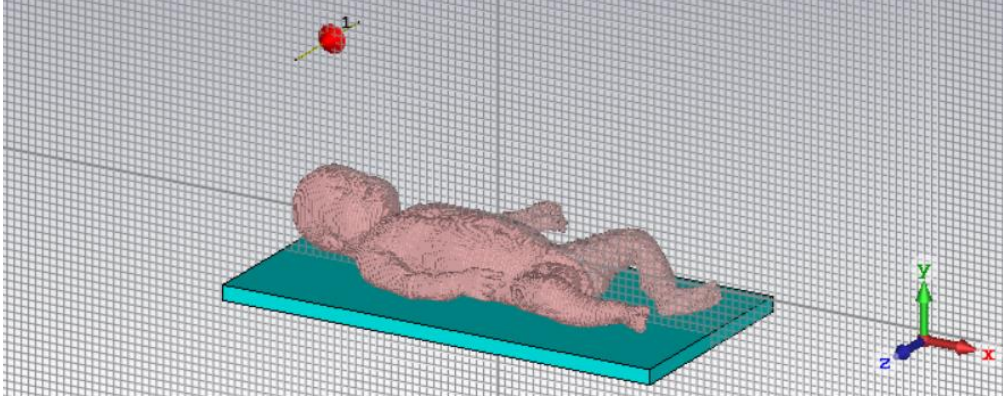
2,4 GHz frekansta tasarlanan bu antenin oluşan uzak alan yöneltilik paterni ise Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. 2,4 GHz frekansta tasarlanan antenin uzak alan yöneltilik paterni

2.2.2. Yarım Dalga Dipol Anten ile Bebek Modeli'nin Konumlandırılması

Yapılacak hesaplamalar için; bebek modeli boy hizası X ekseninde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yarım dalga dipol anten ise boy hizası Z eksenine paralel şekilde konumlandırılmıştır. Daha sonra antenin Y eksenindeki koordinatının değiştirilmesiyle birlikte, bebek ve anten arasındaki mesafeler farklılaştırılmıştır.



Şekil 2.7. Yarım dalga dipol anten ve bebek modelinin yerleşimi

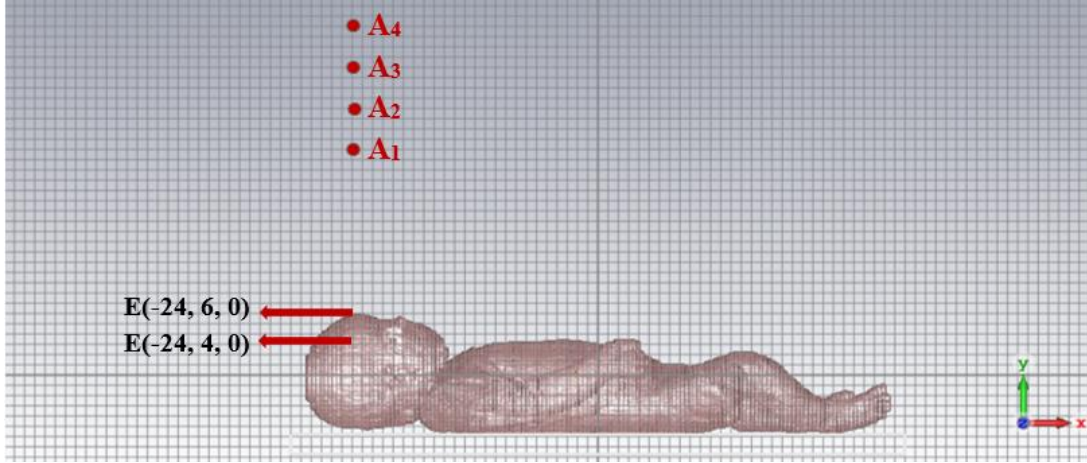
Bebek modelinin belirtilen şekilde yerleştirilmesi; yarım dalga dipol antenin koordinatlarının belirlenmesini sağlamıştır. Çalışmadaki asıl amaç; bebeğin kafa bölgesinin günlük hayatta kullanılan mobil cihazlar tarafından nasıl bir elektromanyetik alan maruziyetine kaldığını ve SAR değerini incelemek olduğu için, antenin konumlandırılması beyin dokusuna göre yapılmıştır. Bebek modelinin yukarıda belirtilen şekilde konumlandırılmasına göre antenin X koordinatı -24 (cm) olarak, Z koordinatları ise her frekansta değişen anten boyuna göre belirlenmiştir. Y koordinatı ise farklı mesafelerde antenin gösterdiği etkinin değişimi inceleneceği için 4 farklı şekilde ele alınmıştır. İlk olarak uzak alan mesafesi dikkate alınarak antenin bebeğe en yakın şekilde yapılacak ölçümde Y koordinatının +22 (cm) olacağı bulunmuştur. Daha sonra 4'er cm'lik mesafelerle uzaklık artırılmıştır ve sonuçta yapılan dört farklı mesafedeki çalışmalar için Y koordinatı +22, +26, +30, +34 olarak değişim göstermiştir.

Y koordinatında görülen bu değişiklikler antenin dört farklı konumunu belirtmektedir. Her farklı konumlardan bahsederken daha anlaşılır olması sebebiyle tüm değerlendirme boyunca antenin Y koordinatının +22'de olduğu konum A₁, +26'da olduğu konum A₂, +30'da olduğu konum A₃, +34'te olduğu konum A₄ olarak adlandırılmıştır. Bu konumlarda Z koordinatı üç farklı frekansta yapılacak çalışmalar için, her frekansta değişen anten boyuna göre farklılık gösterecek olup konumların koordinatları Tablo 2.1'de belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Adlandırılan anten konumlarının koordinatları

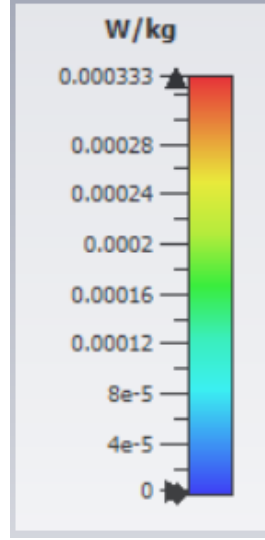
Anten Konum Adı	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
Koordinatları	(-24, 22, Z)	(-24, 26, Z)	(-24, 30, Z)	(-24, 34, Z)

Elektrik alanı şiddetleri belirlenecek noktalar; bebek modelinin kafa kısmının hemen üstünde vücuduna denk gelmeyen ve beyin dokusuna denk gelen noktalar seçilmiştir. Ayrıca modelleme bebeğin bir beşikte olduğu düşünülerek, tahta bir tabaka üzerinde yapılmış olup ölçüm yapılacak anten konumları ve prob konumları Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

Şekil 2.8. Antenin A₁, A₂, A₃, A₄ konumlarının ve prob koordinatlarının gösterimi

(-24, 4, 0) noktası bebek modelinin beyin dokusuna denk gelmesi sebebiyle seçilmiştir, ayrıca yine beyin dokusunun SAR dağılımı incelenecek olduğundan bu dokuda meydana gelen elektrik alan ile SAR değerinin karşılaştırması yapılabilecektir. (-24, 6, 0) noktasının seçilmesindeki amaç ise antenin oluşturduğu elektrik alanın bebek modeline nüfuz etmeden önce değerini belirleyip, beyin dokusunda seçilen (-24, 4, 0) noktası ile farklılığını görebilmektir.

Ölçüm yapılan üç frekans ve antenin dört konumu için SAR dağılımlarının karşılaştırılması ise Şekil 2.9’da ki ölçüm cetvelinin renk dağılımına göre yapılmıştır.



Şekil 2.9. SAR dağılımının değerlendirilmesi için kullanılan renk cetveli

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. 900 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti ve SAR Dağılımının İncelenmesi

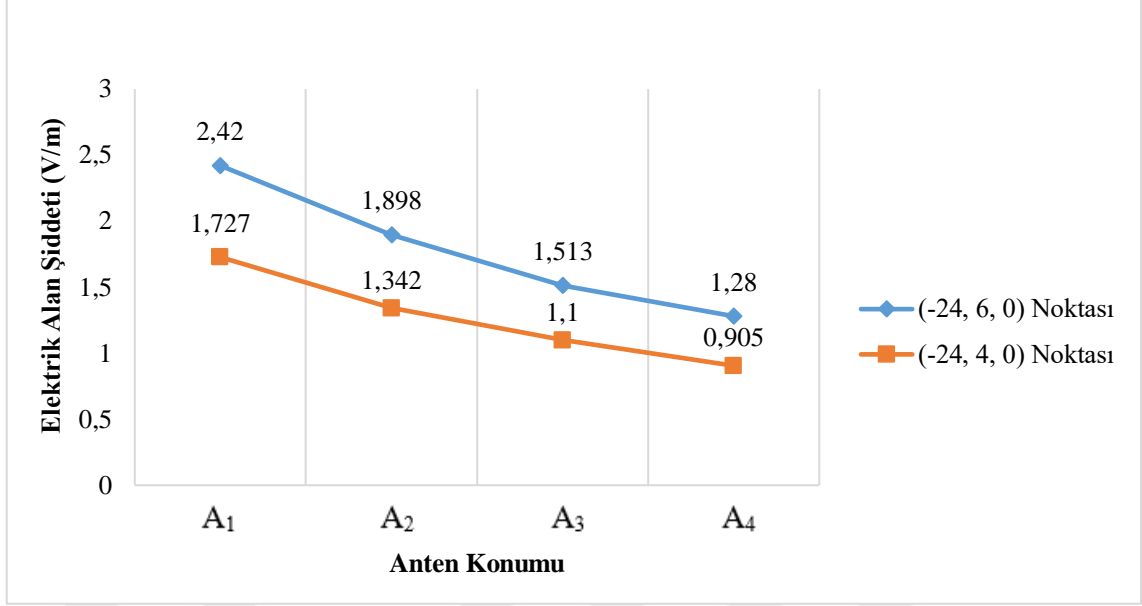
3.1.1. 900 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Düşey Eksendeki Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti'nin İncelenmesi

Bebek modelinin belirtilen düzende yerleştirilmesiyle antenin A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında yapılan dört farklı çalışmada $(-24, 6, 0)$ ve $(-24, 4, 0)$ noktalarında görülen elektrik alan şiddetleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. 900 MHz frekansta anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken, referans noktalarda görülen elektrik alan şiddetleri

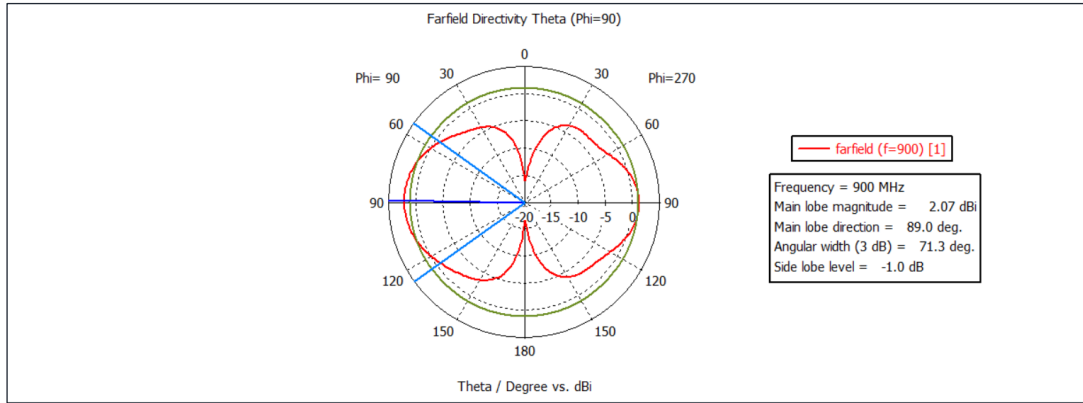
Prob Koordinatları	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	Anten A_1 'de iken	Anten A_2 'de iken	Anten A_3 'de iken	Anten A_4 'de iken
E(-24, 6, 0)	2,42	1,898	1,513	1,28
E(-24, 4, 0)	1,727	1,342	1,1	0,905

Bu sonuçlara göre antenin düşey ekseninde uzaklığının artırılmasıyla her iki referans noktadaki elektrik alan şiddeti değişim grafiği Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. 900 MHz frekansta (-24, 6, 0) ve (-24, 4, 0) noktalarındaki elektrik alan şiddetinin değişimi

900 MHz frekans ve A₁ konumu için antenin yönlendiricilik paterni ise Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. 900 MHz frekansta anten A₁ konumundayken yönlendiricilik paterni

Bebek modelinin eklenmiş haliyle oluşan Şekil 3.2’de ki yönlendiricilik paterni incelendiğinde; serbest uzayda tasarlanan yarım dalga dipol anten uzak alan yönlendiricilik paterninden farklılığı görülmektedir.

900 MHz frekansta, anten A₁, A₂, A₃ ve A₄ konumlarında iken (-24, 6, 0) referans noktasında elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin karşılaştırmasının yapılabilmesi

için; ortam serbest uzay olarak kabul edilerek antenin aynı konumları ve aynı referans noktası için elektrik alan şiddeti değerleri hesaplanmıştır ve Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. 900 MHz frekansta ortamın serbest uzay olarak kabul edilerek, (-24, 6, 0) referans noktası için hesaplanan elektrik alan şiddetleri

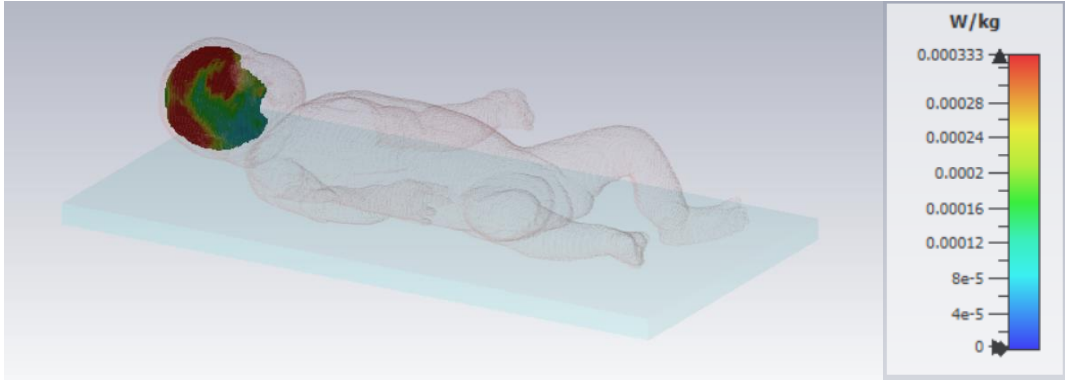
Referans Noktası	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	Anten A ₁ 'de iken	Anten A ₂ 'de iken	Anten A ₃ 'de iken	Anten A ₄ 'de iken
E(-24, 6, 0)	1,968	1,658	1,437	1,268

900 MHz frekansta ortaya çıkan bu sonuçlar değerlendirildiğinde; Tablo 3.2’de verilen hesaplamalar serbest uzay kabul edilerek yapılmasına rağmen bebek modeli varken elde edilen sonuçlar ile önemli bir farklılık görülmemiştir.

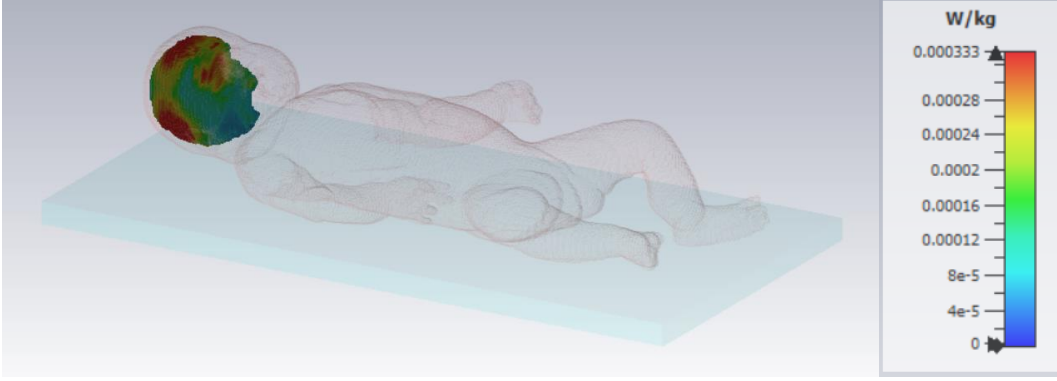
3.1.2. 900 MHz Frekansta Antenin Konumunun Düşey Eksendeki Değişimine Göre SAR Dağılımının İncelenmesi

900 MHz frekansta yarım dalga dipol antenin belirli uzaklıklarda referans noktadaki elektrik alan şiddeti incelendikten sonra, beyin dokusu üzerinde oluşan SAR dağılımı incelenmiştir. Anten konumları, elektrik alan şiddeti değerlendirmesinde olduğu gibi A₁, A₂, A₃ ve A₄ olarak seçilmiştir.

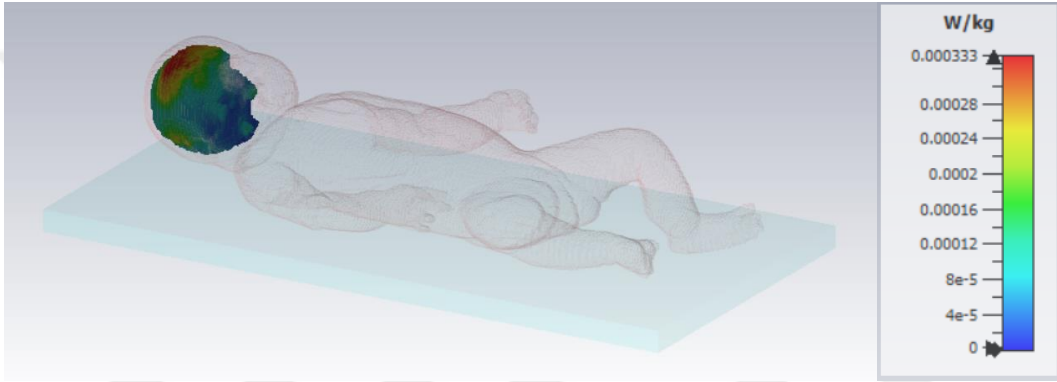
Bu doğrultuda anten A₁, A₂, A₃ ve A₄ konumlarında iken bebek modelinin beyin dokusunda görülen SAR dağılımları Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir;



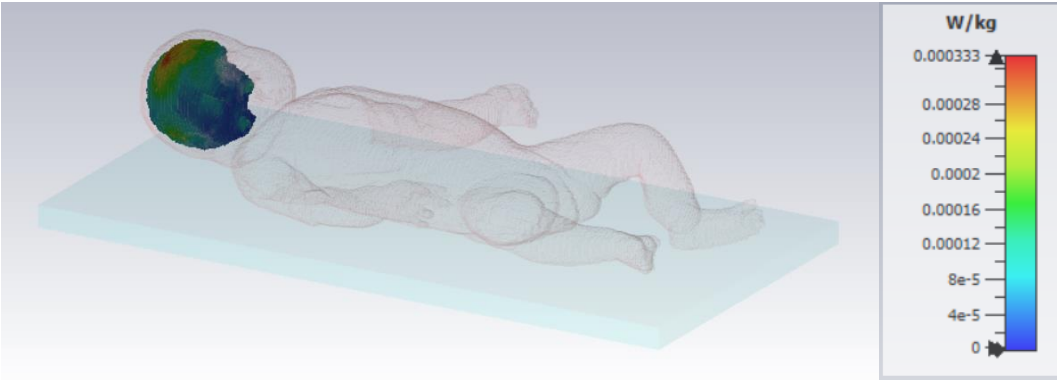
Şekil 3.3. 900 MHz frekansta, anten A₁ konumunda iken görülen SAR dağılımı



Şekil 3.4. 900 MHz frekansta, anten A₂ konumunda iken görülen SAR dağılımı

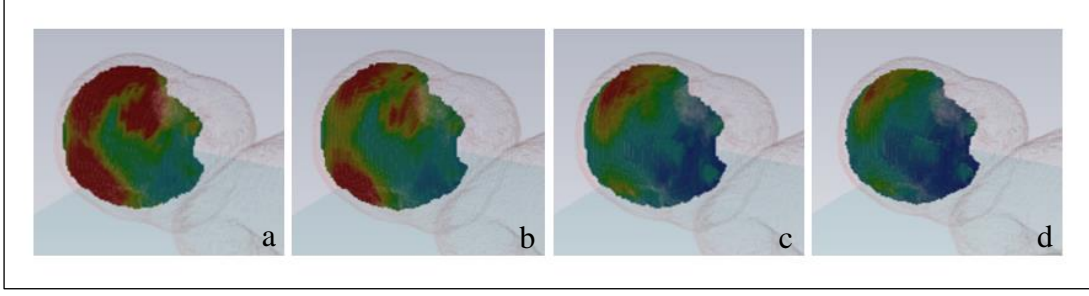


Şekil 3.5. 900 MHz frekansta, anten A₃ konumunda iken görülen SAR dağılımı



Şekil 3.6. 900 MHz Frekansta, Anten A₄ Konumunda iken Görülen SAR Dağılımı

Bu sonuçlara göre antenin düşey ekseninde uzaklığının artırılmasıyla beyin dokusunda oluşan SAR dağılımlarının değişimi Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. 900 MHz frekansta antenin konumu bebek modelinden uzaklaştıkça (a-d) beyin dokusunda görülen SAR dağılımının değişimi

900 MHz frekansta antenin A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumları için $(-24, 4, 0)$ noktasında görülen elektrik alan şiddetlerinin ve bu noktadaki SAR değerinin $SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2$ formülünden hesaplanarak elde edilen değerler Tablo 3. 3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. 900 MHz frekansta $(-24, 4, 0)$ noktasına görülen elektrik alan şiddeti ve karşılık gelen SAR değeri

Anten Konumu	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	SAR Değeri (W/kg)
Anten A_1 'de iken	1,727	0,000630
Anten A_2 'de iken	1,342	0,000380
Anten A_3 'de iken	1,1	0,000255
Anten A_4 'de iken	0,905	0,000173

$(-24, 4, 0)$ çalışma noktasında 900 MHz frekans ve antenin farklı konumları için elde edilen elektrik alan şiddetleriyle, SAR formülü üzerinden irdeme yaptığımızda; renk cetvelinde referans olarak alınan değere uygun sonuçlar elde edilmiştir.

3.2. 1800 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti ve SAR Dağılımının İncelenmesi

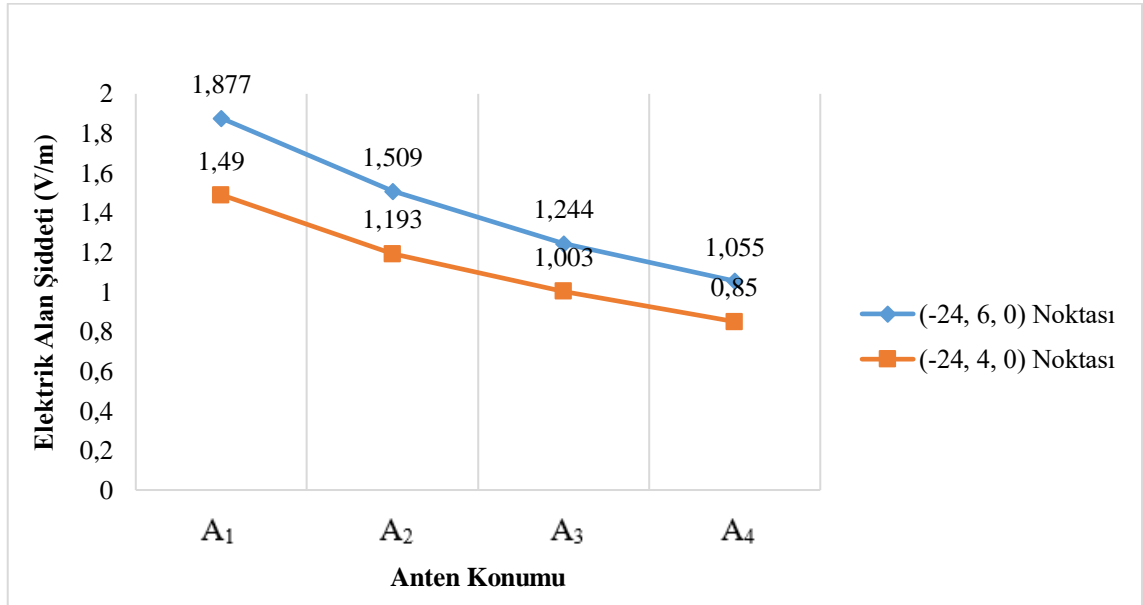
3.2.1. 1800 MHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Düşey Eksendeki Değişimine Göre Elektrik Alan İncelemesi

1800 MHz frekans değeri için de yine antenin A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumları için çalışmalar yapılmıştır ve bu dört farklı konum için $(-24, 6, 0)$ ve $(-24, 4, 0)$ noktalarında görülen elektrik alan şiddetleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. 1800 MHz frekansta anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken, referans noktalarda görülen elektrik alan şiddetleri

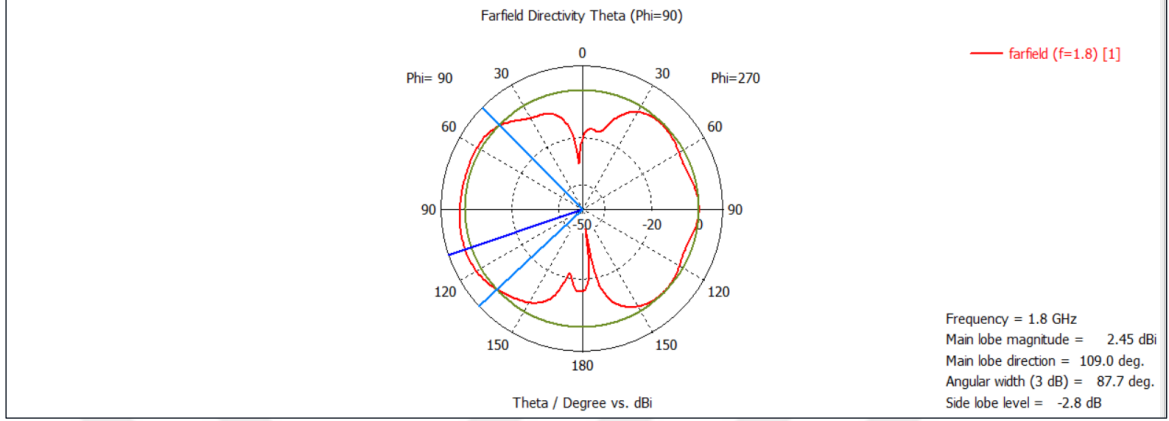
Prob Koordinatları	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	Anten A_1 'de iken	Anten A_2 'de iken	Anten A_3 'de iken	Anten A_4 'de iken
E(-24, 6, 0)	1,877	1,509	1,244	1,055
E(-24, 4, 0)	1,49	1,193	1,003	0,85

Bu sonuçlara göre antenin düşey ekseninde uzaklığının artırılmasıyla her iki referans noktadaki elektrik alan şiddeti değişim grafiği Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. 1800 MHz frekansta $(-24, 6, 0)$ ve $(-24, 4, 0)$ noktalarındaki elektrik alan şiddetinin değişimi

1800 MHz frekans ve A_1 konumu için antenin yöneltilik paterni ise Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. 1800 MHz frekansta anten A_1 konumundayken yöneltilik paterni

Bebek modelinin eklenmiş haliyle oluşan Şekil 3.9'da ki yöneltilik paterni incelendiğinde; serbest uzayda tasarlanan yarım dalga dipol anten uzak alan yöneltilik paterninden farklılığı görülmektedir.

1800 MHz frekansta, anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken $(-24, 6, 0)$ referans noktasında elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin karşılaştırmasının yapılabilmesi için; ortam serbest uzay olarak kabul edilerek antenin aynı konumları ve aynı referans noktası için elektrik alan şiddeti değerleri hesaplanmıştır ve Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. 1800 MHz frekansta ortamın serbest uzay olarak kabul edilerek, $(-24, 6, 0)$ referans noktası için hesaplanan elektrik alan şiddetleri

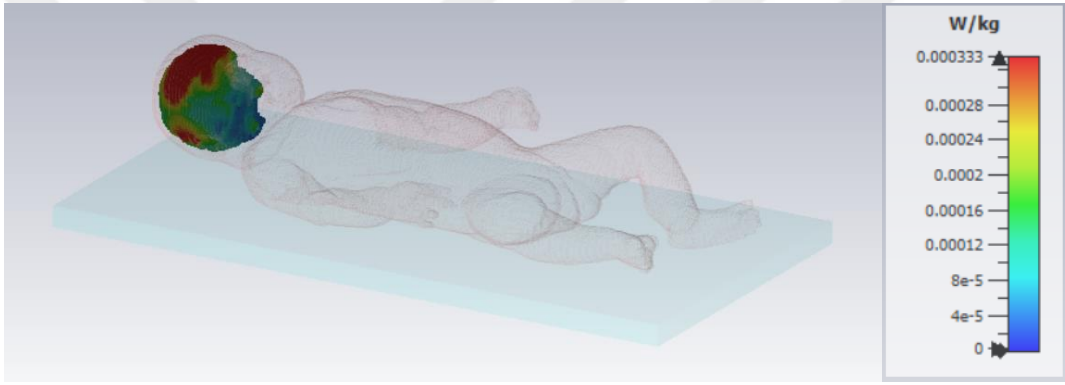
Referans Noktası	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	Anten A_1 'de iken	Anten A_2 'de iken	Anten A_3 'de iken	Anten A_4 'de iken
E(-24, 6, 0)	1,67	1,489	1,354	1,247

1800 MHz frekansta ortaya çıkan bu sonuçlar değerlendirildiğinde; Tablo 3.5'te verilen hesaplamalar serbest uzay kabul edilerek yapılmasına rağmen bebek modeli varken elde edilen sonuçlar ile önemli bir farklılık görülmemiştir.

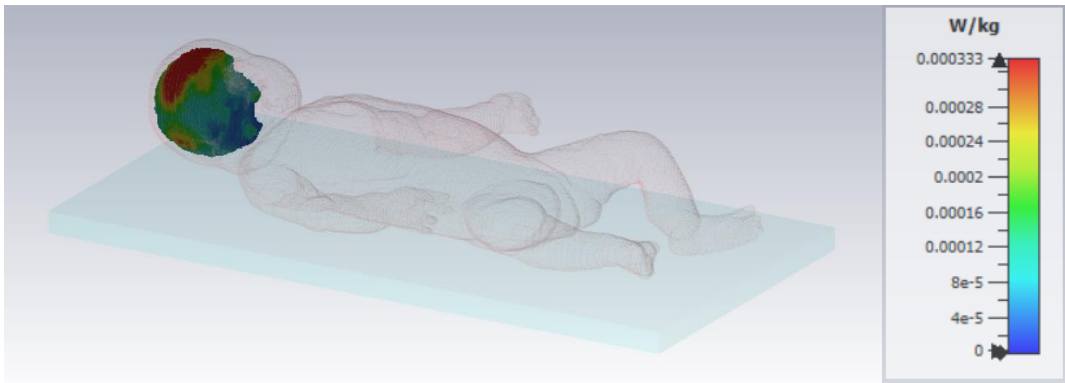
3.2.2. 1800 MHz Frekansta Antenin Konumunun Düşey Eksendeki Değişimine Göre SAR Dağılımının İncelenmesi

1800 MHz frekansta yarım dalga dipol antenin belirli uzaklıklarda referans noktalarındaki elektrik alan şiddeti incelendikten sonra, beyin dokusu üzerinde oluşan SAR dağılımı incelenmiştir. Anten konumları, elektrik alan şiddeti değerlendirmesinde olduğu gibi A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 olarak seçilmiştir.

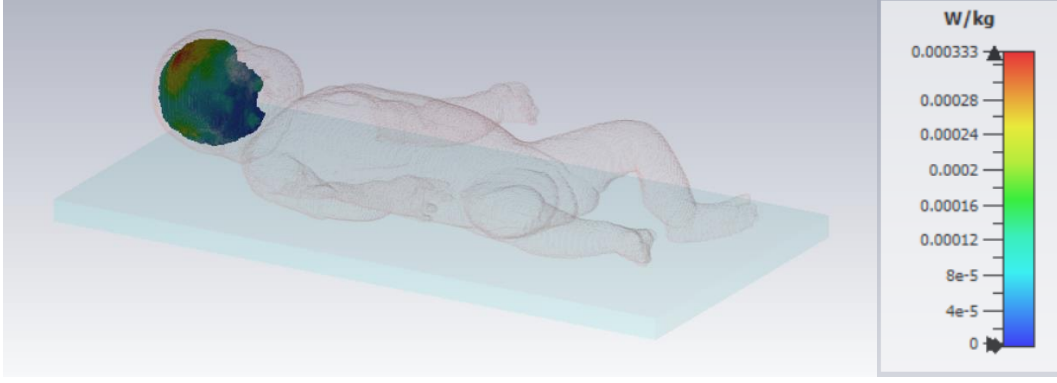
Bu doğrultuda anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken bebek modelinin beyin dokusunda görülen SAR dağılımları Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir.



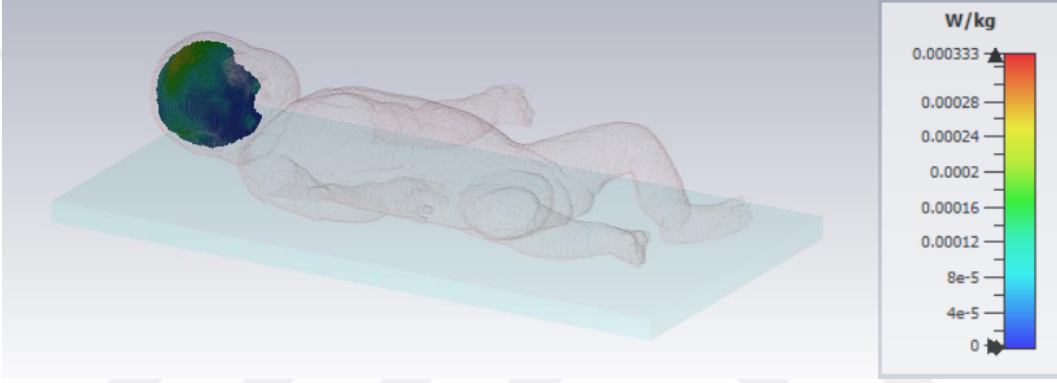
Şekil 3.10. 1800 MHz frekansta, anten A_1 konumunda iken görülen SAR dağılımı



Şekil 3.11. 1800 MHz frekansta, anten A_2 konumunda iken görülen SAR dağılımı

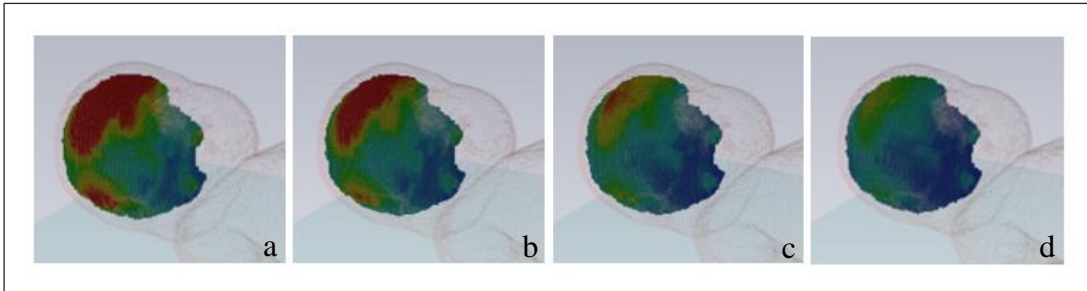


Şekil 3.12. 1800 MHz frekansta, anten A₃ konumunda iken görülen SAR dağılımı



Şekil 3.13. 1800 MHz frekansta, anten A₄ konumunda iken görülen SAR dağılımı

Bu sonuçlara göre antenin düşey ekseninde uzaklığının artırılmasıyla beyin dokusunda oluşan SAR dağılımlarının değişimi Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. 1800 MHz frekansta antenin konumu bebek modelinden uzaklaştıkça (a-d) beyin dokusunda görülen SAR dağılımının değişimi

1800 MHz frekansta antenin A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumları için $(-24, 4, 0)$ noktasında görülen elektrik alan şiddetlerinin ve bu noktadaki SAR değerinin $SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2$ formülünden hesaplanarak elde edilen değerler Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. 1800 MHz frekansta $(-24, 4, 0)$ noktasına görülen elektrik alan şiddeti ve karşılık gelen SAR değeri

Anten Konumu	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	SAR Değeri (W/kg)
Anten A_1 'de iken	1,49	0,000469
Anten A_2 'de iken	1,193	0,000252
Anten A_3 'de iken	1,003	0,000212
Anten A_4 'de iken	0,85	0,000152

$(-24, 4, 0)$ çalışma noktasında 1800 MHz frekans ve antenin farklı konumları için elde edilen elektrik alan şiddetleriyle, SAR formülü üzerinden irdeleme yaptığımızda; renk cetvelinde referans olarak aldığımız değere uygun sonuçlar elde edilmiştir.

3.3. 2,4 GHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Değişimine Göre Elektrik Alan Şiddeti ve SAR Dağılımının İncelenmesi

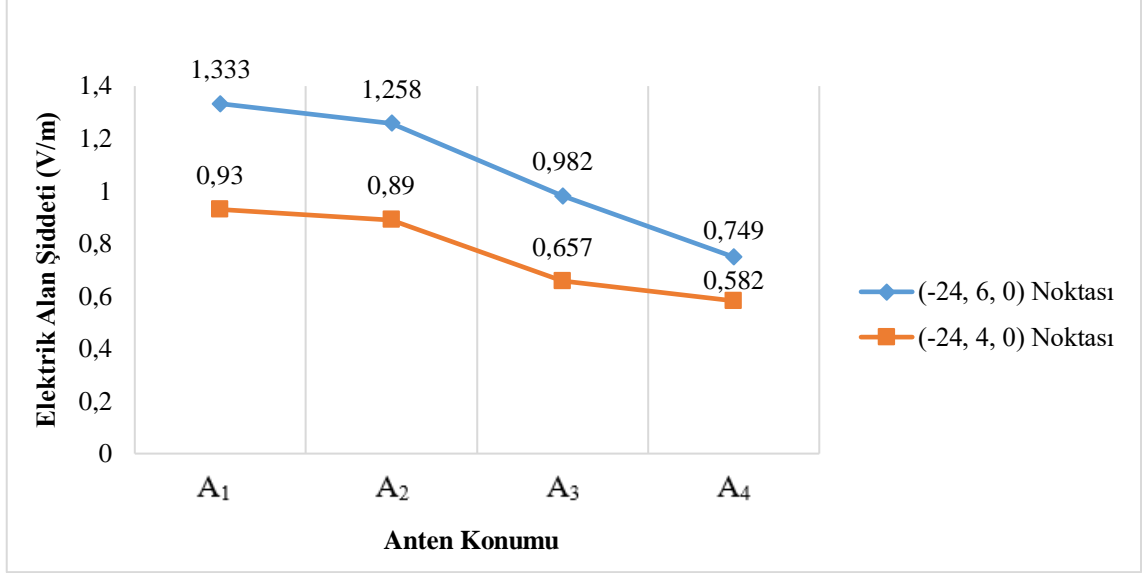
3.3.1. 2,4 GHz Frekansta Anten ile Bebek Arasındaki Mesafenin Düşey Eksendeki Değişimine Göre Elektrik Alan İncelemesi

2,4 GHz frekans değeri için de yine antenin A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumları için çalışmalar yapılmıştır ve bu dört farklı konum için $(-24, 6, 0)$ ve $(-24, 4, 0)$ noktalarında görülen elektrik alan şiddetleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. 2,4 GHz frekansta anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken, referans noktalarda görülen elektrik alan şiddetleri

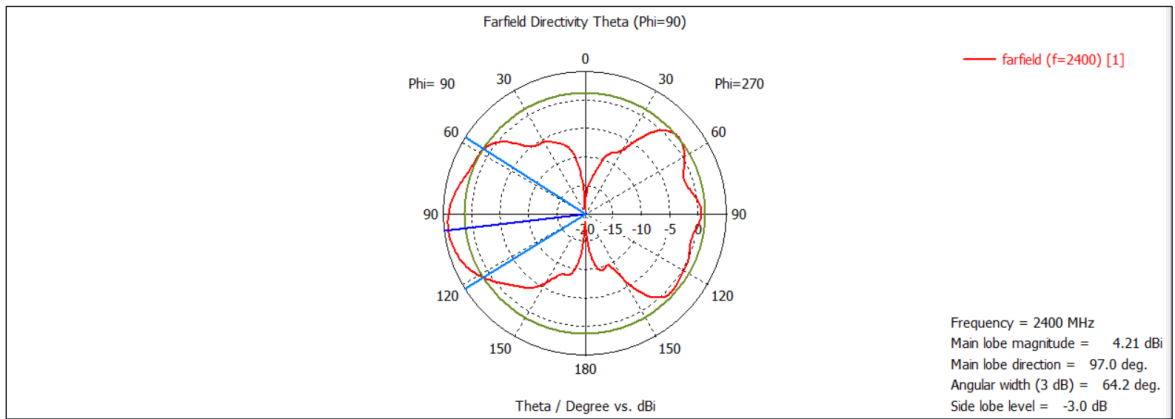
Prob Koordinatları	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	Anten A_1 'de iken	Anten A_2 'de iken	Anten A_3 'de iken	Anten A_4 'de iken
E(-24, 6, 0)	1,333	1,258	0,982	0,749
E(-24, 4, 0)	0,93	0,89	0,657	0,582

Bu sonuçlara göre antenin düşey ekseninde uzaklığının artırılmasıyla her iki referans noktadaki elektrik alan şiddeti değişim grafiği Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. 2,4 GHz frekansta (-24, 6, 0) ve (-24, 4, 0) noktalarındaki elektrik alan şiddetinin değişimi

2,4 GHz frekans ve A₁ konumu için antenin yöneltilik paterni ise Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. 2,4 GHz frekansta anten A₁ konumundayken yöneltilik paterni

Bebek modelinin eklenmiş haliyle oluşan Şekil 3.16'daki yöneltilik paterni incelendiğinde; serbest uzayda tasarlanan yarım dalga dipol anten uzak alan yöneltilik paterninden farklılığı görülmektedir.

2,4 GHz frekansta, anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken $(-24, 6, 0)$ referans noktasında elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin karşılaştırmasının yapılabilmesi için; ortam serbest uzay olarak kabul edilerek antenin aynı konumları ve aynı referans noktası için elektrik alan şiddeti değerleri hesaplanmıştır ve Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. 2,4 GHz frekansta ortamın serbest uzay olarak kabul edilerek, $(-24, 6, 0)$ referans noktası için hesaplanan elektrik alan şiddetleri

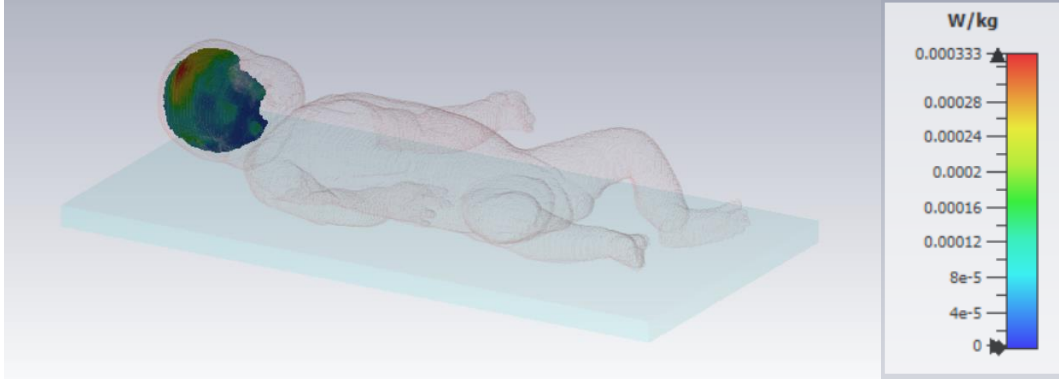
Referans Noktası	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)			
	Anten A_1 'de iken	Anten A_2 'de iken	Anten A_3 'de iken	Anten A_4 'de iken
E(-24, 6, 0)	1,472	1,332	1,118	1,018

2,4 GHz frekansta ortaya çıkan bu sonuçlar değerlendirildiğinde; Tablo 3.8'de verilen hesaplamalar serbest uzay kabul edilerek yapılmasına rağmen bebek modeli varken elde edilen sonuçlar ile önemli bir farklılık görülmemiştir.

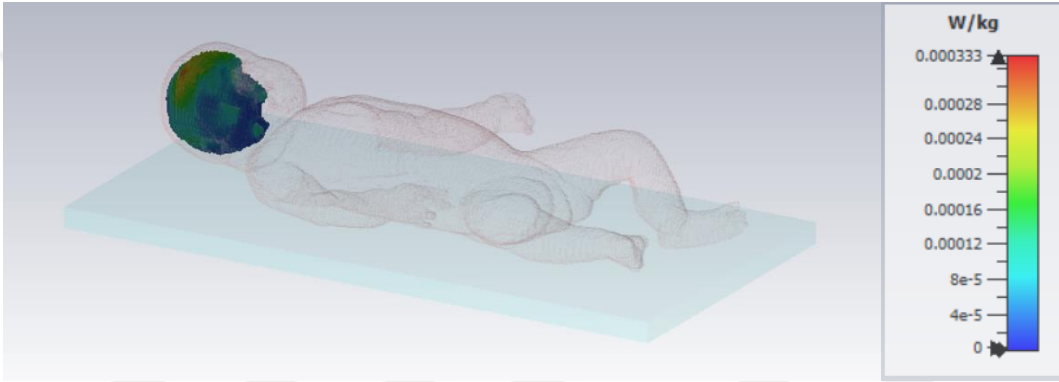
3.3.2. 2,4 GHz Frekansta Antenin Konumunun Düşey Eksendeki Değişimine Göre SAR Dağılımının İncelenmesi

2,4 GHz frekansta yarım dalga dipol antenin belirli uzaklıklarda referans noktadaki elektrik alan şiddeti incelendikten sonra, beyin dokusu üzerinde oluşan SAR dağılımı incelenmiştir. Anten konumları, elektrik alan şiddeti değerlendirmesinde olduğu gibi A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 olarak seçilmiştir.

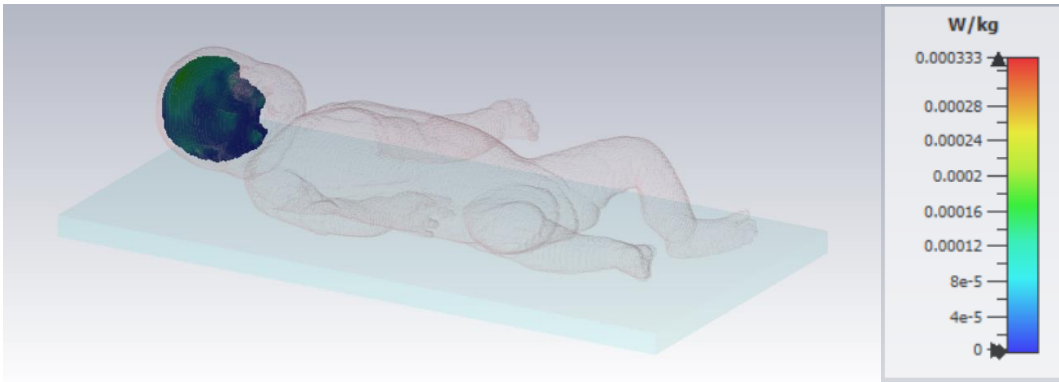
Bu doğrultuda anten A_1 , A_2 , A_3 ve A_4 konumlarında iken bebek modelinin beyin dokusunda görülen SAR dağılımları Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de verilmiştir.



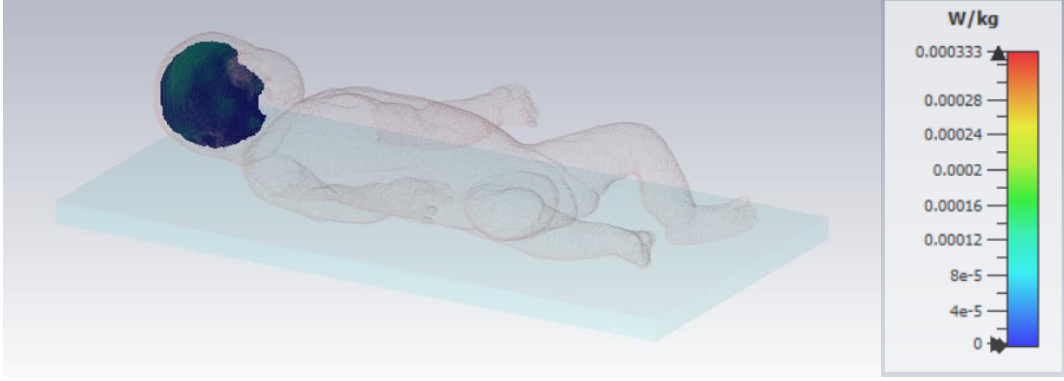
Şekil 3.17. 2,4 GHz frekansta, anten A₁ konumunda iken görülen SAR dağılımı



Şekil 3.18. 2,4 GHz frekansta, anten A₂ konumunda iken görülen SAR dağılımı

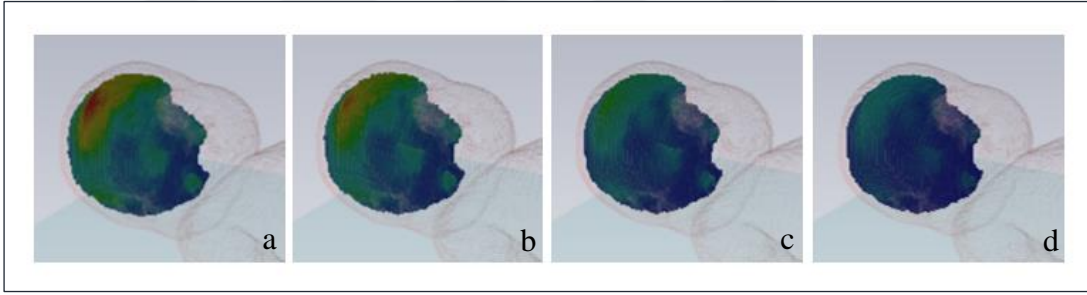


Şekil 3.19. 2,4 GHz frekansta, anten A₃ konumunda iken görülen SAR dağılımı



Şekil 3.20. 2,4 GHz frekansta, anten A₄ konumunda iken görülen SAR dağılımı

Bu sonuçlara göre antenin düşey ekseninde uzaklığının artırılmasıyla beyin dokusunda oluşan SAR dağılımlarının değişimi Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. 2,4 GHz frekansta antenin konumu bebek modelinden uzaklaştıkça (a-d) beyin dokusunda görülen SAR dağılımının değişimi

2,4 GHz frekansta antenin A₁, A₂, A₃ ve A₄ konumları için (-24, 4, 0) noktasında görülen elektrik alan şiddetlerinin ve bu noktadaki SAR değerinin $SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2$ formülünden hesaplanarak elde edilen değerler Tablo 3.9’da verilmiştir.

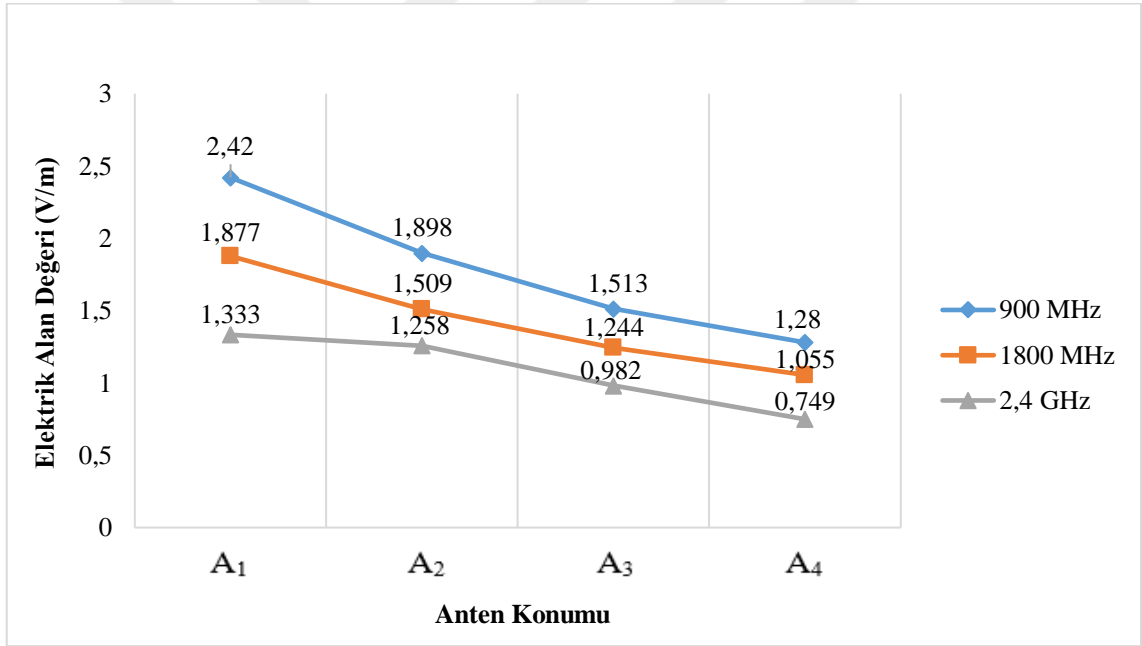
Tablo 3.9. 2,4 GHz frekansta (-24, 4, 0) noktasına görülen elektrik alan şiddeti ve karşılık gelen SAR değeri

Anten Konumu	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	SAR Değeri (W/kg)
Anten A ₁ ’de iken	0,93	0,000182
Anten A ₂ ’de iken	0,91	0,000175
Anten A ₃ ’de iken	0,765	0,000123
Anten A ₄ ’de iken	0,582	0,000071

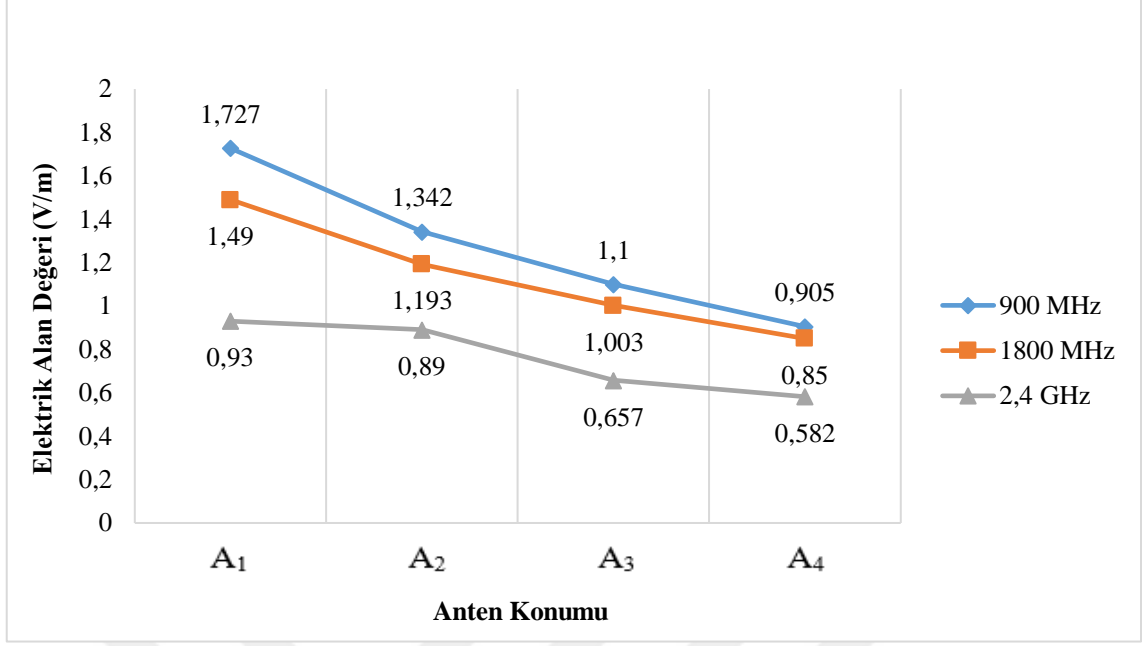
(-24, 4, 0) çalışma noktasında 2,4 GHz frekans ve antenin farklı konumları için elde edilen elektrik alan şiddetleriyle, SAR formülü üzerinden irdeleme yapıldığında; renk cetvelinde referans olarak alınan değere uygun sonuçlar elde edilmiştir.

3.4. Seçilen Çalışma Noktalarındaki Elektrik Alan Şiddeti'nin Frekanslara Göre Değişiminin İrdelenmesi

Çalışmada bebek modelinin kafa kısmının hemen üstünde vücuduna denk gelmeyen (-24, 6, 0) ve beyin dokusuna denk gelen (-24, 4, 0) noktalarında; üç farklı frekans ve dört farklı anten konumu için elektrik alan şiddeti incelendiğinde; Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te yer alan grafikler elde edilmiştir.



Şekil 3.22. (-24, 6, 0) noktasındaki elektrik alan şiddetinin antenin konumuna ve frekansa göre değişim grafiği

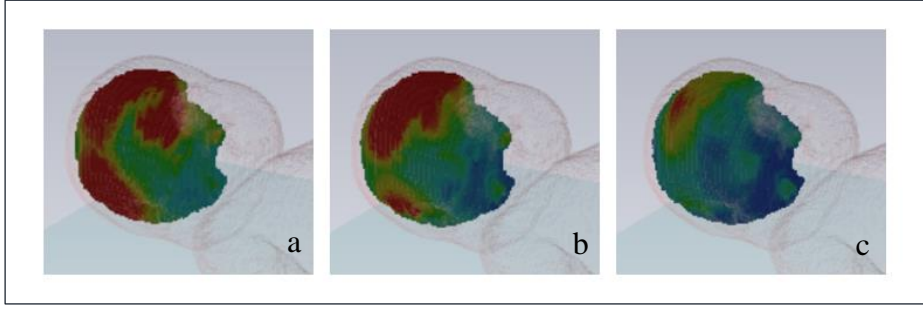


Şekil 3.23. (-24, 4, 0) noktasındaki elektrik alan şiddetinin antenin konumuna ve frekansa göre değişim grafiği

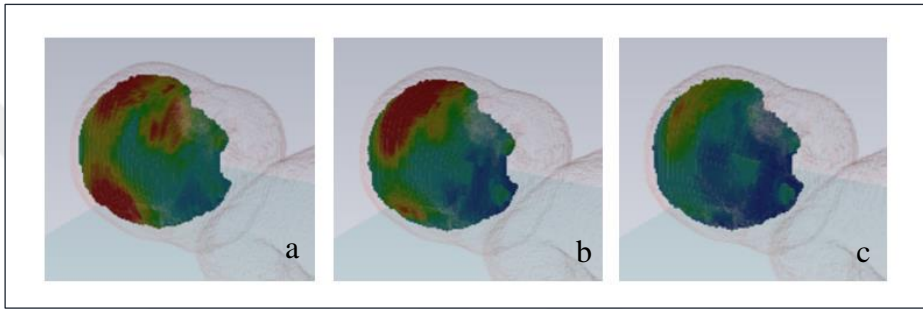
Elde edilen verilerle hazırlanan grafiklere göre; (-24, 6, 0) noktasında en fazla elektrik alan şiddetinin 900 MHz frekansta, en az elektrik alan şiddetinin ise 2,4 GHz frekansta olduğu görülmüştür. (-24, 4, 0) noktasında yapılan ölçümlerde de yine en fazla elektrik alan şiddetinin 900 MHz frekansta, en az elektrik alan şiddetinin ise 2,4 GHz frekansta olduğu görülmektedir.

3.5. Kafa Bölgesindeki SAR Dağılımı'nın Frekanslara Göre Değişiminin İrdelenmesi

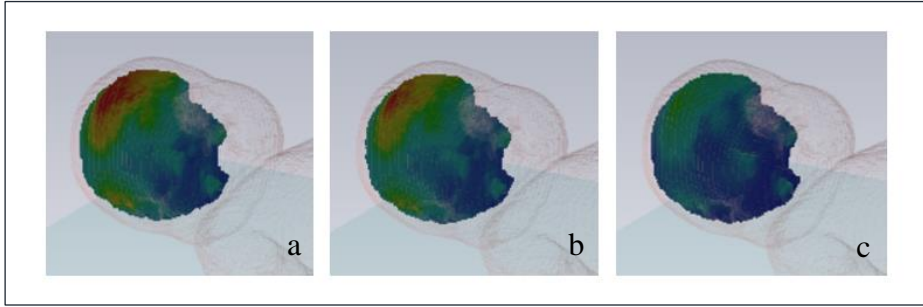
Çalışmada bebek modelinin beyin dokusunda oluşan SAR dağılımı; üç farklı frekans ve dört farklı anten konumu için incelenmiştir. Bu doğrultuda her anten konumu için sırasıyla 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslarda oluşan SAR dağılımlarının değişimi Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de verilmiştir.



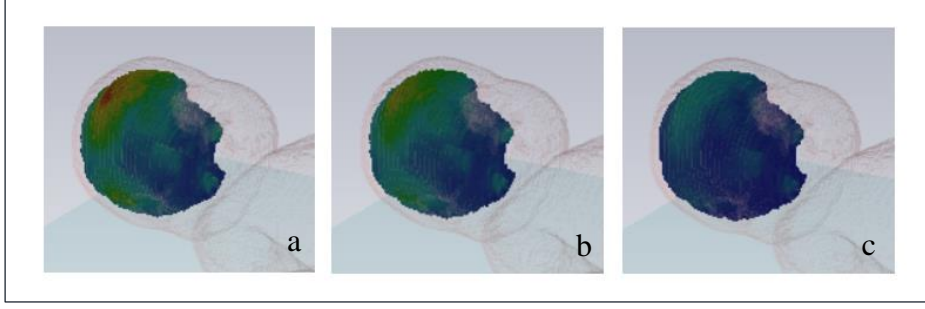
Şekil 3.24. Anten A₁ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları



Şekil 3.25. Anten A₂ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları



Şekil 3.26. Anten A₃ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları



Şekil 3.27. Anten A₄ konumunda iken (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz ve (c) 2,4 GHz frekansları için hesaplanan SAR dağılımları

Her konum için sırasıyla 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslardaki SAR dağılımı değişimleri irdelendiğinde; oluşan elektrik alan şiddetleriyle de orantılı olacağı gibi en yoğun dağılımın 900 MHz, en az dağılımın ise 2,4 GHz frekansta olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Teknolojinin hızla gelişmeye devam ettiği günümüzde, dünya üzerinde insanların elektromanyetik cihazları kullanımları da gün geçtikçe artmaktadır ve toplumun her kesimi bu cihazlardan yayılan elektromanyetik alana maruz kalmaktadır. Yapılan çalışmada da günlük hayatta bir bebeğin kablosuz haberleşme cihazından yayılan elektromanyetik alana maruz kalmasıyla oluşan elektrik alan şiddetinin ve SAR dağılımının incelenmesi yapılmıştır. Bu doğrultuda dokuların modellenmesine dayanan bir analiz programı kullanılmış olup 900 MHz, 1800 MHz ve 2,4 GHz frekanslarında yarım dalga dipol antenler tasarlanarak değişen frekans ve anten konumlarına göre, bebek modelindeki maruziyet incelenmiştir. Böylece farklı frekans ve anten konumlarının, elektrik alan şiddetine ve SAR dağılımına etkisi incelenmiştir.

Bebek modelinin vücuduna denk gelmeyen ve hemen baş kısmının üstünde yer alan (-24, 6, 0) ve beyine denk gelen (-24, 4, 0) noktasında; üç farklı frekansta ve yarım dalga dipol antenin düşey ekseninde dört farklı konumunda elektrik alan şiddetleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre teorik bilgilere de uyumlu olacak şekilde; iki noktada da yapılan çalışmalarda, her bir frekansta anten ölçüm noktasından uzaklaştıkça elektrik alan şiddetinin azaldığı görülmüştür. Bu şekilde gerçekleştirilen modellemede Bilgi ve İletişim Teknolojileri Kurumu tarafından açıklanan elektrik alan şiddeti sınır değerlerinin aşılmadığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma için bebek modeli beyindeki SAR dağılımı incelenmiş olup, her bir frekansta anten ile bebek modeli arasındaki mesafenin artmasıyla SAR değerinin azaldığı görülmüştür. Üç farklı frekansta antenin aynı konumları için SAR dağılımlarının karşılaştırması yapıldığında ise en yüksek değer 900 MHz frekansta, en düşük değer ise 2,4 GHz frekansta görülmüştür. Böylece elde edilen verilere göre; elektromanyetik alan maruziyetinde, elektromanyetik dalga kaynağının frekans ve konumunun etkili olduğu görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Gerçekleştirilecek farklı çalışmalarda; bu tez çalışmasında kullanılan parametreler farklılaştırılarak elektrik alan şiddeti ve SAR dağılımlarının incelemeleri yapılabilir.

Antenin aynı parametreleri ve aynı koşullar uygulanarak yetişkin ve çocuk modellerinin beyin dokularında oluşan SAR dağılımlarının karşılaştırmaları yapılabilir. Beyin dokusu dışında; bebek veya yetişkin modelinde bulunan farklı yoğunluk ve iletkenliğe sahip doku veya organlarda hesaplamalar ve benzetimler gerçekleştirilerek, dokulardaki elektrik alan maruziyetinin karşılaştırılması yapılabilir. Elektromanyetik dalga kaynağı olarak yarım dalga dipol anten dışında başka bir anten çeşidi kullanılabilir. Bu doğrultuda bir cep telefonu modeli kullanılarak da çalışma tekrarlanabilir. Böylece teorik olarak çalışmanın sonucunu etkileyeceği düşünülen parametrelerin benzetim yoluyla veya uygulamalı olarak da doğrulaması yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. <https://www.who.int/peh-emf/project/en/>, Uluslararası EMF Projesi. 16 Aralık 2019
2. Atılgan, E., Karadana, Y. ve Çömlekçi, S., Wi-Fi Haberleşmede İnsan Kafası Modelinde Sar Değerinin Hesaplanması ve Ölçüm Çalışması, Süleyman Demirel University Journal of Technical Sciences 4.1 (2014) 13-18.
3. Lin, J. C. (Ed.), *Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems*, Vol. 1, 17-88, Plenum Press, New York, 1994.
4. <http://www.bioinitiative.org/>, Elektromanyetik Alanlar için Biyolojik Temelli Bir Kamu Maruz Kalma Standardının Gerekçesi. 16 Aralık 2019
5. T.C. Resmi Gazete, Elektronik haberleşme cihazlarından kaynaklanan elektromanyetik alan şiddetinin uluslararası standartlara göre maruziyet limit değerlerinin belirlenmesi, kontrolü ve denetimi hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. (29497), 09.10.2015, 3.
6. Balanis C. A. *Antenna Theory Analysis and Design*, Third Edition, John Wiley and Sons, Arizona State University, 2005.
7. Huang, Y. ve Boyle, K., *Antennas:from Theory to Practice*, John Wiley & Sons, Singapore, 2008.
8. Ulusoy, A., Yakın ve Uzak Alan Bölgesinde Çok Katmanlı Yapılarda Sonlu Farklar Yönteminin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
9. Lias, K., Mat, D. A. A., Kipli, K. ve Marzuki, A. S. W. "Human Health Implication of 900 MHz and 1800 MHz Mobile Phones", *Proceedings of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications*, 15-17 December 2009, Malaysia, MICC 2009, 146-149.
10. Kapucu, N., Develi, İ. ve Sorgucu, U., Arama ve Aranma Sırasında GSM 900 MHz Cep Telefonunun Yayıdığı Elektromanyetik Radyasyonun Değişiminin Deneysel Olarak Gözlenmesi, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 2011, Elazığ.
11. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8458081>, Comparison Specific Absorption Rate (SAR) for Human Head between 2G and 4G Mobile Communication, 16 Aralık 2019
12. Seabury, D., *An Update On SARStandards And The Basic Requirements For SARAssessment*, 2005.
13. Zhang, M. ve Alden, A., Calculation of whole-body SAR from a 100 MHz dipole antenna. *Progress In Electromagnetics Research*, 119 (2011)133-153.
14. ICNIRP, *For Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 KHz to 300 GHz)*, ICNIRP, Münih, 2020

15. Burdalo, M. M. ve Martin, A., Comparison of FDTD-calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz, Physics in Medicine and Biology, 49,2 (2004) 345-354.
16. Panagopoulos, D., J., Chavdoula, E., D., Margaritis, L. ve H., Bioeffects of mobile telephony radiation in relation to its intensity or distance from the antenna, International Journal of Radiation Biology, 86, 5, 2010.
17. Simba, A., Y., Watanabe, S., Hikage, T. ve Nojima, T., Measurement of the Maximum SAR in a Spherical Phantom When Operating a Mobile Phone Near a Metallic Wall.
18. Şükrü, Ö., Onural, A. Ş. ve Çömlekçi, S. ve Çerezci, O., Experimental Determination of Heat Rise and SAR Occured by 900 MHz EM Radiation on Human Brain by Using Brain Phantom Model, Gazi University Journal Of Science, 17, 3 (2004), 127-132.
19. Watanabe, S., Mukoyama, A., Wake, K. ve Yamanaka, Y., Microwave Exposure Setup for A Long-Term in vivo Study, Proceedings of ISAP2000, 2000, Japan.
20. Firengiz, A. ve Kavas, A., Cep Telefonlarından Yayınlanan Elektromagnetik Radyasyon Ölçümleri ve Maruz Kalma Standartlarının Değerlendirilmesi, İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, Kasım 2005, Adana, Bildiriler Kitabı, 65-70.
21. Sevgi, L., Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları, EMO İstanbul Şubesi Bülteni, Ocak-Temmuz 2000 sayısı, 2000.
22. R. Huber, J. Schuderer, T. Graf, K. Jütz, A.A. Borbély, N. Kuster ve P. Achermann, Bioelectromagnetics. 24, 262 (2003).
23. Özdiñç Polat, L.N. ve Çömlekçi, S., Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Kas Dokusunda Oluşturduğu Etkinin Modellenmesi ve Analizi, Journal of Engineering Sciences and Design, 7, 3 (2019), 498 – 504.

ÖZGEÇMİŞ

Gözde SAĞLAM, 1992 yılında Trabzon'da doğdu. 2010 yılında Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü öğrenimine başladı. 2013 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi Açıköğretim İşletme Fakültesi'nden 2018 yılında mezun oldu. Ocak 2018'den itibaren KTÜ Teknoloji Transferi Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde proje uzmanı olarak görevini sürdürmektedir.

