

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İŞ YERLERİ VE YAŞAM ALANLARINDA BULUNAN CİHAZLARIN  
ELEKTROMANYETİK ALAN SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ VE  
ELEKTROMANYETİK RİSK ANALİZİ**

**Eda YAVUZ DİRİK**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OCAK 2022**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İŞ YERLERİ VE YAŞAM ALANLARINDA BULUNAN CİHAZLARIN  
ELEKTROMANYETİK ALAN SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ VE  
ELEKTROMANYETİK RİSK ANALİZİ**

**Eda YAVUZ DİRİK**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OCAK 2022**

**ANTALYA**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞ YERLERİ VE YAŞAM ALANLARINDA BULUNAN CİHAZLARIN**  
**ELEKTROMANYETİK ALAN SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ VE**  
**ELEKTROMANYETİK RİSK ANALİZİ**

**Eda YAVUZ DİRİK**  
**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 20/01/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman)  
Prof. Dr. Selçuk HELHEL  
Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

## ÖZET

# İŞ YERLERİ VE YAŞAM ALANLARINDA BULUNAN CİHAZLARIN ELEKTROMANYETİK ALAN SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ VE ELEKTROMANYETİK RİSK ANALİZİ

**Eda YAVUZ DİRİK**

**Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Şükrü ÖZEN**

**Ocak 2022; 109 sayfa**

Günümüzde teknolojinin gelişimiyle birlikte yaşamımızın her anında elektronik cihazlar kullanılmaktadır. Yaşamımızı kolaylaştıran kullanmaktan vazgeçemediğimiz bu cihazların hayatımızda önemi çok büyüktür. Bu kolaylıkla birlikte elektrikli cihazların ne kadar iş gücü, zaman gibi avantajları olsa da insan vücuduna verdiği zararlar da vardır. Bu konuda birçok araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalarla, çalışmalarla bu zararlar minimal düzeyde tutulmaya çalışılmıştır. Bu elektrikli cihazlar, kullanım sırasında farklı frekanslarda elektromanyetik alan meydana getirirler. Elektromanyetik alana maruz kalmak insan sağlığını olumsuz yönde etkiler. Gelişen teknolojiyle birlikte birçok yeni cihazlar da kullanılmaya başlanmış, aynı zamanda bu cihazların çalıştığı frekans bandı da artmıştır.

Tüm dünyada ve ülkemizde 2020 yılı itibarıyla Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından pandemi olarak kabul edilen covid-19 salgını sürecinde alınan önlem planları gereği evlerde daha çok vakit geçirilmesiyle cihazlarla etkileşim artmış, hatta uzaktan eğitim süresince çocukların cihaz kullanımı da artarak buna bağlı maruziyet de artmıştır. Araştırmanın yapıldığı coğrafyaya göre verilerin değişmesiyle birlikte, pandemi sonrası insanların internet başında geçirdikleri süre ile özellikle çocuk ve ergenlerde ekran başında geçirilen vaktin, pandemi öncesi verilere göre 3-4 kat artış gösterdiği yönünde değerlendirmeler yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, elektrikli cihazlara maruz kalan çalışan, çocuk, hamile kadınlar da dahil olmak üzere elektromanyetik doz analizleri yapılmış olup, alınabilecek güvenlik önlemleri belirlenerek özellikle, içinde bulunduğumuz pandemi döneminde çocukların uzaktan eğitim sürecinde ve evlerde ekranlı cihazlarla etkileşimleri, hamileler, yaşlılar gibi kişilerin elektromanyetik etkileşimlerindeki risk düzeylerine ilişkin maruziyet analizleri yapılmıştır.

Düşük frekans bölgesinde 50 Hz'den 100 kHz'e kadar, dış manyetik alanların etkisiyle çocuk ve yetişkin insan vücuduna indüklenen elektrik alan ve akım yoğunlukları hesaplanması için elipsoid gövde modelleri kullanılmıştır. Harici manyetik alan 1  $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen akım yoğunluğu tahmin edilmiştir.

Düşük frekans bölgesinde dış manyetik alanın etkisiyle vücuda indüklenen elektrik alanları ile akım yoğunlukları, yüksek frekans bölgesinde ise, cihaz insan etkileşim durumuna göre patch anten modellemesi yapılarak vücuda veya kafa, göz gibi

vücut kısımlarına indüklenen özgül soğurulma oranı (SAR) benzetim hesapları yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile güvenlik önlemleri bulgular ve tartışma kısmında ele alınmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Elektrik Alan, Elektromanyetik Alan Maruziyeti, Manyetik Alan, Özgül Soğurma Oranı, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Vücuda İndüklenen Akım

**JÜRİ:** Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ



## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF ELECTROMAGNETIC FIELD LEVELS AND ELECTROMAGNETIC RISK ANALYSIS OF DEVICES IN WORKPLACES AND LIVING AREAS**

**Eda YAVUZ DİRİK**

**MSc Thesis in Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Şükrü ÖZEN**

**January 2022; 109 pages**

Nowadays, with the development of technology, electronic devices are used in every moment of our lives. These devices, which make our lives easier, are of great importance in our lives. Along with this convenience, although electrical devices have advantages such as labor and time, there are also harms to the human body. Many researches have been done on this subject. These damages have been tried to be kept at a minimum level with researches and studies. These electrical devices create electromagnetic fields at different frequencies during use. Exposure to electromagnetic fields adversely affects human health. Along with the developing technology, many new devices have started to be used, and the frequency band in which these devices work has also increased.

All over the world and in our country, as of 2020, the interaction with devices has increased due to the precautionary plans taken during the covid-19 epidemic, which is accepted as a pandemic by the World Health Organization (WHO) as of 2020, and even the use of devices by children during distance education has increased and thus the exposure has increased. With the change of data according to the geography where the research was conducted, evaluations are made that the time spent by people on the internet after the pandemic and the time spent in front of the screen, especially in children and adolescents, increased 3-4 times compared to the data before the pandemic.

In this thesis, electromagnetic dose analyzes were carried out, including employees, children and pregnant women exposed to electrical devices, and by determining the safety measures that can be taken, the interaction of children with screened devices in the distance education process and at home, especially during the current pandemic period, and electromagnetic dose analysis of people such as pregnant women and the elderly. Data on risk levels in interactions have been obtained.

Ellipsoid body models were used to calculate the electric field and current densities induced in the child and adult human body by the effect of external magnetic fields from 50 Hz frequency to 100 kHz frequency, which is the low frequency region. The induced current density was estimated by normalizing the external magnetic field to 1  $\mu$ T.

In the low-frequency region, the electric fields and current densities induced in the body by the effect of the external magnetic field, and in the high-frequency region,

patch antenna modeling was made according to the device-human interaction status, and induced specific absorption rate (SAR) simulation calculations were made on the body or body parts such as the head and eyes. The results and safety precautions are discussed in the findings and discussion section.

**KEYWORDS:** Body Induced Current, Electric Field, Electromagnetic Field Exposure, Finite Element Method, Magnetic Field, Specific Absorption Rate

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Şükrü ÖZEN

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ



## ÖNSÖZ

Günlük hayatımızda temel ihtiyaç olarak gördüğümüz ve kullanmaktan vazgeçemediğimiz elektrikli cihazların elektromanyetik alan seviyeleri şimdiye kadar yapılan birçok çalışmada ele alınmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte birçok yeni cihaz kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, yaşamımızın her alanında kullandığımız vazgeçilmez olan elektrikli cihazların çevreye ve canlılara olan zararlarının minimum düzeyde olması gerektiğini göz önünde bulundurularak, bu cihazlara çalışan, çocuk, hamile kadınlar vs maruz kalanların manyetik alan ölçümleri yapılmış ve elektromanyetik doz analizlerinin yapılarak alınabilecek güvenlik önlemleri belirlenmiştir. Özellikle, içinde bulunduğumuz pandemi döneminde çocukların uzaktan eğitim sürecinde ve evlerde ekranlı cihazlarla etkileşimleri ile hamileler, yaşlılar gibi kişilerin elektromanyetik etkileşimlerdeki risk düzeylerine ilişkin veriler elde edilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, bilimsel katkılarını ve tecrübelerini benimle paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şükrü ÖZEN'e en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte bana karşı desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım boyunca hoşgöründen hiç ödün vermeyen Sayın Arş. Gör. Kayhan ATEŞ'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca, bugünlere gelmemde emeği ve katkısı olan değerli anneme ve babama, sevgili kardeşlerim Fatma ve Seda'ya ve en değerlim sevgili eşim Abidin'e, çalışmam süresince gösterdikleri sabır ve verdikleri sonsuz destek için çok teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                          |       |
|----------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET.....                                                | i     |
| ABSTRACT.....                                            | iii   |
| ÖNSÖZ.....                                               | v     |
| AKADEMİK BEYAN .....                                     | viixi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                             | ix    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                     | xiii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                  | xix   |
| 1. GİRİŞ .....                                           | 1     |
| 2. KAYNAK TARAMASI .....                                 | 3     |
| 2.1. Elektromanyetik Alanlar ve Maruziyet .....          | 3     |
| 2.2. Manyetik Alanlar ve Maruziyet .....                 | 8     |
| 2.3. İndüklenen Akım Yoğunluğu.....                      | 11    |
| 2.4. Özgül Soğurma Oranı (SAR) Analizi .....             | 11    |
| 3. MATERYAL VE METOD .....                               | 14    |
| 3.1. Kuramsal Bilgiler .....                             | 14    |
| 3.1.1. Elektrik alan.....                                | 14    |
| 3.1.2. Manyetik alan .....                               | 14    |
| 3.1.3. Elektromanyetik alan.....                         | 15    |
| 3.1.4. Özgül soğurma oranı (SAR).....                    | 17    |
| 3.1.5. Elipsoid model.....                               | 18    |
| 3.2. Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçüm Tekniği .....  | 21    |
| 3.3. Modelleme.....                                      | 22    |
| 3.3.1. Sonlu elemanlar yöntemi .....                     | 22    |
| 3.3.2. Patch anten tasarımı.....                         | 23    |
| 3.3.3. CST programı voksel ailesi .....                  | 24    |
| 3.4. Yasal Düzenlemeler ve Sınır Değerler .....          | 27    |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                            | 30    |
| 4.1. Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçümleri .....      | 30    |
| 4.2. Düşük Frekans Bölgesinde Elde Edilen Sonuçlar ..... | 32    |
| 4.2.1. Analitik çözümler .....                           | 32    |
| 4.2.2. SEY tabanlı nümerik çözümler.....                 | 42    |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 4.3. Yüksek Frekans Bölgesinde Elde Edilen Sonuçlar ..... | 54  |
| 4.3.1. Sey tabanlı 900 MHz frekansı SAR analizi.....      | 54  |
| 4.3.2. Sey tabanlı 1800 MHz frekansı SAR analizi.....     | 62  |
| 4.3.3. Sey tabanlı 2.4 GHz frekansı SAR analizi .....     | 68  |
| 4.3.4. Sey tabanlı 2.45 GHz frekansı SAR analizi.....     | 75  |
| 5. SONUÇLAR .....                                         | 87  |
| 6. KAYNAKLAR .....                                        | 92  |
| 7. EKLER.....                                             | 101 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                  |     |



## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İş Yerleri ve Yaşam Alanlarında Bulunan Cihazların Elektromanyetik Alan Seviyelerinin Belirlenmesi ve Elektromanyetik Risk Analizi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

20/01/2022

Eda YAVUZ DİRİK



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|           |                                  |
|-----------|----------------------------------|
| $B$       | : Manyetik akı yoğunluğu         |
| $B_0$     | : Dış manyetik akı yoğunluğu     |
| $c$       | : Işık hızı                      |
| $E$       | : Elektrik alan şiddeti          |
| $E_{max}$ | : Maksimum elektrik alan şiddeti |
| $E_{rms}$ | : Etkin elektrik alan şiddeti    |
| $D$       | : Elektrik akı yoğunluğu         |
| $f_r$     | : rezonans frekansı              |
| $G$       | : Gauss                          |
| $H$       | : Manyetik alan şiddeti          |
| $h$       | : Yükseklik                      |
| $j$       | : Karmaşık birim sayı            |
| $J$       | : Elektrik akı yoğunluğu         |
| $J_{max}$ | : Maksimum elektrik alan şiddeti |
| $J_{rms}$ | : Etkin elektrik alan şiddeti    |
| $K$       | : Kelvin                         |
| $kV$      | : Kilovolt                       |
| $L$       | : Yama antenin uzunluğu          |
| $L_m$     | : Dielektrik malzemenin uzunluğu |
| $mG$      | : Miligauss                      |
| $nG$      | : Nanogauss                      |
| $nT$      | : Nanotesla                      |
| $S$       | : Siemens                        |

|                  |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| T                | : Tesla                            |
| V                | : Volt                             |
| W                | : Yama antenin genişliği           |
| W <sub>m</sub>   | : Dielektrik malzemenin genişliği  |
| w                | : Açısal hız                       |
| $\rho_s$         | : Elektrik yük yoğunluğu           |
| $\rho$           | : Manyetik yük yoğunluğu           |
| $\sigma$         | : Elektriksel iletkenlik           |
| $\sigma^*$       | : Karmaşık elektriksel iletkenlik  |
| $\mu_0$          | : Boş uzayın manyetik geçirgenliği |
| $\epsilon_0$     | : Boş uzayın elektrik geçirgenliği |
| $\mu T$          | : Mikrotesla                       |
| $\epsilon_{eff}$ | : Efektif elektrik geçirgenliği    |
| $^{\circ}C$      | : Santigrat derece                 |

### **Kısaltmalar**

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| CAD | : Bilgisayar Destekli Yazılım |
| cm  | : Santimetre                  |
| ÇDF | : Çok Düşük Frekans           |
| EA  | : Elektrik Alan               |
| EHF | : Ekstra Yüksek Frekans       |
| ELF | : Çok Düşük Frekans           |
| EM  | : Elektromanyetik             |
| EMA | : Elektromanyetik Alan        |

|                |                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------|
| EMR            | : Elektromanyetik Rezonans                                    |
| EQS            | : Elektroyarı Statik                                          |
| FDTD           | : Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi                               |
| GHz            | : Gigahertz                                                   |
| gr             | : Gram                                                        |
| ICNIRN         | : Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu |
| IEEE           | : Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü                  |
| HF             | : Yüksek Frekans                                              |
| Hz             | : Herz                                                        |
| kHz            | : Kiloherz                                                    |
| km             | : Kilometre                                                   |
| kg             | : Kilogram                                                    |
| LF             | : Düşük Frekans                                               |
| m              | : Metre                                                       |
| mm             | : Milimetre                                                   |
| m <sup>2</sup> | : Metrekare                                                   |
| MHz            | : Megahertz                                                   |
| MF             | : Orta Frekans                                                |
| MR             | : Manyetik Rezonans                                           |
| MRI            | : Manyetik Rezonans Görüntüleme                               |
| MQS            | : Manyetoyarı Statik                                          |
| PDÖ            | : Probleme Dayalı Öğretim                                     |
| RF             | : Radyo Frekans                                               |
| sn             | : Saniye                                                      |
| SAR            | : Özgül Soğurma Oranı                                         |
| SEY            | : Sonlu Elemanlar Yöntemi                                     |

|      |                              |
|------|------------------------------|
| SHF  | : Süper Yüksek Frekans       |
| UHF  | : Ultra Yüksek Frekans       |
| VHF  | : Çok Yüksek Frekans         |
| WLAN | : Kablosuz Yerel Ağ          |
| WHO  | : Dünya Sağlık Örgütü        |
| ZDSF | : Zaman Domeni Sonlu Farklar |
| 3D   | : 3 Boyutlu                  |

Tezde ondalık yazılımlar mevcuttur ve ondalık yazılımlar nokta ayırıcı ile kullanılmıştır. (Örnek: “12.34”)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.1. a)</b> Pozitif yük yönü; <b>b)</b> Negatif yük yönü; <b>c)</b> Nötr yük yönü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 14 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Manyetik alan yönü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 15 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Elektromanyetik dalga yönü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 15 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Elektromanyetik spektrum .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 16 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Elipsoid model gösterimi; <b>a)</b> Manyetik alan ana eksenini ile hizalıdır; <b>b)</b> Manyetik alan modelin ara eksenini ile hizalıdır; <b>c)</b> Manyetik alan modelin yan eksenini ile hizalıdır .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18 |
| <b>Şekil 3.6. a)</b> HIOKI 3470 Magnetic Field Hiester; <b>b)</b> Narda Broadband Field Meter NBM-550 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 22 |
| <b>Şekil 3.7.</b> Patch anten geometrisi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 23 |
| <b>Şekil 3.8. a)</b> Bebek modeli görünümü; <b>b)</b> Çocuk modeli görünümü; <b>c)</b> Donna modeli görünümü; <b>ç)</b> Emma modeli görünümü; <b>d)</b> Gustav modeli görünümü; <b>e)</b> Hugo modeli görünümü; <b>f)</b> Laura modeli görünümü; <b>g)</b> Katja modeli görünümü; <b>ğ)</b> Austin modeli görünümü .....                                                                                                                                                                                                    | 25 |
| <b>Şekil 4.1. a)</b> 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının maksimum değerlerinin ( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları; <b>b)</b> 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının maksimum değerlerinin ( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları .....                                                                                                                                                                                         | 37 |
| <b>Şekil 4.2. a)</b> 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları <b>b)</b> 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları .....                                                                                                                                                                                      | 38 |
| <b>Şekil 4.3. a)</b> 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen elektrik alanının maksimum değerinin ( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları; <b>b)</b> 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen elektrik alanının maksimum değerinin ( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları .....           | 40 |
| <b>Şekil 4.4. a)</b> 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları; <b>b)</b> 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları ..... | 41 |



|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.5.</b> Homojen elipsoid model genel görünümü ..... | 42 |
|---------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.6. a)</b> Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi..... | 43 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.7. a)</b> Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi..... | 44 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8. a)</b> Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi..... | 45 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.9. a)</b> Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi..... | 46 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.10. a)</b> Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi..... | 47 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Şekil 4.11. a)</b> Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi..... |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| gösterimi; e) Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenini yönlü gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 48 |
| <b>Şekil 4.12. a)</b> Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini yönlü gösterimi ..... | 49 |
| <b>Şekil 4.13. a)</b> Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini yönlü gösterimi.....        | 50 |
| <b>Şekil 4.14. a)</b> Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>b)</b> Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>c)</b> Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini renkli gösterimi; <b>ç)</b> Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini yönlü gösterimi; <b>d)</b> Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini yönlü gösterimi; <b>e)</b> Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini yönlü gösterimi.....        | 51 |
| <b>Şekil 4.15.</b> 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının maksimum değerlerinin ( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) SEY Tabanlı tahmin sonuçları .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 52 |
| <b>Şekil 4.16.</b> Tasarlanan 900 MHz anten görünümü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 55 |
| <b>Şekil 4.17.</b> Tasarlanan 900 MHz antenin S parametresi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 55 |
| <b>Şekil 4.18.</b> Tasarlanan 900 MHz antenin VSWR grafiği .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 55 |
| <b>Şekil 4.19.</b> Tasarlanan 900 MHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 56 |
| <b>Şekil 4.20. a)</b> Tasarlanan 900 MHz antenin E-Düzlemi; <b>b)</b> Tasarlanan 900 MHz antenin H-Düzlemi .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 56 |
| <b>Şekil 4.21.</b> Bebek vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 57 |
| <b>Şekil 4.22.</b> Bebek vokselinin +x yönünde kafa kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 57 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.23.</b> Çocuk vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 58 |
| <b>Şekil 4.24.</b> Çocuk vokselinin +x yönünde el kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....     | 58 |
| <b>Şekil 4.25.</b> Donna vokselinin +x yönünde kafa kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 59 |
| <b>Şekil 4.26.</b> Emma vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....    | 59 |
| <b>Şekil 4.27.</b> Emma vokselinin +x yönünde karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 59 |
| <b>Şekil 4.28.</b> Gustav vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 60 |
| <b>Şekil 4.29.</b> Hugo vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 60 |
| <b>Şekil 4.30.</b> Katja vokselinin -y yönünde karın kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 61 |
| <b>Şekil 4.31.</b> Katja vokselinin +x yönünde kol kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....    | 61 |
| <b>Şekil 4.32.</b> Laura vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 61 |
| <b>Şekil 4.33.</b> Tasarlanan 1800 MHz anten görünümü .....                                                            | 63 |
| <b>Şekil 4.34.</b> Tasarlanan 1800 MHz antenin S parametresi .....                                                     | 63 |
| <b>Şekil 4.35.</b> Tasarlanan 1800 MHz antenin VSWR grafiği .....                                                      | 63 |
| <b>Şekil 4.36.</b> Tasarlanan 1800 MHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü .....                                               | 64 |
| <b>Şekil 4.37. a)</b> Tasarlanan 1800 MHz antenin E-Düzlemi; <b>b)</b> Tasarlanan 1800 MHz antenin H-Düzlemi .....     | 64 |
| <b>Şekil 4.38.</b> Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 65 |
| <b>Şekil 4.39.</b> Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 65 |
| <b>Şekil 4.40.</b> Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri ..... | 66 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.41.</b> Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....    | 66 |
| <b>Şekil 4.42.</b> Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 66 |
| <b>Şekil 4.43.</b> Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 67 |
| <b>Şekil 4.44.</b> Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri ..... | 67 |
| <b>Şekil 4.45.</b> Tasarlanan 2.4 GHz anten görünümü .....                                                              | 68 |
| <b>Şekil 4.46.</b> Tasarlanan 2.4 GHz antenin S parametresi .....                                                       | 68 |
| <b>Şekil 4.47.</b> Tasarlanan 2.4 GHz antenin VSWR grafiği .....                                                        | 69 |
| <b>Şekil 4.48.</b> Tasarlanan 2.4 GHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü .....                                                 | 69 |
| <b>Şekil 4.49. a)</b> Tasarlanan 2.4 GHz antenin E-Düzlemi; <b>b)</b> Tasarlanan 2.4 GHz antenin H-Düzlemi .....        | 69 |
| <b>Şekil 4.50.</b> Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 70 |
| <b>Şekil 4.51.</b> Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 71 |
| <b>Şekil 4.52.</b> Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....    | 71 |
| <b>Şekil 4.53.</b> Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....    | 71 |
| <b>Şekil 4.54.</b> Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 72 |
| <b>Şekil 4.55.</b> Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri ..... | 72 |
| <b>Şekil 4.56.</b> Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 73 |
| <b>Şekil 4.57.</b> Katja vokselinin -y yönünde karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....  | 73 |
| <b>Şekil 4.58.</b> Çocuk vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....    | 73 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.59.</b> Çocuk vokselinin -y yönünde göz kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....     | 74 |
| <b>Şekil 4.60.</b> Tasarlanan 2.45 GHz anten görünümü .....                                                            | 75 |
| <b>Şekil 4.61.</b> Tasarlanan 2.45 GHz antenin S parametresi .....                                                     | 75 |
| <b>Şekil 4.62.</b> Tasarlanan 2.45 GHz antenin VSWR grafiği .....                                                      | 75 |
| <b>Şekil 4.63.</b> Tasarlanan 2.45 GHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü .....                                               | 76 |
| <b>Şekil 4.64. a)</b> Tasarlanan 2.45 GHz antenin E-Düzlemi; <b>b)</b> Tasarlanan 2.45 GHz antenin H-Düzlemi .....     | 76 |
| <b>Şekil 4.65.</b> Çocuk vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 77 |
| <b>Şekil 4.66.</b> Katja vokselinin -y yönünde karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri ..... | 77 |
| <b>Şekil 4.67.</b> Çocuk vokselinin -y yönünde karın kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri .....   | 78 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1. Elektrikli cihazların çeşitli uzaklıklardaki manyetik alanları .....                                                                                                                                                   | 9  |
| Çizelge 3.1. Elektromanyetik spektrum frekans aralıkları.....                                                                                                                                                                       | 17 |
| Çizelge 3.2. Elipsoid parametreleri.....                                                                                                                                                                                            | 19 |
| Çizelge 3.3. Homojen cisim modellerinin elektriksel özellikleri .....                                                                                                                                                               | 19 |
| Çizelge 3.4. CST Studio Suite dokuz insan modeli bilgileri .....                                                                                                                                                                    | 24 |
| Çizelge 3.5. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyet için referans seviyeleri .....                                                                                                                         | 27 |
| Çizelge 3.6. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara genel halkın maruziyet için referans seviyeleri .....                                                                                                                    | 27 |
| Çizelge 3.7. 100 kHz – 300 GHz arasındaki elektromanyetik alanlara ortalama 6 dakikanın üzerinde mesleki maruziyet için referans seviyeleri (pertübe edilmemiş rms değerleri).....                                                  | 28 |
| Çizelge 3.8. 100 kHz – 300 GHz arasındaki elektromanyetik alanlara ortalama 6 dakikanın üzerinde halk maruziyet için referans seviyeleri (pertübe edilmemiş rms değerleri) .....                                                    | 28 |
| Çizelge 3.9. 100 kHz – 300 GHz arası elektromanyetik alana maruz kalma için mesleki temel kısıtlamalar.....                                                                                                                         | 28 |
| Çizelge 3.10. 100 kHz – 300 GHz arası elektromanyetik alana maruz kalma için genel halkın temel kısıtlamaları .....                                                                                                                 | 29 |
| Çizelge 4.1. Elektrikli cihazların çeşitli uzaklıklardaki elektrik alanlar ve manyetik alanları .....                                                                                                                               | 31 |
| Çizelge 4.2. Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1 $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı .....        | 33 |
| Çizelge 4.3. Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1 $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum akım yoğunluğu .....        | 34 |
| Çizelge 4.4. Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1 $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen elektrik alanının etkin değeri ..... | 35 |
| Çizelge 4.5. Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1 $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen akım yoğunluğunun etkin değeri ..... | 36 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge 4.6.</b> Gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen elektrik alanının maksimum değeri .....                                                                                                                           | 39  |
| <b>Çizelge 4.7.</b> Gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değeri .....                                                                                                                           | 39  |
| <b>Çizelge 4.8.</b> 50 Hz frekansında gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1 $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanının analitik sonuçları ile SEY tabanlı nümerik sonuçları ..... | 53  |
| <b>Çizelge 4.9.</b> Çocuk modelinde dokularının 900 MHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                        | 62  |
| <b>Çizelge 4.10.</b> Austin modelinde dokularının 1800 MHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                     | 67  |
| <b>Çizelge 4.11.</b> Çocuk modelinde dokularının 2.4 GHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                       | 74  |
| <b>Çizelge 4.12.</b> Katja modelinde fetüs dokularının 2.45 GHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                | 78  |
| <b>Çizelge 4.13.</b> Model- konum ilişkisine göre baz alınan frekanslardaki SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                                               | 80  |
| <b>Çizelge 4.14.</b> Dokuların 900 MHz-1800 MHz frekanslarında 1 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                        | 81  |
| <b>Çizelge 4.15.</b> Fetüs dokularının 900 MHz-1800 MHz frekanslarında 1 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                | 82  |
| <b>Çizelge 4.16.</b> Dokuların 2.4 GHz – 2.45 GHz frekanslarında 30 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                     | 83  |
| <b>Çizelge 4.17.</b> Fetüs dokuların 2.4 GHz – 2.45 GHz frekanslarında 30 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri .....                                                                                                                                                                               | 84  |
| <b>Çizelge 4.18</b> Çeşitli elektrik aletlerin 3 cm uzaklığa göre gerçek SAR değerleri .....                                                                                                                                                                                                                  | 86  |
| <b>Çizelge 7.1.</b> 900 MHz frekansındaki doku özellikleri .....                                                                                                                                                                                                                                              | 101 |
| <b>Çizelge 7.2.</b> 1800 MHz frekansındaki doku özellikleri .....                                                                                                                                                                                                                                             | 104 |
| <b>Çizelge 7.3.</b> 2.4 GHz frekansındaki doku özellikleri .....                                                                                                                                                                                                                                              | 105 |
| <b>Çizelge 7.4.</b> 2.45 GHz frekansındaki doku özellikleri .....                                                                                                                                                                                                                                             | 107 |

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yaşam alanlarımızı elektrikli cihazlar çevrelemektedir. Yaşamımızı kolaylaştıran elektrikli cihazlar sağlık, ekonomik, sosyal vb. alanlarda önemli bir yer edinmiştir. Bununla birlikte günümüzde evlerde ve iş yerlerinde cihaz yoğunluğu çok arttığından, bu cihazların çalıştığı frekans bandı da sürekli olarak artmaktadır.

Hayatımızın belirli bir kısmı ev ortamında, geri kalan kısmı ise iş yerinde geçmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte iki ortamda da sürekli kullanılan ya da kullanmak zorunda olduğumuz birçok elektrikli cihaz bulunmaktadır. Ev ortamını ele aldığımızda TV, buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, telefon, ütü, saç kurutma makinesi, saç şekillendirici, laptop, tablet, şarj aleti, elektrikli süpürge, kablosuz internet vb. kullanılmaktadır. İş ortamını ele aldığımızda bilgisayar, yazıcı, telefon, klima, faks cihazı, WiFi vb. kullanılmaktadır. Giyilebilir elektronik cihaz olarak ise akıllı saat, işitme cihazı, akıllı ayakkabı vb. kullanılmaktadır. Ayrıca, 2020 yılında tüm dünyaya yayılan, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından pandemi olarak kabul edilen covid-19 salgını sürecinde alınan önlem planları gereği evlerde daha çok vakit geçirilmesiyle cihazlarla etkileşim artmış, hatta uzaktan eğitim süresince çocukların cihaz kullanımı da artarak buna bağlı maruziyet de artmıştır. Her geçen gün ise bu cihazlara yenisi eklenmektedir.

Bu tez çalışmasında iki farklı yaşam alanı olan evler ve iş yerlerinde bu tip cihazların çevrelerine yaydıkları elektromanyetik alan seviyeleri ile manyetik alan seviyeleri ölçülerek tespit edilmiştir. Kullanım amacına göre, bu alan seviyelerine maruz kalan kişiler için elektromanyetik risk analizleri yapılmıştır. Cihazlar için düşük frekans bölgesi olan 50 Hz ile 100 kHz frekans aralığı için dış manyetik alanların etkisiyle çocuk ve yetişkin insan vücuduna indüklediği elektrik alan ve akım yoğunlukları hesaplanması için elipsoid gövde modelleri kullanılmıştır. Yüksek frekans bölgesinde ise, patch anten tasarımı yapılarak cihaz insan etkileşim durumuna göre vücuda veya kafa, göz gibi vücut kısımlarına indüklenen özgül soğurulma oranı (SAR) hesapları tahmin edilerek elde edilen sonuçlar ile güvenlik önlemlerinin belirlenmesidir.

Çalışmada, harici manyetik alan  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen akım yoğunluğu tahmin edilmiştir. Vücutta indüklenen akım yoğunluğu elipsoid model kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları sağlık açısından tartışılarak, dokulardaki doz etkileri analiz edilmiştir. Cihazların düşük frekans bölgesinde vücuda indüklenen elektrik alan, yüksek frekans bölgesinde ise cihazla etkileşim durumuna göre vücutta indüklenen özgül soğurma oranı benzetim çalışmaları ile belirlenmiştir. Yüksek frekans bölgesinde özgül soğurma oranı benzetim çalışmalarının yapılabilmesi için 900 MHz, 1800 MHz, 2.4 GHz ve 2.45 GHz çalışma frekansına sahip patch anten modellemesi yapılmıştır. Tasarlanan patch antenlerinin insan dokusunda oluşturduğu SAR değeri tahmin edilmiştir. Düşük frekans bölgesinde dış manyetik alanın etkisiyle indüklenen elektrik alanının maksimum değeri teorik olarak hesaplanan elipsoid modelinin benzetimi yapılarak iki sonuç birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çalışan, çocuk, hamile kadınlar gibi gruplar da dikkate alınarak elektromanyetik doz analizlerinin yapılması ile ev iş yerlerinde alınabilecek güvenlik önlemleri belirlenmiştir.



Düşük frekans bölgesi ve yüksek frekans bölgesinde deneysel elektromanyetik alan ve manyetik alan ölçümleri ile benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için yazılım programı ile benzetimler yapılmıştır. Üç ve çok boyutlu problemlerde üçgenlerle kısıtlanmayan eğri yüzeyleri de tahmin edebilen sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kod tabanlı CST Studio Suite yazılım programı ile elde edilen özgül soğurma oranı (SAR) değerinin benzetimleri ile düşük frekans bölgesinde manyetik alan nedeniyle vücuda indüklenen elektrik alanın ve buna bağlı indüklenen akım yoğunluğunun elipsoid model kullanılarak benzetim çalışmaları elde edilmiştir. Düşük frekans bölgesi için 50 Hz, Cep Telefonu gibi yüksek frekans bölgesi için 900-1800 MHz, WiFi gibi yüksek frekans bölgesi için 2.4 GHz, Mikrodalga Fırın gibi yüksek frekans bölgesi için ise 2.45 GHz frekans değeri için modelleme ve deneysel ölçüm çalışması yapılmıştır.

Epidemiyolojik araştırmalar yüksek gerilim hatları ve 0-300 Hz frekans değeri arasında çalışan elektrikli aletlerin kanser riskini artırdığını göstermektedir. İletkenlik özellikleri nedeniyle 0-300 Hz frekanslı alanlardan en çok etkilenen dokular ise beyin sıvısı ve kan, ikincil derecede etkilenen dokular da göz, göz sıvısı, tiroit, kas, gastrointestinal sistem, prostat ve testis dokuları olarak gözlemlenmiştir.

Elektromanyetik kirliliğin insan sağlığı üzerinde etkileriyle ilgili birçok araştırmalar yapılmıştır. Ancak etkileri tam olarak belirlenememiş olmakla birlikte, olası birçok etki üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir. Elektromanyetik alana bağlı mazruziyetin zararları olduğu kesindir. Önemli olan nokta gereken maruziyetin dozajıdır. Elektromanyetik radyasyon maruziyetinin ne kadar dozunun kabul edilebilir seviye olduğudur. Bu hususta birçok bilimsel çalışmalar sonucunda belirlenmiş değerler olmakla birlikte bu değerler tartışmaya ve yoruma açıktır. Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komitesi (ICNIRP) kılavuzu incelendiğinde, kılavuzda yer alan limit değerlerin sağlık etkileri için kesinlik arz etmediği, konuyla ilgili daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerektiği belirtilmektedir. Elektromanyetik alanlardan kaynaklanabilecek sağlık problemlerinde ilgili kurum ve kuruluşların da desteği alınarak, canlılar üzerinde daha uzun süren, deneysel ve epidemiyolojik çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma ile ölçülen elektromanyetik alan değerleri ve manyetik alan değerlerinin literatürdeki değerler ile karşılaştırılması, elde edilen değerlerin analizi ve ölçüm sonuçlarının insan sağlığı üzerindeki olası sağlık etkilerine yönelik bir araştırma yapılmış ve tezin literatüre katkı sağlaması ile sonraki ulusal ve uluslararası çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır. Kullanılan cihazlar, ölçüm yöntemleri, teorik hesaplamalar ve benzetim çalışmasının yapılmış olması, ölçüm sonuçlarının güvenlik limit değerlerle kıyaslanmasından elde edilen sonuçların sonraki araştırmalar açısından bir örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

## 2. KAYNAK TARAMASI

Düşük frekans bölgesi ile yüksek frekans bölgesinde cihaz insan etkileşim durumuna göre yapılan çalışma doğrultusunda ulusal ve uluslararası araştırmalar incelenmiştir.

### 2.1. Elektromanyetik Alanlar ve Maruziyet

Elhasoğlu 2006 yılında elektromanyetik alanlara uzun süre maruz kalan kişilerin sağlık problemlerini saptamak amacıyla anket çalışması yapmıştır. Yüksek gerilim hatlarına 30 metreye kadar yakın oturanlar ile daha uzakta oturan kişiler arasında; baş ağrısı, eklem ağrısı, sinirsel rahatsızlıklar, kalp rahatsızlığı, üst solunum yolu enfeksiyonları, tansiyon rahatsızlığı ile uyku bozuklukları arasında farklılık olup olmadığını, yaş ve oturma süresi değişkenlerine göre değerlendirmiş ve istatistiksel olarak oranları karşılaştırmıştır (Elhasoğlu 2006).

İsviçre'de yapılan kesitsel araştırma, elektromanyetik hipersensitivite sıklığının %5, en sık şikayetlerin uyku bozukluğu ve baş ağrısı olduğunu, maruziyetin en çok enerji hatları ve cep telefonlardan kaynaklandığını değerlendirmiştir (Schreier vd. 2006).

2005 yılında yapılan bir çalışmada elektrik hatlarının alzheimer ile güç kaynakları arasında bir bağ olduğu rapor edilmiştir (Draper 2005).

2009 yılında yapılan çalışmada İyonlaştırmayan Radyasyonun ısınma, kimyasal reaksiyon değişimleri, hücreler ve dokularda elektrik akımının indüklenmesi yoluyla biyolojik etkileri incelenmiş, iyonlaştırmayan radyasyon olan çok düşük frekanslı (ÇDF) elektromanyetik alanların (EMA) sağlık etkilerini değerlendirilmiştir (Türkkan vd. 2009).

Bertocco 2002 yılında Amerika'da ortamdaki elektromanyetik alan şiddetinin hesaplanması için bir ölçüm sistemi kurarak geniş coğrafi alanlardaki elektromanyetik kirliliği hesaplamışlardır (Bertocco vd. 2002).

2004 yılında yapılan çalışmada, yüksek gerilim hatları ile düşük doğum yapma arasında yükselen bir risk ilişkisi olduğu saptanmıştır (Qiu 2004).

2017 yılında yüksek voltaj güç hatlarına 600 metre mesafe içinde yaşayan kadınlar ile daha uzak mesafelerde yaşayan kadınlarda erken doğum görülme sıklığı üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, İran'ın Babol şehrinde yaşayan ve erken doğum yapmış olan 135 kadın ile kontrol grubu olarak belirlenen 150 kadın üzerinde yürütülen araştırmada kadınların ikamet ettiği evler ile yüksek voltajlı güç hatlarına olan mesafeleri ArcGIS yazılımı ile ölçülmüştür. Araştırma sonucunda, yüksek voltajlı güç hattına 600 metre mesafe içinde yaşayan kadınlarda erken doğum ve doğum kusuru, daha uzak bölgelerde yaşayan kadınlardan daha yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar, erken doğumun engellenebilmesi için koruyucu tedbir olarak yüksek voltajlı güç hatlarının yaşam alanlarından 600 metre uzak mesafede olmasını ya da bu hatların yer altından geçirilmesini tavsiye etmiştir (Sadeghi vd. 2017).

Ev aletleri başta olmak üzere yoğun bir şekilde kullandığımız ELF bandındaki elektrikli cihazların çoğu manyetik alan oluşturmaktadır. Elektromanyetik alanı oluşturan

2 unsurlardan biri olan manyetik alan, insan vücuduna karşı yüksek bir maruziyete sahiptir. Vücuttan geçerken kayda değer bir enerji kayıp oluşmaz. Bu sebeple maruz kaldığımız bu enerji türünün etkileri üzerinde dikkatli durulması gerekmektedir. Bu elektromanyetik dalgaların sağlık üzerine başlıca etkileri baş ağrısı, halsizlik, işitme zorluğu, kanser/tümör oluşumu, Alzhemier, Parkinson gibi rahatsızlıklar olduğunu değerlendirmektedir (Türkkan ve Pala 2012).

2003 yılında GSM ve UMTS baz istasyonları civarındaki elektromanyetik alanların ölçümünü ve hesabını yapmışlardır (Bornkessel vd. 2003).

Keysan (2015) tarafından yapılan çalışmada, Balıkesir ili şehir merkezi ile Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesinin 100 kHz – 3 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik alan haritaları çıkartılmış olup, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu onaylı cihazlar ile ölçümler, Drive Test yöntemi ile icra edilmiştir. Ölçüm sonuçları ile elektrik alan şiddeti değerleri iki boyutlu ve üç boyutlu renklendirilmiş tematik harita oluşturulmuştur. Ölçülen değerler, ulusal ve uluslararası EMR maruziyet limit değerleri ile karşılaştırılmıştır (Keysan 2015).

İlhan (2008) tarafından Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde hastanenin elektromanyetik haritasının çıkarılması ve özellikle elektromanyetik alanın yoğun kullanıldığı bölgelerde çalışanlara yönelik sağlık risklerinin araştırılması için bir çalışma yürütülmüştür. Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastane binasının elektromanyetik alan düzeyi  $1,1 \pm 0,1$  ile  $1,4 \pm 0,4$  mG arasında olduğu ölçülmüştür. En düşük EMA değerleri genel cerrahi ve adli tıp bölümlerinde iken, en yüksek ölçümler Anjiyografi, Radyoloji, Merkez laboratuvarı ve Patoloji bölümlerinin olduğu katlarda gözlemlenmiştir. Yüksek EMA'ya maruz kalan çalışanlarda ise genel olarak baş ağrısı, halsizlik, yorgunluk ve çeşitli göz hastalıkları istatistiksel olarak yüksek çıkmıştır. Ayrıca cihaza çok yakın çalışan sağlık personelinde sağlık şikayetlerinin daha fazla belirgin olduğu tespit edilmiştir (İlhan 2008).

2005 yılında Avusturalya'da 50 ile 500 metre arasında değişen mesafelerde 60 baz istasyonu üzerinde incelemeler yaparak elektromanyetik alan şiddeti seviyesini ölçmüşlerdir (Henderson vd. 2005).

Cansız (2012)'a göre Diyarbakır il merkezindeki elektromanyetik alan kirliliği hakkında ayrıntılı bilgi edinebilmek için bir araştırma yapılmıştır. Elektromanyetik alan kaynağı olarak yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar ve düşük frekanslı elektromanyetik alanlar olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir. Çünkü elektromanyetik alan limitleri frekansa bağlı olarak değişmektedir. Yüksek frekanslı elektromanyetik alanı ölçen cihaz ile düşük frekanslı elektromanyetik alanı ölçen cihaz farklı özelliklere sahiptir. Yapılan elektromanyetik 5 alan ölçüm sonuçları ulusal ve uluslararası limitlerine göre karşılaştırılıp detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir (Cansız 2012).

Çok düşük frekansta elektromanyetik alanların sağlığa etkileri 1979 yılında Wertheimer ve Leeper'in çok düşük frekanslı elektromanyetik alan maruziyeti ile çocukluk çağı kanserleri arasındaki ilişkiyi göstermeleri sonrası dikkat çekmiştir. Bu çalışmadan sonra Çok düşük frekansta elektromanyetik alanların biyolojik etkilerini inceleyen çalışmalarda ciddi bir artış olduğu görülmektedir (Wertheimer ve Leeper, 1979).

Düzgün (2009) tarafından yapılan bir çalışmada elektromanyetik alan çevre kirliliği ve insan sağlığı arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi için çalışma yapılmıştır. Bu amaçla en çok elektromanyetik kirlenmeye neden olan yüksek gerilim hatları ve trafoların yakınındaki ve uzağındaki evlerde yaşayan 1128 kişi ve meslekleri gereği 380 kV yüksek gerilime maruz kalan çalışanlar ile kalmayanlardan oluşan 196 kişiye anket çalışması yapılmıştır. Yüksek gerilime yakın evlerde yaşayanlarda dolaşım sistemi, düşük ve doğurganlık problemlerinin; yüksek gerilime maruz kalan çalışanlarda ise baş ağrısı, iştahsızlık, bulantı, halsizlik, yorgunluk, asabiyet, kısırlık vb. sağlık problemlerinin daha fazla olduğu saptanmıştır (Düzgün 2009).

En yoğun olarak araştırılan çevresel faktör, güç hatları ve topraklama sistemlerindeki elektrik akımlarıyla ilişkili zaman ağırlıklı ortalama manyetik alanlar olmuştur. Çocukluk çağı akut lenfoblastik lösemisinin 60 Hz manyetik alana maruz kalma ile ilişkili olup olmadığını test etmek için geniş bir ABD Vaka Kontrol Çalışması yayımlanmıştır (Linet 1997).

Yaman (2011) tarafından yapılan bir çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesinin bazı bölgelerinde ortamdaki EMA şiddeti ölçülmüştür. Hastane yakınında yer alan TRT Trabzon'a ait orta dalga radyo vericisinin gücüne ve aktif olduğu saatlerine göre bulundukları bölgedeki elektromanyetik alandan dolayı hastanedeki bazı tıbbi cihazları olumsuz etkilediği saptanmıştır. Ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerine göre, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından sağlık kuruluşları için belirlenen limit değerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen elektrik alan şiddeti değerlerinin ortalamalarının grafiksel gösterimleri MATLAB programı ile elde edilmiştir (Yaman 2011).

Aslantaş (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada, Çankaya ilçe sınırlarında bulunan Hücresel Sistemler, Radyo-TV vericileri ve diğer kaynaklardan yayılan elektromanyetik dalgaların, ilçedeki sağlık kuruluşları ve okullarda meydana getirdiği elektrik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmayla bu bölgede tez çalışmasına veri oluşturmak amacıyla eğitim kurumları ve sağlık kuruluşlarının ile birlikte 119 farklı kuruluştaki 1071 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması için EMR 300 cihazı ile yapılan ölçümler ortamın toplam EA şiddet değerleri ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, okul ve sağlık kuruluşları gibi önemli yaşam alanlarında ulusal ve uluslararası standart kuruluşlarınca belirlenen limit değerlerin altında olduğunu göstermiştir (Aslantaş 2012).

2004 yılında yapılan bir çalışmada önemli bir saptama yaşam koşulları, meslek, yaş grubu ve ülkeler arasında maruziyet seviyelerinin farklılıklarına karşın toplumun büyük bir kısmının önemli derecede elektromanyetik alanın etkisi altında olduğunu göstermiştir. Kaliforniya'da 550.000 konutta 1.650.000 kişinin; 1700 mil uzunluktaki enerji iletim hattından 510.000 kişinin ve 6700 mil enerji dağıtım hattından 1.000.000 kişinin 2 mG'dan fazla elektromanyetik alana maruz kaldığı saptanmıştır (Winterfeldt vd. 2004).

Yıldız (2009) çalışmasında Ocak 2008 - Nisan 2008 tarihleri arasında İzmir Bornova'daki Özkanlar Sağlık Ocağı ve Bayraklı Ana Çocuk Sağlığı ile Aile Planlaması merkezi olarak iki ayrı sağlık merkezi bölgesine kayıtlı bir yaş altındaki tüm çocuklar ve ailelerine ile çalışma yapılmıştır. Kayıtlı bulunan adreslere ev ziyaretleriyle bebeğin

yattığı odada elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile konutların trafoya uzaklıkları arasında güçlü bir ters orantı tespit edilmiş; diğer bağımsız değişkenlerle anlamlı bir orantı saptanmamıştır. Ayrıca yapılan ölçümlerin ortalamasının Dünya Sağlık Örgütü'nün referans değerleri ile karşılaştırılmış, uygun olduğu belirlenmiştir. Elektromanyetik alan ölçümü yapılan odaların %11,3'ünün Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değeri olan 200 nT'nin üzerinde olduğu ölçülmüştür. Ülkemizde bir yaş altı çocukların yaşam alanlarında yapılan bu çalışmanın birçok Batı Avrupa ve Amerika ülkesindeki sonuçlara göre oldukça yüksek bir değerde olduğu tespit edilmiştir (Yıldız 2009).

Çerezci ve Yener (2016) tarafından farklı hastanelerde düşük frekanslı ve yüksek frekanslı EMA ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonucunda hastane personelinin maruz kaldığı EMA değerlerinin ulusal ve uluslararası limitler ile karşılaştırıldığında düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bir hastanenin yakınından geçen yüksek gerilim hattı nedeniyle ölçümü yapılan ELF manyetik alan şiddetinin diğer hastaneye göre daha yüksek olduğu, ilgili hastanenin dış bölgesinde yer alan ve yüksek gerilim hattının üstünden geçtiği yeşil alanda ise ölçümü yapılan bazı değerlerin ICNIRP limitlerini aştığı tespit edilmiştir (Çerezci ve Yener 2016).

Asya kıtasında aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 7 farklı ülkede elektromanyetik alanlara maruz kalma durumu üzerine gerçekleştirilen araştırmada, 2005 ile 2017 yılları arasında akademik literatürde yayınlanmış kaynaklar taranmış ve geçmiş dönemlerde ölçülen değerler bir derleme halinde sunulmuştur. Derleme sonuçlarına göre ölçülen tüm değerlerin uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen üst limitleri aşmadığı tespit edilmiştir (Periyasamy vd. 2018).

Akal (2016) tarafından iki farklı çağrı merkezinde çalışan personelin maruz kaldığı elektromanyetik alan seviyesine ilişkin yürütülen çalışmada EMA ölçümleri yapılmış ve çalışanlar 39 sorudan oluşan ve çalışanların genel sağlık durumları ile ilgili sorularla anket uygulanmıştır. Gerçekleştirilen EMA ölçümleri sonucunda iki farklı çağrı merkezinde 371 V/m - 32 V/m ve 370 V/m - 61 V/m aralığında ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Anket sonuçlarına ilave olarak çalışanların çeşitli sağlık sorunlarını dile getirdiği tespit edilmiştir (Akal 2016).

Yoran (2016) tarafından yürütülen araştırmada bir elektrik dağıtım firmasında çalışan erkek personelin trafo bölgelerinde maruz kaldığı EMA düzeyi ve bu düzeylerin çalışan sağlığı üzerindeki olası etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla şirket bünyesinde çalışan ve trafolar ile temas olmayan 20 kontrol grubu personeli ile işi gereği trafo bölgesine girmek zorunda kalan 60 personel belirlenmiştir. Diğer bir taraftan, çalışanların temas ettiği trafo bölgelerinde elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Çalışanlar üzerinde yapılan araştırma sonucunda migren rahatsızlığı ile elektromanyetik alana maruz kalma arasında istatistiki olarak bir ilişki gözlemlenmişken, diğer hastalıklar bakımından ise gözlemlenmemiştir. Trafo yakınlarında yapılan elektromanyetik alan ölçümlerinde ICNIRP limitleri açısından uygunsuzluk tespit edilmiştir. Elektrik alan şiddeti bakımından ise limit değerlerin altında bir değerle karşılaşmıştır (Yoran 2016).

Çukurova Üniversitesinde faaliyet gösteren bir hastanede elektromanyetik yük dağılımı ve seviyelerinin ölçümü ile 259 kişi olan hastane çalışanlarının EMA'dan etkilenme seviyelerine hakkında yürütülen araştırmada Gökdeniz (2016), anket

uygulaması olarak çalışanların hastalık durumları, herhangi bir rahatsızlıktan yakınma durumları ve sosyodemografik özellikleri hakkında çok sayıda sorulmuştur. Araştırmada kontrol grubu ile EMA'ya maruz kalan çalışanlar arasında yakınma durumu ve hastalık açısından önemli bir fark olmadığı, ancak toplam risk puanı arttıkça çalışanlarda başta hipertansiyon ve sinirlilik olmak üzere çok sayıda yakınmada artış olduğu saptanmıştır. Araştırmada ölçülen EMA değerleri ile belirlenen hastalık ve yakınma durumlarının bilimsel literatürde yer alan çalışmalar ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Gökdeniz 2016).

Tahran'da yaşayan hamile kadınlarda elektromanyetik alana maruz kalma ve çocuk düşürme arasındaki bağlantının incelendiği çalışmada İran'ın Tahran şehrinin yedi farklı ana bölgesinde yaşayan, hamileliğinin 12. haftası ve sonrasında olan benzeri kültür ve statüye sahip 413 hamile kadının katılımıyla bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Katılımcılarla yüz yüze görüşerek bilgi almanın yanı sıra kadınlara ait hastane dosyalarında bulunan tıbbi kayıtlar da araştırma kapsamında hastanelerden temin edilerek faydalanılmıştır. Elektromanyetik alan ölçümleri katılımcıların evlerinin giriş kapılarının önünde gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda elektromanyetik alana maruz kalan kadınlarda düşük yapma oranı ile EMA'ya maruz kalma oranları arasında istatistiki açıdan önemli bir bağlantı bulunmuştur. Bununla birlikte, EMA'ya maruz kalma oranı ile kadınlarda düşük yapma arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için daha fazla araştırma yapılması gerektiği de vurgulanmıştır (Abad vd. 2016).

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit kampüsü ile üniversitenin tıp fakültesi hastanesinde elektrik alan şiddetinin ölçümünün 60 farklı noktada 840 kısa, 2 uzun süreli yapıldığı çalışmada Kurnaz (2018), ölçülen değerlerin ICNIRP tarafından tanımlanan üst limitler ile karşılaştırarak altında olduğunu tespit etmiş ve ölçümü yapılan tüm alanlarda ölçülen en yüksek E değerinin ise 4.20 V/m olduğunu tespit edilmiştir. Araştırmacı tarafından üniversite ortamında elektromanyetik kirliliğin belirlenmesi konusunda üç temel elektromanyetik kaynak kullanılarak alana ait toplam EA değerini %99.7 oranında karakterize etmeyi sağlayacak bir modelleme önerisi sunulmuştur. Daha sonra ise ana dağılımı tahmin etmek için geliştirilen başka yeni modeller ortaya konulmuştur. Bu yeni modellerin kullanımıyla ana kirlilik kaynaklarına ait EA değerlerini %95.2 doğruluk seviyesinde tahmin etmek mümkün hale geldiği tespit etmiştir (Kurnaz 2018).

Kunter (2015) tarafından yapılan çalışmada, Marmara Üniversitesi Göztepe Yerleşkesindeki öğrencilerin radyo frekansı elektromanyetik alan kirlilik ölçümleri NBM 550 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm değerlerinin ICNIRP sınır değerleri ile karşılaştırılmış ve altında olduğu gözlemlenmiştir (Kunter 2015).

Sarmaşık, Durusoy ve Özkurt (2012) tarafından yapılan çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi Bilgisayar Bölümü bilgisayar laboratuvar ortamında bulunan bazı cihazların (bilgisayar kasası, ekran, bilgisayar kablosu ve kablosuz modem) oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlarının ölçümü yapılmış ve bilgisayar laboratuvarının en az etkide elektromanyetik alan oluşturacak şekilde tasarlanması konusunda tavsiyelerde bulunulmuştur. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre en yüksek elektrik alan PDÖ masası prizinden 230.3 V/m, en yüksek manyetik alan ise bilgisayar fanından 151 mG olduğu gözlemlenmiştir (Sarmaşık vd. 2012).

Aktaş (2016) tarafından yapılan tez çalışmasında, bir elektrik dağıtım firmasındaki çalışan personeller üzerinde elektromanyetik alan etkisinin analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Yapılan anket sonucuna göre trafo kaynaklı elektromanyetik etkiye maruz kalan 60 personel ile maruz kalmayan 20 personel arasında sadece migren hastalığının görülme sıklığı bakımından farklılığı olduğu tespit edilmiştir (Aktaş 2016).

Düzgün (2009) tarafından yapılan tez çalışmasında, uzun süre elektromanyetik alanlara maruz kalan kişilerin sağlık problemlerini tespit etmek amacıyla anket çalışması yapılarak, Yüksek gerilim hatlarına yakın olan alanlar ve uzak olan alanlarda yaşayan insanlar arasındaki sağlık durumları incelenmiştir. Yüksek gerilime maruz kalan kişiler ile hastalıklar arasında herhangi bir bağlantı tespit edilememiştir (Düzgün 2009).

Önal (2005) tarafından yapılan tez çalışmasında, elektromanyetik alanlara maruz kalmanın sağlık açısından kaygıları ve olumsuz etkilerini anlamak açısından teorik bilgiler verilerek, tavsiyelerde bulunulmuştur (Önal 2005).

Engiz ve Kurnaz (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, 100 K Hz-3 G Hz frekans bandındaki elektromanyetik alan ölçen bir cihaz kullanılarak baz istasyonunu gören farklı konutlardan 24 saat süreyle elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen ölçümlerle EMA ölçümü yapılan konutlarda ölçüm değerlerinin baz istasyonunun kullanım zamanına göre gün içinde değişkenlik gösterdiği, öğle saatlerinde ölçülen EMA değerlerinin gece saatlerinde ölçülen EMA değerlerinden oldukça yüksek olduğu, gündüz saatlerinde yapılan ölçümlerle gece saatleri arasında yapılan ölçümler arasında %58'lik bir fark olduğu saptanmıştır. Konutlarda yapılan ölçümlerde elde edilen en düşük ve en yüksek ortalama elektrik alan şiddeti değerleri sırasıyla 9.54 V/m ve 17.53 V/m ölçülmüştür. Ölçülen elektrik alan şiddeti seviyelerinin Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu ve ICNIRP tarafından belirtilen limitlerle karşılaştırılıp uygunluk gösterdiği belirlenmiştir (Engiz vd. 2018).

2014 yılında yapılan çalışmada sürekli olarak elektromanyetik alana maruz kalınan telsiz, mikrodalga fırın, cep telefonu, internet gibi cihazlar ile ilgili teorik olarak, elektromanyetik alan ve temel kavramlar, elektromanyetik alan kaynakları, elektromanyetik alanın sağlık etkileri, bu konudaki ulusal ve uluslararası kuruluşlara ait sınır değerler ve elektromanyetik alandan korunma yöntemleri açıklanmıştır. Cep telefonları, mikrodalga fırınlar, telsiz telefonlar ve WLAN'ın 1 cm, 10 cm, 30 cm ve 1 m olmak üzere farklı mesafelerdeki elektromanyetik alan şiddeti değerleri tespit edilerek Türkiye'de geçerli olan elektromanyetik alan şiddeti limit değerleri ile kıyaslanmıştır. Ankara'da bir okulda elektromanyetik alan şiddet değerlerinin belirlenmesine yönelik yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar itibarıyla bu hassas bölgenin yönetmelikle belirlenen sınır değerlere uygunluğunu tespit edilmiştir (Sarıkahya vd. 2014).

## 2.2. Manyetik Alanlar ve Maruziyet

ABD'de yürütülen bir çalışmada ABD'de elektromanyetik alan kirliliğine maruz kalma seviyesini belirlemek için 1000 kişide 24 saat boyunca ölçümler yapılmıştır. Çalışmada ortalama maruz kalma düzeyi 0,089  $\mu$ T olarak ölçülmüştür; bazı kişilerde bu değer daha yüksek, bazılarında ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada elektrikle ilgili işlerde çalışan kişilerde kalınan maruziyetin daha yüksek olduğu (0,161  $\mu$ T olarak) belirlenirken; elektrikle ilgili çalışmayan çiftçi, ormancı,

balıkçılarda gibi kişilerde ise bu değer çok daha düşük (0,045  $\mu$ T olarak) tespit edilmiştir. Ölçümler sonucunda maruziyette işin çok önemli bir faktör olduğu açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Ek olarak elektromanyetik 3 alandan en fazla yetişkin bireylerin etkilendiği bunları okul öncesi ve okul çağı çocukların takip ettiği saptanmıştır. EMA düzeyi yaşanan konutun tipine, büyüklüğüne ve elektrik hatlarına bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Dubleks evler, apartman daireleri ve küçük evlerde elektromanyetik alan düzeyi daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Belirli yaş gruplarındaki daha fazla etkilenme olmasının yaşam koşullarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Zaffanella ve Kalton 1998).

Elektrik ve manyetik alanların mazuriyetinden korunmak için önemli olan ortak detay kaynaktan uzaklaştıkça güçlerinde azalma meydana gelmesidir. Çizelge 2.1’te sık kullanılan elektrikli cihazların oluşturdukları manyetik alan ile uzaklık ilişkisi görülmektedir (WHO 1999).

**Çizelge 2.1.** Elektrikli cihazların çeşitli uzaklıklardaki manyetik alanları

| Elektrikli Cihaz          | 3 cm Uzaklıkta<br>( $\mu$ T) | 30 cm Uzaklıkta<br>( $\mu$ T) | 1 m Uzaklıkta<br>( $\mu$ T) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Saç Kurutma Makinası      | 6-2000                       | 0.01-7                        | 0.01-0.03                   |
| Elektrikli Tıraş Makinası | 15-1500                      | 0.08-9                        | 0.01-0.03                   |
| Elektrik Süpürgesi        | 200-800                      | 2-20                          | 0.13-2                      |
| Floresan Lamba            | 40-400                       | 0.5-2                         | 0.02-0.25                   |
| Mikrodalga Fırın          | 73-200                       | 4-8                           | 0.25-0.6                    |
| Taşınabilir Radyo         | 16-56                        | 1                             | <0.01                       |
| Fırın                     | 1-50                         | 0.15-0.5                      | 0.01-0.04                   |
| Çamaşır Makinesi          | 0.8-50                       | 0.15-3                        | 0.01-0.15                   |
| Ütü                       | 8-30                         | 0.12-0.3                      | 0.01-0.03                   |
| Bulaşık Makinesi          | 3.5-20                       | 0.6-3                         | 0.07-0.3                    |
| Bilgisayar                | 0.5-30                       | <0.01                         |                             |
| Buzdolabı                 | 0.5-1.7                      | 0.01-0.25                     | <0.01                       |
| Renkli TV                 | 2.5-50                       | 0.04-2                        | 0.01-0.15                   |

ABD’de yapılan bir diğer çalışmada 992 evde ve odalarında ölçümler yapılmış ve evlerin ortalama manyetik alan şiddetinin 0,9 mG (0,09  $\mu$ T) olduğu, yarısında bu



değerinin  $\leq 0,06 \mu\text{T}$  olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada tespit edilen bir diğer önemli konu ise geceleri maruziyetin çok daha düşük olduğu, iş ortamında ise en üst seviyeye kadar çıktığıdır. Yer altı elektrik hatları ile yer üstündeki elektrik hatlarında yürünmesi ve elektrikli aletlere fazla yaklaşılmaması durumunda ise kısa süreli ama yüksek düzeyde elektromanyetik maruziyetin yaşandığı tespit edilmiştir (NIEHS 2002).

İtalya’da yapılan çalışmada düşük güvenlik limitlerinin yanında günde 4 saatten fazla zaman geçirilen bölgelerin güvenlik limit değerlerini  $10 \mu\text{T}$  olarak belirlemiştir. Bu güvenlik limit değerini yeni yapılan hatlar ve yeni eler için  $3 \mu\text{T}$ ’e düşürmüştür. Ayrıca bazı bölgelerde (Emilia-Romagna, Veneto ve Toscana) 4 saatten fazla zaman geçirilen hastane, okul, bakımevleri ve ev gibi yerlerde inşa edilecek yeni enerji hatlarının güvenlik sınır değerleri  $0,2 \mu\text{T}$ ’ye kadar düşürmüştür (Özen vd. 2014).

Antalya şehrinin il merkezinde yaşayan primer santral sinir sistemi tümörü, lösemi ve lenfoma tanısı konan 18 yaş ve altı 72 çocuğun ikamet ettiği evlerde anlık elektromanyetik alan düzeyi, yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Yapılan araştırmada onkolojik herhangi bir rahatsızlığa sahip olmayan 144 çocuk kontrol grubu olarak ele alınmıştır. Çalışmada katılımcılara yapılan anket ile sosyodemografik özellikleri gibi çeşitli konularda veriler elde edilmiştir. Kanseri hastası çocukların evlerinde yapılan ölçümlerde ortalama EMA değeri  $0.098 \pm 0.108 \mu\text{T}$ , kanser hastası olmayan çocuklardan oluşan kontrol grubunun ikamet ettiği evlerde ise ölçülen ortalama EMA değeri  $0,062 \pm 0,035 \mu\text{T}$  olarak ölçülmüş ve aradaki farkın önemli olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, kanserli çocukların yaşadıkları evlerde 50 Hz ELF bandı ölçümlerinde elde edilen ortalama EMA değerinin kontrol grubunun evlerine nazaran istatistiksel anlamda daha fazla olduğu belirlenmiştir. Araştırmada sonucunda primer santral sinir sistemi tümörü ile ELF bandı kaynaklı EMA arasında istatistiksel açıdan önemli olan bir ilişki tespit edilmiştir (Boylubay 2016).

Bir üniversite hastanesinde yer alan kalp takip ünitesi ile yoğun bakım ünitesi gibi farklı birimlerinde 17 farklı ve oldukça düşük frekanslı manyetik alan ölçümlerinin yapıldığı çalışmada EMA ölçümleri sonucunda okunan değerlerin  $0.23 \mu\text{T}$  ile  $3.00 \mu\text{T}$  arasında olduğu, bir ölçüm hariç tüm ölçümlerin  $0.73 \mu\text{T}$  değerinin altında olduğu saptanmıştır. En yüksek ölçülen değerin hastanenin elektrik panolarının yer aldığı elektrik odasının yakınında olduğu tespit edilmiştir. Farklı tedavi ünitelerinde yapılan EMA ölçümlerinin ortalaması  $0.3 \mu\text{T}$  olarak saptanmıştır (Sankari vd. 2016).

Hastane binalarında bulunan yüksek güç kapasiteli transformatör kaynaklı manyetik alan seviyelerinin incelendiği çalışmada ölçümler, transformatör istasyonunun yakınında bulunan muayene ve hasta kabul ünitelerinde gerçekleştirilmiştir. Trafo ve kontrol odasında yapılan elektromanyetik alan ölçümleri, sırasıyla  $1-4.67 \mu\text{T}$  ile  $1.74-27 \mu\text{T}$  aralığında ölçülmüştür. Trafo odasının tam üstünde bulunan ortopedik poliklinik odasında manyetik alan değerleri  $0.451-2.15 \mu\text{T}$  arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Çalışmada ölçülen tüm değerlerin ICNIRP tarafından tanımlanan üst limit değerlerinin altında olduğu, fakat son zamanlarda yapılan araştırmalarda  $0.4-0.3 \mu\text{T}$  ve üzeri değerlerin lösemi kanseri riskini artırdığı ve bu nedenle hastane ortamında çalışırken trafo kaynaklı riski en aza indirmek için koruyucu kalkan kullanımının uygun olacağı tavsiyesi verilmiştir (Özen vd. 2017).

### 2.3.İndüklenen Akım Yoğunluğu

Dimbylow (2005) makalesinde, yetişkin dişiyi temsil etmek üzere tasarlanmış 2 mm çözünürlüklü bir voksel modeli olan NAOMI'nin (aNATOMİK model) gelişimini özetlemektedir. 1.65 m boyunda, 23 yaşında ve 58 kg kütleli bir kadın denneğin yüksek çözünürlüklü MRI taramasından elde edilmiştir. Model 1,63 m yüksekliğe ve 60 kg kütleyle göre yeniden ölçeklendirilmiştir. Modelde 41 doku çeşidi bulunmaktadır. Uygulanan düşük frekanslı manyetik ve elektrik alanlarından indüklenen akım yoğunluklarının ve elektrik alanlarının hesaplamalarına NAOMI uygulaması anlatılmaktadır. Erkek voksel modeli NORMAN'dan alınan değerlerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Hesaplamalar 50 Hz'den 10 MHz'e kadar genişletilmiş, ICNIRP yönergeleri ile karşılaştırılmıştır (Dimbylow 2005).

Özen (2007) tarafından yapılan araştırmada 50 Hz'den 100 kHz'e kadar olan frekans aralığında, dış elektrik ve manyetik alanların çocuk ve yetişkin insan vücuduna indüklediği akım yoğunlukları araştırılmıştır. İndüklenmiş alanların ve buna bağlı vücutta indüklenen akım yoğunluğunun hesaplanması için elipsoid gövde modelleri kullanılmıştır. Harici manyetik alan (1  $\mu$ T) ve harici elektrik alanı (1 V/m) tarafından indüklenen akım yoğunluğu tahmin edilerek temel ICNIRP kısıtlamaları ile karşılaştırılmıştır (Özen 2007).

Önal (2005) tarafından yapılan araştırmada günlük hayatta EMA'ya maruz kalma hakkında bilgiler verilmektedir. Yüzey Yük Metoduyla yapılan sayısal hesaplamada 1490 bilinmeyenli birinci mertebeden üçgensel spheroid (yumurta biçimli) modellenmiştir. Benzetim çalışması küçük eksen ve büyük eksen Yüzey Yük Metoduyla yapılan sayısal hesaplamada 1490 bilinmeyenli birinci mertebeden üçgensel spheroid (yumurta biçimli) modellenmiştir. Simüle edilen organlar beyin, kalp, akciğer, karaciğer ve bağırsaklardır; boyutları ve yerlerini göz önüne alarak kafa küre, beden küremsi (spheroid) olarak taklit edilmiştir. Boyun 1.70 metre olduğu varsayılmış ve her iki kol ihmal edilmiştir. Bacaklar bir silindir şeklinde taklit edilmiştir. Vücut çevresindeki dış çap 270 mm (27 cm) olarak alınmıştır (Önal 2005).

1997 yılında yapılan araştırmada homojen elipsoidal modellerde homojen 100 Hz ila 100 kHz elektrik ve manyetik alanlar tarafından indüklenen elektrik alanlarının kuvvetlerini karşılaştırılmıştır. Bu frekans aralığında, yaklaşık 25–2000 V/m'lik harici elektrik alanları, yetişkin ve çocuk modellerinde, harici 1  $\mu$ T manyetik alan tarafından indüklenenlere benzer güçte elektrik alanları indüklemek için gereklidir. Ek analiz, tekdüze dış elektrik ve manyetik alanların ve idealleştirilmiş nokta kaynakları tarafından üretilen tek biçimli olmayan elektrik ve manyetik alanların neden olduğu elektrik alanlarının, kaynaklar vücuda yaklaştırılana kadar iki kattan fazla farklılık göstermeyeceğini göstermiştir. Konut ortamlarında elektrik ve manyetik alan geçişleri hakkında yayınlanmış veriler, çoğu alan yönelimi için, manyetik bileşenin yetişkinlerde ve çocuklarda elektrikli bileşenden daha güçlü elektrik alanları ve akım indükleyeceğini göstermektedir (Kaune vd. 1997).

### 2.4. Özgül Soğurma Oranı (SAR) Analizi

Goel 2014 yılında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak 900 MHz ve 1800 MHz için anten – kafa uzaklık ilişkisi incelemiştir (Goel vd. 2014).

2017 yılında yapılan çalışmada, 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında yayınım yapan cep telefonları mikrostrip patch anten ile modelleme yapılarak ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tabanlı COMSOL Multiphysics yazılım programı yardımıyla, kafa modelindeki SAR ve sıcaklık dağılımları üzerinde, sadece anten ile kafa modeli arasındaki mesafenin etkisi değil, aynı zamanda kafaya göre antenin açısının da etkisi incelenmiştir. Antenin kafaya göre konumu olan mesafe ve açısının, kafadaki SAR değerleri ve sıcaklık artışında önemli bir etkisi olduğu, benzetim sonucunda, SAR değerlerinin 900 MHz’de güvenlik sınır değerlerinin altında olduğunu, 1800 MHz’de antenin kafadan olan uzaklığı 0,2 cm olduğunda sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir (Çallıalp Kunter vd. 2017).

Stankovic 2015 yılında kafadaki cep telefonunun neden olduğu elektrik alan dağılımı ve SAR değerlerini, SEY’i kullanarak iki farklı insan kafası modeli üzerinde hesaplamıştır. İlk modelde, SAR değerini insan kafasındaki biyolojik dokuların EM parametreleri, verilen dokunun karakteristiğini tahmin eden hacimsel interpolasyon fonksiyonu ile modelleme yapmıştır. Diğer modelde ise, deri, yağ dokusu, kaslar, iskelet ve beyin gibi insan kafasının parçaları katman olarak modelleme yapmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, farklı kafa modelleri, boyutları ve anten tipleri incelenmiştir. Bu araştırmada cep telefonlarının göz üzerindeki etkilerini incelediği üç boyutlu ve axisimetrik çalışmalarıyla beraber kafa üzerindeki çalışmaları da burada incelenmiştir (Stankovic vd. 2015).

2003 yılında yapılan araştırmada, 3 boyutlu FDTD hesap uzayına yerleştirilen model için ayrı kafa modelinde çalışma yapılmıştır. MR (Magnetic resonance) görüntüsü ve sayısallaştırılarak elde edilen insan kafası 7 farklı dokudan elde edilmiştir. SAR hesabı yapılabilmesi için FDTD hesap uzayına yerleştirilen kafa modeli ortalama güç yoğunluğu  $1\text{W/m}^2$ , elektrik alan genliği 27,46 V/m olan monokromatik düzlem dalgayla aydınlatılmış ve her hücrede oluşan elektrik alan bileşenleri ve genliği bir periyotluk zaman diliminde hesaplanarak ortalaması incelenmiştir. Bu değer üzerinden model üzerinde 1 gr ve 10 gr’lık doku bölgeleri üzerinde ortalama SAR değeri bulunmuş, 1gr ve 10gr doku bölgelerinde maksimum değerleri belirlenmiştir. Ayrıca monokromatik düzlem dalgaının elektrik alan genliği (27,46 V/m) kullanılarak ulusal ve uluslararası limit sınırlara karşı düşen SAR değerlerini oluşturacak elektrik alan genliği değeri hesaplanmış ve frekans ile değişimi incelenmiştir (Yıldırım vd. 2003).

2010 yılında 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında, SAR karakteristiğinde kafa boyutunun etkilerini incelemiş ve daha büyük kafa boyutlarında daha düşük SAR değerleri saptamıştır. 2010 yılında çalışmada ZDSF yöntemiyle, farklı tip anten modellerinin (monopol, helix, patch ve PIFA antenleri) her birinin ayrı ayrı davranışını, kafadan olan uzaklıkla (0 – 20 mm) ilişkisi incelenmiştir (Rashed vd. 2010).

2015 yılında Kaur, insan yapımı kaynaklar arasında elektronik aletler, radyo, TV, cep telefonları, mikrodalga fırınlar ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI) ile ilgili çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından taşınabilir cihazlarda yayınlanan güvenlik yönergeleri hakkında ayrıntılı bilgi vererek, RF radyasyonlarının insan vücudu üzerindeki etkilerini tartışılmış, SAR değerlerini etkileyen çeşitli parametreleri açıklamıştır (Kaur vd. 2015).

Elektromanyetik alanın dokulardaki iyonlar ile sürekli ve şiddetli etkileşimi sonrasında şiddete bağlı olarak insan vücudunda sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Elektromanyetik alanın dokular üzerinde şiddetine bağlı olarak sıcaklık artışının  $0,5^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmesi tolere edilemez kabul edilmiştir. Bu değer esas alınarak vücut ağırlığına bağlı ortalama özgül soğurma değeri olarak kabul edilen  $4\text{W/kg}$  sınırının onda biri olan  $0,4\text{W/kg}$  değeri, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) ve Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) gibi uluslararası örgütlerce sınır limit değer olarak kabul edilmiştir. Bu değerler belirlenirken kişinin 24 saat bu elektromanyetik alana maruz kaldığı kabul edilmiştir (Türkkan ve Pala 2012).

Özdiç Polat (2011) araştırmasında, günlük hayatta maruziyetinden kaçınılamayan farklı frekanslardaki cihazların yaydığı elektromanyetik dalgaların kas dokularına etkisini incelemek amacıyla oluşturulan kas eşdeğer modelleri incelenmiştir. Bu amaçla, özellikle 900 ve 1800 MHz frekansında çalışan cep telefonu ve 2.45 GHz frekansında çalışan kablosuz haberleşme cihazları ve 27.12 MHz frekansındaki tıbbi fizyoterapi tedavi cihazlarının (kısa dalga diatermi) insanlarındaki kas dokularına etkilerini inceleyebilmek için çeşitli modeller oluşturularak çalışma yapılmıştır. Çalışmada kas dokularına özgül elektriksel özellikler dikkate alınarak oluşturulan benzetim simülasyonlarında özgül soğurma oranı (SAR) ve elektrik alan değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca farklı frekanslar için doku eşdeğer sınırları oluşturularak, bu fantom model üzerinde EMA'na bağlı dokulardaki sıcaklık artışı da incelenmiştir (Özdiç Polat 2011).

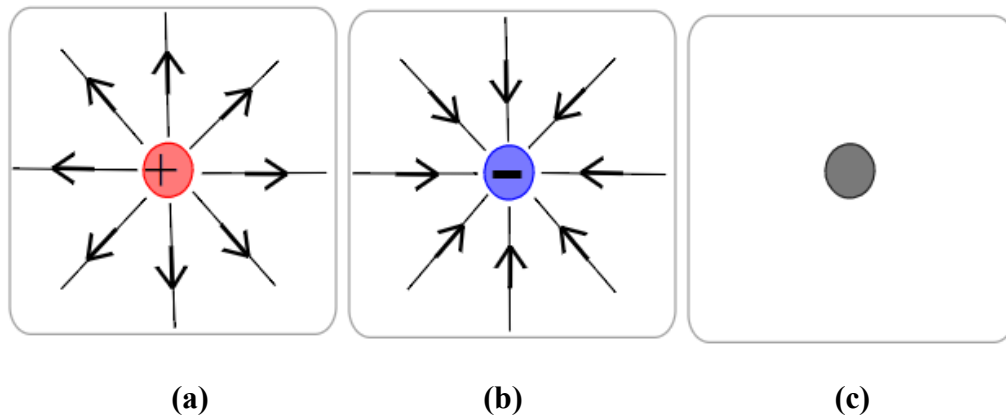
Türk (2010) tarafından yapılan tez çalışmasında, GSM frekanslarının insan kafası üzerindeki ısı etkisi incelenmiştir. Araştırmada iletkenliğin ısı etkisinde orantılı olarak değiştiğinin, fakat geçirgenliğe göre değişmediği gözlemlenmiştir (Türk 2010).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Kuramsal Bilgiler

##### 3.1.1. Elektrik alan

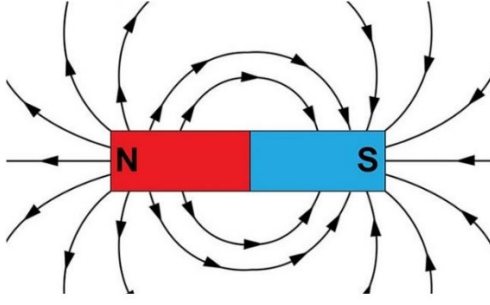
Elektrik yükleri çevresinde bir etki alanı meydana getirir. Yük bu etki alanı içine giren diğer yükleri iter veya çeker. Elektrik yükünün etkisini gösterdiği alana elektrik alanı denir. Elektrik yükünün etki alanı içerisinde kalan herhangi bir noktada bulunan pozitif birim yüke uyguladığı elektriksel kuvvetin şiddeti o noktadaki elektrik alanının büyüklüğünü verir. Bir noktada duran deneme yüküne elektriksel kuvvet etki ediyorsa bu durum o noktada elektrik alanının varlığını gösterir. Elektrik alan bir kuvvet ile ifade edildiğinden vektörel bir büyüklüktür ve  $E$  ile gösterilir. Elektrik yüklü bir modelin, elektrik yüklü başka bir cisme uyguladığı çekme veya itme kuvveti uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğundan azalarak sonsuza kadar devam eder. Dolayısıyla belli bir bölgenin dışında etki ölçülemeyecek kadar az olur. Elektrik alanı meydana getiren elektrik yüklerinin varlığıdır. Her elektrik yükü bir elektrik alan oluşturur. Bir cihazın beslenme gerilimi yükseldikçe elektrik alan değeri de yükselir. Elektrik alanın birimi  $V/m$ 'dir. Elektrik alan şiddeti, kaynağa olan uzaklıkla ters orantılıdır.



**Şekil 3.1. a) Pozitif yük yönü; b) Negatif yük yönü; c) Nötr yük yönü**

##### 3.1.2. Manyetik alan

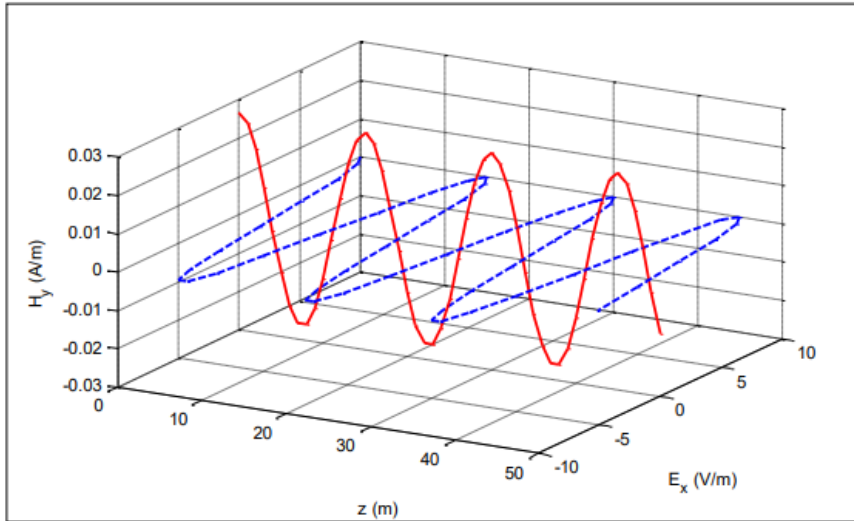
Elektrik yükleri yer değiştğinde manyetik alan oluşur. Manyetik alan ölçü birimi ise Gauss (G)'tur. Manyetik akı bir yüzeyden geçen manyetik alan çizgileri sayısının bir ölçüsüdür. Manyetik akı yoğunluğu birimi Tesla ( $\mu T$ )'dır. Akım ile manyetik alan birbiri ile orantılıdır. Manyetik alan şiddeti mesafe ile azalır. Örneğin, mıknatıslar manyetik alan oluşturur. Manyetik alan çizgileri her zaman kapalıdır ama bazı uygulamalarda manyetik alan çizgilerini sanki N kutuplu bir uçtan çıkan ve S kutuplu bir uca doğru hareket eden çizgiler olarak düşünülebilir.



Şekil 3.2. Manyetik alan yönü

### 3.1.3. Elektromanyetik alan

Elektromanyetik alan, elektrik yüklü cisimlerin çevrelerinde yarattıkları ve diğer yüklü cisimler üzerinde kuvvet uygulayan bir etkidir. Elektromanyetik alanlar elektrik ve manyetik alanların bir araya gelmesiyle ortaya çıkar. Frekans yükseldikçe dalga boyu kısalır ve alanda yayılan enerji yükselir. Elektromanyetik dalgalar halinde yayılan enerjiye ise elektromanyetik radyasyon denilmektedir.



Şekil 3.3. Elektromanyetik dalga yönü

Elektromanyetik Alan teorisi James Clerk Maxwell tarafından dört temel nicelik ile (E, D, B, H) tanımlanmış ve Maxwell Denklemleri oluşmuştur. Bu denklemlerde vektör notasyonu dikkate alınacak.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0 \quad (3.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_s \quad (3.2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \quad (3.4)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (3.5)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (3.6)$$

Burada;

$\mathbf{E}$  = elektrik alan şiddeti (volt / m)

$\mathbf{H}$  = manyetik alan şiddeti (amper / m)

$\mathbf{D}$  = elektrik akı yoğunluğu (coulomb / m<sup>2</sup>)

$\mathbf{B}$  = manyetik akı yoğunluğu (weber / m<sup>2</sup>)

$\mathbf{J}$  = elektrik akı yoğunluğu (amper / m<sup>2</sup>)

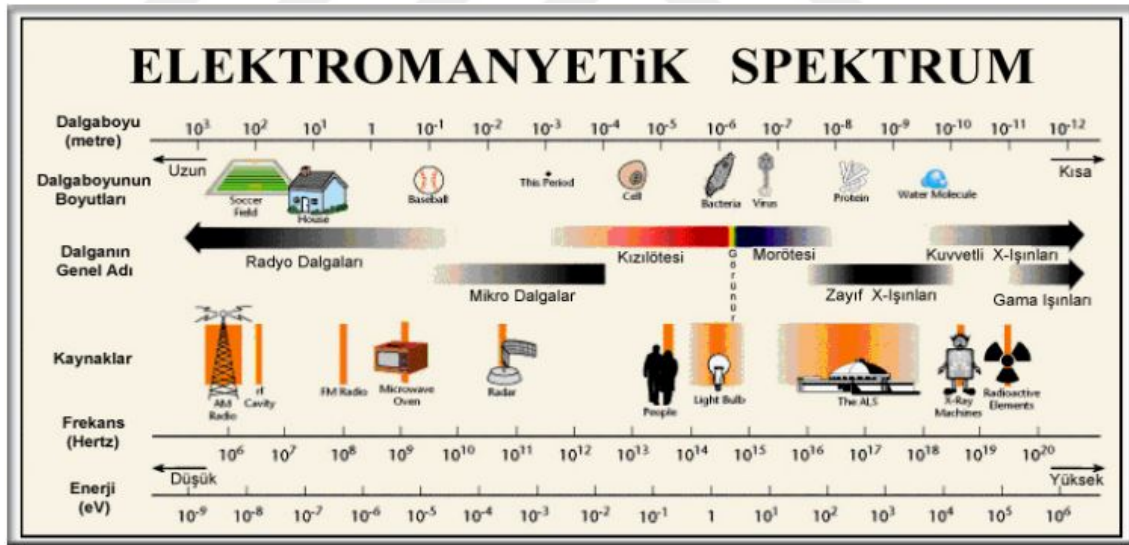
$\rho_s$  = elektrik yük yoğunluğu (coulomb / m<sup>3</sup>)

$\rho$  = manyetik yük yoğunluğu (weber / m<sup>3</sup>)

$\mu_0$  = boş uzayın manyetik geçirgenliği (henry / m)

$\epsilon_0$  = boş uzayın elektrik geçirgenliği (coulomb / (m × volt))

Elektromanyetik dalgalar, frekans değerine göre farklı isimlerle adlandırılırlar. Elektromanyetik dalgaların, dalga boylarının büyüklüğüne göre sıralandığı cetvele elektromanyetik spektrum denir. Elektromanyetik spektrumda frekans bantlarının hangi amaçla kullanılacağı Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Türkkan vd. 2009).



Şekil: 3.4. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik dalgaların dalga boylarına göre sınıflandırıldığı frekans aralıkları ve açıklamaları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Elektromanyetik spektrum frekans aralıkları

| Frekans Aralığı | Dalga Boyu   | Açıklama                                     | Kısaltma |
|-----------------|--------------|----------------------------------------------|----------|
| 3 – 30 kHz      | 100 – 10 km  | Çok Düşük Frekans (Extra Low Frequency)      | ELF      |
| 30 – 300 kHz    | 10 – 1 km    | Düşük Frekans (Low Frequency)                | LF       |
| 300 – 3000 kHz  | 1 km – 100 m | Orta Frekans (Medium Frequency)              | MF       |
| 3 – 30 MHz      | 100 – 10 m   | Yüksek Frekans (High Frequency)              | HF       |
| 30 – 300 MHz    | 10 – 1 m     | Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency)     | VHF      |
| 300 – 3000 MHz  | 1 m – 10 cm  | Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)  | UHF      |
| 3 – 30 GHz      | 10 – 1 cm    | Süper Yüksek Frekans (Super High Frequency)  | SHF      |
| 30 – 300 GHz    | 1 cm – 1 mm  | Ekstra Yüksek Frekans (Extra High Frequency) | EHF      |

#### 3.1.4. Özgül soğurma oranı (SAR)

Özgül Soğurma Oranı SAR (Specific Absorption Rate), biyolojik dokunun EM dalga ışınlamına maruz kaldığında elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğurulma hızıdır. Birimi W/kg'dır. İçerideki enerjiyle birlikte sıcaklık artar ve sonuç olarak ısı enerji yayılır. İnsan vücudunda bir derece sıcaklık artışı için bir kilogram doku başına 4W güç soğurulması gerekmektedir. İnsanların genel yaşam alanlarında bu değerin 50'de biri olan 0,08 W/kg SAR sınır değeri olarak kabul edilmiştir.

Özgül soğurma hızının doğrudan ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Bundan dolayı, sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler, elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur. Bu ısı artış etkisinin ölçüsü, SAR, birim ağırlık başına EM enerjinin soğurulma oranı olarak tanımlanır. SAR, (3.7) eşitliğinde verildiği gibidir. İnsan vücudundaki elektrik alan şiddeti  $E$  (V/m), biyolojik dokunun elektriksel iletkenliği  $\sigma$  (S/m) ve kütle yoğunluğu  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) ile hesaplanır.



$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (3.7)$$

Burada;

SAR: Özgül soğrulma oranı (W/kg)

$\sigma$  : Doku iletkenliği (S/m)

$\rho$  : Doku yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

E : Elektrik alanın şiddeti (V/m)

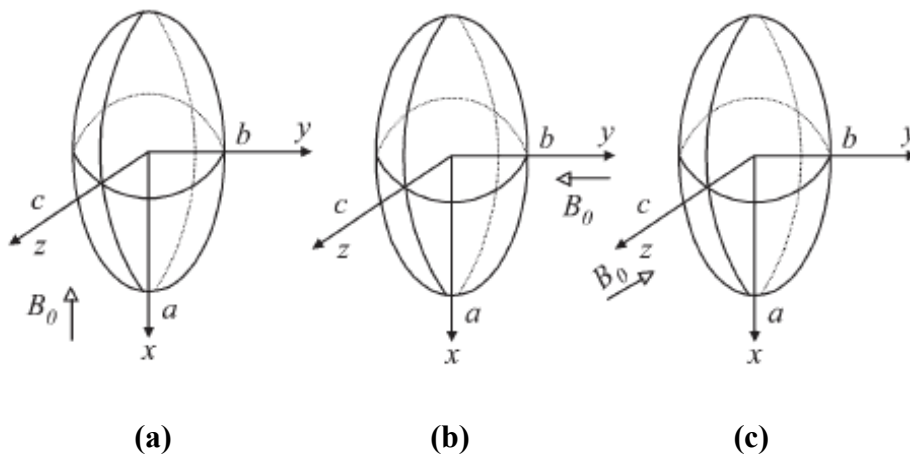
### 3.1.5. Elipsoid model

Bir elipsoid yüzeyi (3.8)'deki denklem gibi tanımlanır.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (3.8)$$

Burada x,y,z dikdörtgen koordinatlardır. Elipsoidin boyutu ve şeklini a, b ve c parametreleri belirler. Bu çalışmada  $c \leq b \leq a$ 'dır.

Temel bir elipsoid modeli Şekil 3.5'te gösterilmiştir. 2a, gövdenin ana ekseninin uzunluğunu tanımlarken, 2b, ara eksenin genişliğini ve 2c, yan eksenin derinliğini tanımlar. Bir kişiye elipsoid model kullanırken, 2a kişinin boyunu, 2b kişinin genişliğini (kalçadan kalçaya ölçülen) ve 2c karın yüzeyini kalçaya kadar tanımlar.



**Şekil: 3.5.** Elipsoid model gösterimi; **a)** Manyetik alan ana eksenine ile hizalıdır; **b)** Manyetik alan modelin ara eksenine ile hizalıdır; **c)** Manyetik alan modelin yan eksenine ile hizalıdır

Çizelge 3.2 yetişkinlerin ve çeşitli yaşlarda çocukların elipsoid modellerindeki a, b ve c parametrelerini listeler (Durney vd. 1986).

**Çizelge: 3.2.** Elipsoid parametreleri

| Model                             | a (m) | b (m) | c (m) |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| Ortalama erkek                    | 0.875 | 0.195 | 0.098 |
| Ortalama kadın                    | 0.805 | 0.2   | 0.091 |
| Ortalama endomorfik (şişman) adam | 0.88  | 0.225 | 0.17  |
| Ortalama endomorfik (zayıf) adam  | 0.88  | 0.16  | 0.08  |
| Küçük kadın                       | 0.725 | 0.18  | 0.079 |
| Büyük kadın                       | 0.865 | 0.215 | 0.114 |
| 10 yaşında çocuk                  | 0.69  | 0.143 | 0.078 |
| 5 yaşında çocuk                   | 0.56  | 0.12  | 0.069 |
| 1 yaşında çocuk                   | 0.37  | 0.095 | 0.068 |

Çeşitli frekanslar için seçilen homojen gövde modelinin iletkenlik ve dielektrik sabiti Çizelge 3.3'te verilmiştir (Durney vd. 1986).

**Çizelge: 3.3.** Homojen cisim modellerinin elektriksel özellikleri

| Frekans | Dielektrik Sabit ( $\epsilon_r$ ) | İletkenlik (S/m) |
|---------|-----------------------------------|------------------|
| 50 Hz   | $1 \times 10^6$                   | 0.1              |
| 100 Hz  | $7 \times 10^5$                   | 0.15             |
| 1 kHz   | $1 \times 10^5$                   | 0.15             |
| 10 kHz  | $3 \times 10^4$                   | 0.2              |
| 100 kHz | $1 \times 10^4$                   | 0.3              |

Bir elipsoidin içinde dış düzgün dikey elektrik alanı  $E_0$  tarafından indüklenen elektrik alanı  $E$  (3.9)'da verilmiştir.

$$E = \frac{j\omega\epsilon_0 E_0}{\sigma^* A} \quad (3.9)$$

Burada,  $\sigma^* = \sigma + j\omega\epsilon_r\epsilon_0$  (S/m) karmaşık iletkenliktir.

$$A = \frac{abc}{2} \int_0^\infty \frac{d\xi}{(\xi + a^2)\sqrt{(\xi + a^2)(\xi + b^2)(\xi + c^2)}} \\ = abc \left( \frac{[F(\phi, k) - E(\phi, k)]}{((a^2 - b^2)(a^2 - c^2)^{\frac{1}{2}})} \right) \quad (3.10)$$

$$F(\phi, k) = \int_0^\phi (1 - k^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{1}{2}} d\theta \quad (3.11)$$

$$E(\phi, k) = \int_0^\phi (1 - k^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}} d\theta \quad (3.12)$$

$$k = \sqrt{\left(\frac{a^2 - b^2}{a^2 - c^2}\right)}, \theta = \sin^{-1} \left( \frac{a^2 - c^2}{a^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

Burada,  $F(\phi, k)$  ve  $E(\phi, k)$  birinci ve ikinci türden tamamlanmamış eliptik integrallerdir ve  $k$  bu eliptik integrallerin modülüdür.  $\Phi$ , elipsoidal harmonik,  $\xi$  elipsoidal koordinatı ifade etmektedir. Dış elektrik alan gövdeye dik olduğunda indüklenen elektrik alan maksimum olur (Massoudi vd. 1977).

Elektrik alan tarafından indüklenen akım yoğunluğu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (3.14)$$

Burada;

**J** : Akım Yoğunluğu ( $\mu\text{A}/\text{m}^2$ )

$\sigma$  : İnsan modelinin doku iletkenliği (S/m)

**E** : Elektrik alanın şiddeti (V/m)

50/60 Hz manyetik alanların biyolojik bir cisimle etkileşimleri düşünülebilir, çünkü manyetik alanın dalga boyu biyolojik modelin boyutuna göre çok daha büyüktür. Faraday ve Ampere yasalarından, biyolojik bir nesnede dış manyetik alan tarafından indüklenen akım akışı tarafından üretilen ikincil manyetik alanın ihmal edilebileceği gösterilebilir. Dolayısıyla biyolojik beden içindeki manyetik alan tek tip olarak kabul edilir.

X eksenine paralel  $B_0$  manyetik alanı etkisiyle indüklenen elektrik alanı y-z düzleminde oluşur ve her yerde elipse teğet olduğu gösterilebilir  $\left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{z}{c}\right)^2 = \eta^2$ . Burada,  $1 \geq \eta \geq 0$ .

$$E = \frac{wB_0}{b^2 + c^2} \sqrt{b^4 z^2 + c^4 y^2} \quad (3.15)$$

Elipsoid modelde indüklenen  $E_{max}$ ,  $E_{rms}$ ,  $J_{max}$ ,  $J_{rms}$  değerleri (3.16), (3.17) ve (3.18) denklemlerinde verilmiştir.

1.  $B_0$  manyetik alanı x eksenine paralel ise ( $B_0//a$ );

$$E_{max} = B_0 w \frac{b^2 c}{b^2 + c^2}, \quad E_{rms} = \frac{B_0 w}{\sqrt{5}} \frac{bc}{\sqrt{b^2 + c^2}}$$

$$J_{max} = \sigma B_0 w \frac{b^2 c}{b^2 + c^2}, \quad J_{rms} = \sigma \frac{B_0 w}{\sqrt{5}} \frac{bc}{\sqrt{b^2 + c^2}} \quad (3.16)$$

2.  $B_0$  manyetik alanı y eksenine paralel ise ( $B_0//b$ );

$$E_{max} = B_0 w \frac{a^2 c}{a^2 + c^2}, \quad E_{rms} = \frac{B_0 w}{\sqrt{5}} \frac{ac}{\sqrt{a^2 + c^2}}$$

$$J_{max} = \sigma B_0 w \frac{a^2 c}{a^2 + c^2}, \quad J_{rms} = \sigma \frac{B_0 w}{\sqrt{5}} \frac{ac}{\sqrt{a^2 + c^2}} \quad (3.17)$$

3.  $B_0$  manyetik alanı z eksenine paralel ise ( $B_0//c$ );

$$E_{max} = B_0 w \frac{a^2 b}{a^2 + b^2}, \quad E_{rms} = \frac{B_0 w}{\sqrt{5}} \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$J_{max} = \sigma B_0 w \frac{a^2 b}{a^2 + b^2}, \quad J_{rms} = \sigma \frac{B_0 w}{\sqrt{5}} \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3.18)$$

Eşitliklerde;  $w$  açısal frekans,  $E$  elektrik alan şiddeti,  $J$  akım yoğunluğu,  $a, b, c$  ise elipsoid parametreleridir.

### 3.2. Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçüm Tekniği

Düşük frekanslı ile yüksek frekanslı elektrik ve manyetik alan ölçümleri alınırken, ICNIRP'nin belirlemiş olduğu 6 dakikalık ölçüm alma yöntemi referans olarak alınmıştır.

Maruz kalınabilecek manyetik alan değerlerinin belirlenmesi amacı ile elektrikli cihazlardan 3 cm, 30 cm ve 1m olmak üzere farklı mesafelerdeki manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Manyetik alan şiddeti ve manyetik alana maruziyet seviyesini ölçmek için tasarlanmış HIOKI 3470 Magnetic Field Hitester cihazı kullanılmıştır.

Yaygın cihaz kullanılan ev ve iş yerlerinde elektromanyetik alan seviyelerinin ölçülerek belirlenmesi, EM kirliliğinin araştırılması, artan cihaz yoğunluğu nedeniyle maruziyet açısından çok önemlidir. Elektrikli cihazlardan elektromanyetik alan ölçümü için 3 cm, 30 cm ve 1 m olmak üzere farklı mesafelerdeki seviyesi için Narda Broadband Field Meter NBM-550 marka elektrik alan cihazı kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan Şekil 3.6'da HIOKI 3470 Magnetic Field Hitester ve Narda Broadband Field Meter NBM-550 cihazlarının görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 3.6. a) HIOKI 3470 Magnetic Field Hitester; b) Narda Broadband Field Meter NBM-550**

### 3.3. Modelleme

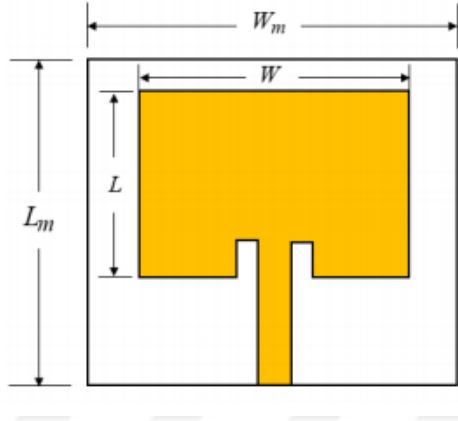
#### 3.3.1. Sonlu elemanlar yöntemi

Benzetim çalışmaları sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tabanlı simülasyon programı sayesinde incelenmiştir. İlk kez 1943 yılında Richard Courant tarafından ele alınan SEY, sınır koşulları yardımıyla kısmi diferansiyel denklemleri kullanarak çeşitli problemleri çözmeye yarayan bir nümerik yöntemdir. Kısaca problem uzayını sonlu elemanlar olarak adlandırılan küçük parçalara bölüp uygun sınır koşulları gözetiminde genel çözüme ulaşmaktır. Çözülmesi uzun zaman alan karmaşık problemlerin daha basit ve kısa zamanda çözülmesi için bu problemlere eş değer, ancak daha basit hale getirilmiş problemlerin çözümüne gidilmesi sonlu elemanlar yönteminin temelindeki fikirdir. Sonlu elemanlar yönteminde, çözüm bölgesi çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsinde çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemlerinin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır. Bir problem SEY ile incelenirken problem dört aşamada ele alınır. İncelenen problem uzayı, alt uzaylara ayrılır ve bunlara sonlu elemanlar denir. Sonlu elemanların belirlenmesi hafıza ihtiyacını, sonuçların doğruluğunu ve hesaplama zamanını etkiler. Elde edilen her sonlu eleman için interpolasyon gerçekleştirilir. Elemanlar ile

düğümünün sınır koşullarına göre bilinmeyen çözümü elde edilir. Sonrasında denklemler sisteminin formülleri elde edilir ve bu sistemin çözülmesiyle evrensel sonuca ulaşılır.

### 3.3.2. Patch anten tasarımı

Patch antenler, ışımayı sağlayan düzlemin, dielektrik alt tabaka üzerine istenilen geometride yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Yama ve toprak düzlemi, genellikle düzgün geometrilere sahiptirler. Işımayı sağlayan yama geometrisi genellikle düzlemsel olmakla birlikte, düzlemsel olmayan geometriler de kullanılmaktadır. Çok sayıda yama anten için ışıma karakteristikleri hesaplanmıştır. Boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılıdır ve göreceli olarak büyüktürler. Geleneksel patch antenin geometrisi Şekil 3.7’te verilmiştir.



Şekil: 3.7. Patch anten geometrisi

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.19)$$

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (3.20)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.21)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.22)$$

$$W_m = 6h + W \quad (3.23)$$

$$L_m = 6h + L \quad (3.24)$$

Burada,

W : yamanın genişliği (mm)

L : yamanın uzunluğu (mm)

$W_m$  : dielektrik malzemenin genişliği (mm)

$L_m$  : dielektrik malzemenin uzunluğu (mm)

h : dielektrik malzemenin yüksekliği (mm)

c : ışık hızı (m/sn)

$f_r$  : rezonans frekansı (Hz)

$\epsilon_0$  : boşluğun dielektrik sabiti (coulomb / (m x volt))

$\mu_0$  : boşluğun manyetik geçirgenliği (henry / m)

$\epsilon_{eff}$  : efektif dielektrik sabitidir. (coulomb / (m x volt))

### 3.3.3. CST programı voksel ailesi

İnsan vücudundaki EM alanlarının etkileşimi, birçok cihaz için çok önemli bir tasarımdır ve özellikle sağlık ve yaşam bilimlerinde hem ürün performansı hem de güvenlik hakkında bilgi verir. CST Studio Suite, detaylı iç yapıya ve gerçekçi EM ve termal özelliklere sahip hem voksel tabanlı hem de CAD tabanlı vücut modellerini içerir ve insan vücudunun dikkate alınmasını sağlar.

CST Voksel Aile farklı cinsiyet, yaş ve boy dokuz kişiden oluşturulan dokuz insan modeli voksel veri setlerinin bir gruptur. CST Studio Suite kurulumuna dahildirler ve Voksel Data Import kullanılarak içe aktarılırlar. Çizelge 3.4’de bu dokuz modele ilişkin bilgiler sunulmaktadır.

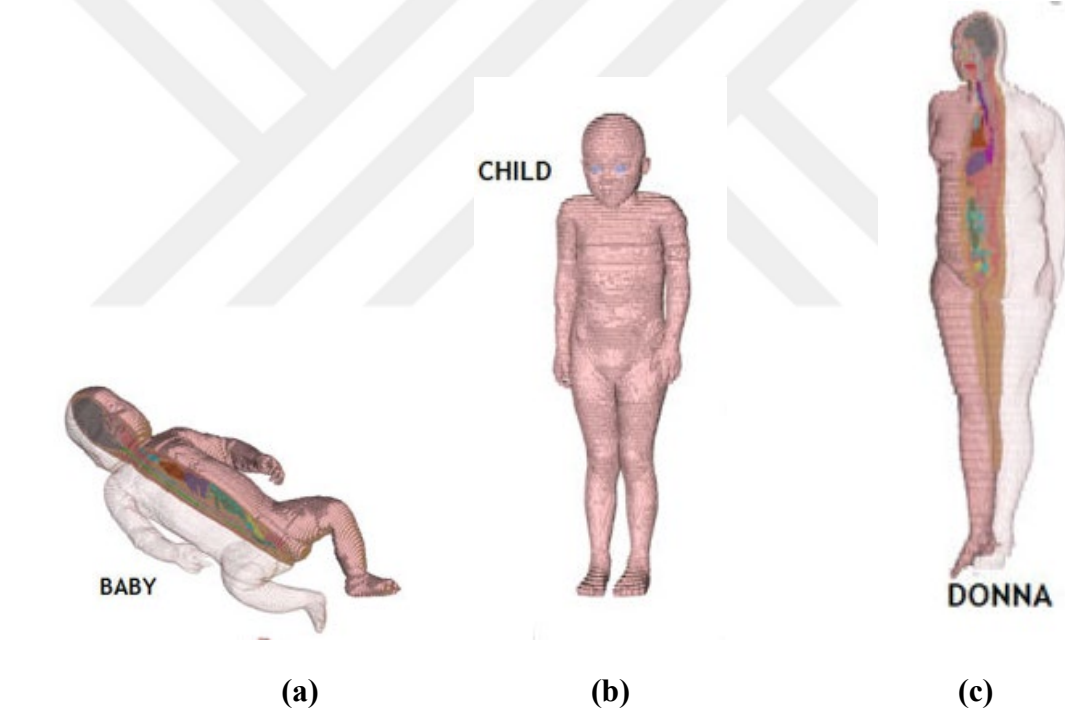
**Çizelge 3.4.** CST Studio Suite dokuz insan modeli bilgileri

| Modeli | Yaş/Cinsiyet     | Boyut/cm | Kütle/kg | Çözünürlük/mm                  |
|--------|------------------|----------|----------|--------------------------------|
| Bebek  | 8 haftalık kadın | 57       | 4.2      | $0.85 \times 0.85 \times 4.0$  |
| Çocuk  | 7 yaş kadın      | 115      | 21.7     | $1.54 \times 1.54 \times 8.0$  |
| Donna  | 40 yaş kadın     | 176      | 79       | $1.875 \times 1.875 \times 10$ |
| Emma   | 26 yaş kadın     | 170      | 81       | $0.98 \times 0.98 \times 10$   |

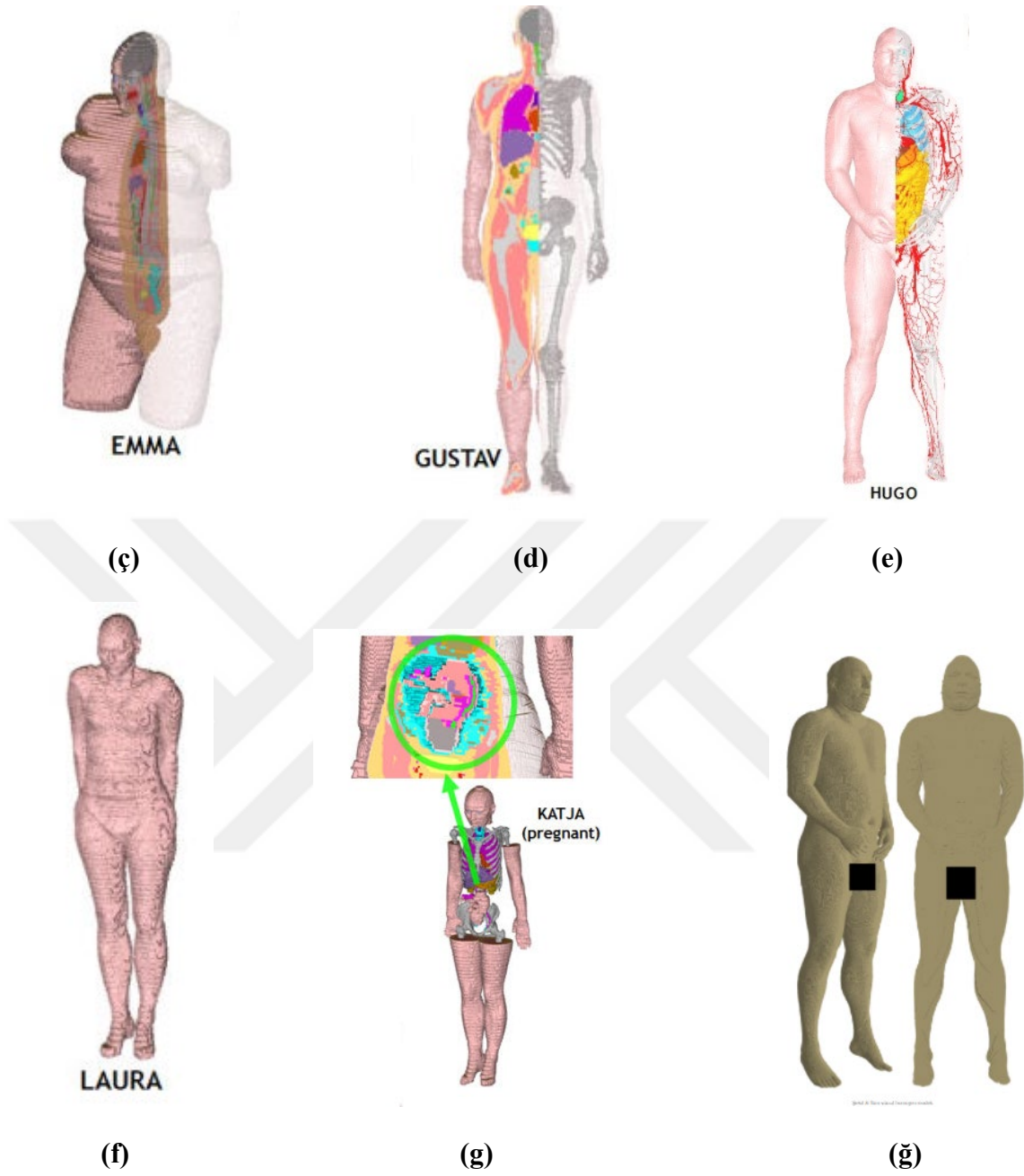
Çizelge 3.4.'ün devamı.

|        |                                   |     |     |                                  |
|--------|-----------------------------------|-----|-----|----------------------------------|
| Gustav | 38 yaş erkek                      | 176 | 69  | $2.08 \times 2.08 \times 8.0$    |
| Hugo   | 38 yaş erkek                      | 180 | 103 | $1 \times 2 \times 5$            |
| Laura  | 43 yaş kadın                      | 163 | 51  | $1.875 \times 1.875 \times 5.0$  |
| Katja  | 43 yaş hamile kadın (24 haftalık) | 163 | 62  | $1.775 \times 1.775 \times 4.84$ |
| Austin | Erkek                             | -   | -   | $1 \times 1 \times 1$            |

CST Studio Suite programında yer alan dokuz farklı voksel modellerinin görünimleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.







**Şekil 3.8. a) Bebek modeli görünümü; b) Çocuk modeli görünümü; c) Donna modeli görünümü; ç) Emma modeli görünümü; d) Gustav modeli görünümü; e) Hugo modeli görünümü; f) Laura modeli görünümü; g) Katja modeli görünümü; ğ) Austin modeli görünümü**

CST Voksel ailesine ait 900 MHz frekansındaki doku özelliklerine ilişkin bilgiler EK-1’de, 1800 MHz frekansındaki doku özelliklerine ilişkin bilgiler EK-2’de, 2.4 GHz frekansındaki doku özelliklerine ilişkin bilgiler EK-3’te ve 2.45 GHz frekansındaki doku özelliklerine ilişkin bilgiler EK-4’te verilmiştir.

### 3.4. Yasal Düzenlemeler ve Sınır Değerler

Elektromanyetik radyasyon konusunda her ülke kendi standartlarına göre limit değerleri belirlemiştir. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ve ABD dahil olmak üzere birçok dünya ülkesinde ortak olarak kabul gören ve uygulanan limit değerler bulunmaktadır. Bu limit değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da tanınan ve uluslararası bir komisyon olan ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – İyonize olmayan radyasyondan koruma komisyonu) ile Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE) tarafından belirlenmiştir. Limit değerler yayılan elektromanyetik radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmektedir. ICNIRP maruziyeti limit değerleri Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da gösterilmiştir (ICNIRP 2010).

**Çizelge 3.5.** Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara mesleki maruziyet için referans seviyeleri

| Frekans Aralığı | Elektik Alan Şiddeti E (kV/m) | Manyetik Alan Şiddeti H (A/m) | Manyetik Akı Yoğunluğu B (T) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 Hz–8 Hz       | 20                            | $1.63 \times 10^5 / f^2$      | $0.2 / f^2$                  |
| 8 Hz–25 Hz      | 20                            | $2 \times 10^4 / f$           | $2.5 \times 10^{-2} / f$     |
| 25 Hz–300 Hz    | $5 \times 10^2 / f$           | $8 \times 10^2$               | $1 \times 10^{-3}$           |
| 300 Hz–3 kHz    | $5 \times 10^2 / f$           | $2.4 \times 10^5 / f$         | $0.3 / f$                    |
| 3 kHz–10 MHz    | $1.7 \times 10^{-1}$          | 80                            | $1 \times 10^{-4}$           |

**Çizelge 3.6.** Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara genel halkın maruziyet için referans seviyeleri

| Frekans Aralığı | Elektik Alan Şiddeti E (kV/m) | Manyetik Alan Şiddeti H (A/m) | Manyetik Akı Yoğunluğu B (T) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 Hz–8 Hz       | 5                             | $3.2 \times 10^4 / f^2$       | $4 \times 10^{-2} / f^2$     |
| 8 Hz–25 Hz      | 5                             | $4 \times 10^3 / f$           | $5 \times 10^{-3} / f$       |
| 25 Hz–50 Hz     | 5                             | $1.6 \times 10^2$             | $2 \times 10^{-4}$           |
| 50 Hz–400 Hz    | $2.5 \times 10^2 / f$         | $1.6 \times 10^2$             | $2 \times 10^{-4}$           |
| 400 Hz–3 kHz    | $2.5 \times 10^2 / f$         | $6.4 \times 10^4 / f$         | $8 \times 10^{-2} / f$       |
| 3 kHz–10 MHz    | $8.3 \times 10^{-2}$          | 21                            | $2.7 \times 10^{-5}$         |

**Çizelge 3.7.** 100 kHz-300 GHz arasındaki elektromanyetik alanlara ortalama 6 dakikanın üzerinde mesleki maruziyet için referans seviyeleri (pertürbe edilmemiş rms değerleri)

| Frekans Aralığı | Elektik Alan Şiddeti E (V/m) | Manyetik Alan Şiddeti H (A/m) |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0.1 MHz–30 MHz  | $1504/f^{0.7}$               | $10.8/f$                      |
| >30 MHz–400 MHz | 139                          | 0.36                          |
| >400 MHz–2 GHz  | $10.58f^{0.43}$              | $0.0274f^{0.43}$              |
| >2 GHz–6 GHz    | NA                           | NA                            |
| >6 GHz–<300 GHz | NA                           | NA                            |
| 300 GHz         | NA                           | NA                            |

**Çizelge 3.8.** 100 kHz-300 GHz arasındaki elektromanyetik alanlara ortalama 6 dakikanın üzerinde halk maruziyet için referans seviyeleri (pertürbe edilmemiş rms değerleri)

| Frekans Aralığı | Elektik Alan Şiddeti E (V/m) | Manyetik Alan Şiddeti H (A/m) |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0.1 MHz–30 MHz  | $671/f^{0.7}$                | $4.9/f$                       |
| >30 MHz–400 MHz | 62                           | 0.163                         |
| >400 MHz–2 GHz  | $4.72f^{0.43}$               | $0.0123f^{0.43}$              |
| >2 GHz–6 GHz    | NA                           | NA                            |
| >6 GHz–<300 GHz | NA                           | NA                            |
| 300 GHz         | NA                           | NA                            |

**Çizelge 3.9.** 100 kHz - 300 GHz arası elektromanyetik alana maruz kalma için mesleki temel kısıtlamalar

| Frekans Aralığı  | Tüm vücut ortalama SAR (W/kg) | Lokalize SAR (baş ve göğüs) (W/kg) | Lokalize SAR (uzuvlar) (W/kg) |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 100 kHz to 6 GHz | 0.4                           | 10                                 | 20                            |

**Çizelge 3.9.**'un devamı.

|               |     |    |    |
|---------------|-----|----|----|
| >6 to 300 GHz | 0.4 | NA | NA |
|---------------|-----|----|----|

**Çizelge 3.10.** 100 kHz - 300 GHz arası elektromanyetik alana maruz kalma için genel halk temel kısıtlamaları

| Frekans Aralığı  | Tüm vücut ortalama SAR (W/kg) | Lokelize SAR (baş ve göğüs) (W/kg) | Lokelize SAR (uzuvlar) (W/kg) |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 100 kHz to 6 GHz | 0.08                          | 2                                  | 4                             |
| >6 to 300 GHz    | 0.08                          | NA                                 | NA                            |

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde materyal ve metot bölümünde detaylı olarak açıklanan düşük frekans bölgesi ve yüksek frekans bölgesi olarak iki farklı bölgede yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular verilmiştir. Sonuçlar kaynak taramasında verilen bilgiler ve yasal sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

Elektrik ve manyetik alan ölçümleri ICNIRP'nin belirlemiş olduğu 6 dakikalık ölçüm alma yöntemi referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Yaygın cihaz kullanılan ev ve iş yerlerinde elektromanyetik alan seviyeleri ve manyetik alan değerleri 3 cm, 30 cm ve 1 m olmak üzere farklı mesafelerdeki ölçümleri alınmış ve değerler kaydedilmiştir.

Yaşam alanlarında düşük frekans bölgesinde 50 Hz ile 100 kHz frekans aralığında dış manyetik alanların etkisiyle çocuk ve yetişkin insan vücuduna indüklediği elektrik alan ve akım yoğunluklarının analitik çözümleri yapılmıştır. İndüklenen alanların ve akım yoğunluğunun hesaplanması için elipsoid gövde modelleri kullanılmıştır. Farklı şiddetlerde elektromanyetik mazurizet durumlarının pratik olarak analizinde kullanılabilecek veriler sunmak amacıyla, maruz kalınan manyetik alan şiddeti 1  $\mu$ T'ye normalize edilerek indüklenen akım yoğunluğu teorik olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda homojen elipsoidal model (SEY) kod tabanlı CST Studio Suite programı ile de maruziyet analizleri yapılmıştır. Benzetim sunucunda elde edilen veriler teorik hesaplanan değerler ile karşılaştırılmış, bu alanda çalışan araştırmacılar için kullanılabilecek pratik bir veri seti sunulmuştur.

Çalışmanın bir diğer kısmı olan yüksek frekans bölgesi için dört farklı frekans bandında çalışan patch anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu frekanslar cep telefonu antenini temsil eden 900 MHz ve 1800 MHz, WiFi modelini temsilen tasarlanan anten frekansı 2.4 GHz, mikrodalga fırın modelini temsilen tasarlanan anten frekansı ise 2.45 GHz olan antenlerdir. CST Studio Suite programı da tasarlanan antenler ile programın datasında bulunan voksel ailesi üyeleri üzerinde özgül soğurma oranı (SAR) benzetimleri yapılmıştır.

Elde edilen veriler üç ana başlıkta verilmiştir. Tüm verilerin ışığında doz analizleri yapılmış, alınabilecek önlemler belirlenmiştir.

##### 4.1. Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçümleri

Günümüzde teknolojinin gelişimiyle birlikte çeşitli ve yaygın kullanım alanlarına sahip elektrikli cihazlar da artmaktadır. Yaşamı kolaylaştıran teknoloji ürünü cihazların kullanımı fark edilemeyen riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu tez çalışmasında yaygın olarak kullanılan elektrikli cihazlardan Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Laboratuvar alt yapısı, Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama Araştırma Merkezi'nin laboratuvarında bulunan HIOKI 3470 Magnetic Field Hitester cihazı ve Narda Broadband Field Meter NBM-550 marka elektrik alan cihazı yardımıyla 3 cm, 30 cm ve 1 m olmak üzere farklı mesafelerdeki ölçümler alınmış ve değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ölçümler 6 dakikalık ölçüm alma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik alan şiddeti değerleri ve manyetik alan şiddeti değerleri tespit edilerek Türkiye'de geçerli olan sınır değerler ile kıyaslanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Elektrikli cihazların çeşitli uzaklıklardaki elektrik alanları ve manyetik alanları

| Elektrikli Cihaz          | 3 cm Uzaklıkta |       | 30 cm Uzaklıkta |       | 1 m Uzaklıkta |       |
|---------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|---------------|-------|
|                           | ( $\mu$ T)     | (V/m) | ( $\mu$ T)      | (V/m) | ( $\mu$ T)    | (V/m) |
| Boş Ortam                 | 0.02           | 0.02  | 0.02            | 0.02  | 0.02          | 0.02  |
| Saç Kurutma Makinası      | 2.17           | 0.92  | 0.13            | 0.36  | 0.037         | 0.32  |
| Elektrikli Tıraş Makinası | 0.23           | 0.12  | 0.068           | 0.1   | 0.061         | 0.07  |
| Elektrik Süpürgesi        | 9.81           | 0.67  | 0.243           | 0.2   | 0.091         | 0.16  |
| Floresan Lamba            | 0.48           | 0.72  | 0.16            | 0.22  | 0.081         | 0.12  |
| Kettle                    | 0.093          | 0.42  | 0.039           | 0.2   | 0.03          | 0.12  |
| Akıllı Saat               | 0.048          | 0.11  | 0.024           | 0.09  | 0.023         | 0.07  |
| Fırın                     | 2.198          | 0.15  | 0.403           | 0.14  | 0.106         | 0.14  |
| Çamaşır Makinesi          | 0.06           | 7.52  | 0.043           | 0.2   | 0.036         | 0.14  |
| Ütü                       | 2.74           | 1.52  | 0.48            | 0.14  | 0.38          | 0.12  |
| Bulaşık Makinesi          | 0.186          | 0.5   | 0.138           | 0.12  | 0.089         | 0.07  |
| Mikrodalga Fırın          | 1.83           | 13.55 | 1.23            | 11.73 | 0.32          | 2.24  |
| Bilgisayar                | 0.04           | 0.86  | 0.028           | 0.35  | 0.025         | 0.17  |
| Tablet                    | 0.027          | 1.32  | 0.024           | 0.32  | 0.023         | 0.12  |
| Buzdolabı                 | 0.077          | 0.32  | 0.065           | 0.12  | 0.056         | 0.1   |
| Modem (WiFi)              | 0.033          | 1.6   | 0.029           | 0.48  | 0.027         | 0.28  |
| Cep Telefonu              | 0.047          | 0.12  | 0.039           | 0.07  | 0.031         | 0.05  |
| Yazıcı                    | 0.027          | 0.92  | 0.025           | 0.4   | 0.024         | 0.24  |
| Faks                      | 0.027          | 0.92  | 0.025           | 0.4   | 0.024         | 0.24  |
| Klima                     | 0.2            | 0.9   | 0.05            | 0.73  | 0.03          | 0.6   |
| Laptop                    | 0.05           | 0.73  | 0.03            | 0.35  | 0.026         | 0.28  |

|    |      |      |      |      |      |     |
|----|------|------|------|------|------|-----|
| TV | 0.22 | 0.33 | 0.04 | 0.18 | 0.29 | 0.1 |
|----|------|------|------|------|------|-----|

İnsanların yaşam alanlarında sıklıkla kullanılan elektrikli cihazlardan Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi ölçülen elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin ICNIRP’nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür.

## 4.2. Düşük Frekans Bölgesinde Elde Edilen Sonuçlar

### 4.2.1. Analitik çözümler

Zamanla değişen elektrik alanlarının insan vücudu ile etkileşimi, elektrik yükünün akışına (elektrik akımı, bağlı yükün polarizasyonu (elektrik dipollerinin oluşumu) ve dokuda zaten mevcut olan elektrik dipollerinin yeniden yönlendirilmesine neden olur. Bu farklı etkiler vücudun elektriksel özelliklerine, yani elektriksel iletkenlik ve geçirgenliğe bağlıdır. Elektriksel iletkenlik ve geçirgenlik vücut dokusunun tipine göre değişir ve ayrıca uygulanan alanın frekansına da bağlıdır. Vücuda gelen dış elektrik alanları bir yüzeyi indükler. Vücut üzerindeki yük; bu, vücutta maruz kalma koşullarına, vücudun boyutuna ve şekline ve vücudun alandaki konumuna bağlı olan indüklenmiş akımlarla sonuçlanır. 50 Hz ile 100 kHz frekans aralığında  $1 \mu T$ ’ye normalize edilen homojen elipsoid gövde modeli ile çocuk ve yetişkin insan vücuduna indüklediği elektrik alan ve akım yoğunluklarının analitik çözümleri yapılmıştır.

Zamanla değişen manyetik alanların insan vücudu ile fiziksel etkileşimi, indüklenmiş elektrik alanları ve dolaşımdaki elektrik akımları ile sonuçlanır. İndüklenen alanın büyüklükleri ve akım yoğunluğu, döngünün yarıçapı, dokunun elektriksel iletkenliği ve değişim hızı ve manyetik akı yoğunluğunun büyüklüğü ile orantılıdır. Belirli bir manyetik alan büyüklüğü ve frekansı için, en güçlü elektrik alanları, döngü boyutlarının en büyük olduğu yerde indüklenir. Vücudun herhangi bir yerinde indüklenen akımın kesin yolu ve büyüklüğü dokunun elektriksel iletkenliğine bağlı olacaktır.

(3.16), (3.17) ve (3.18) denklemlerinin analitik çözümlerine ilişkin sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te elipsoidal modeller  $1 \mu T$ ’ye normalize edilen manyetik alana maruz kaldığında hesaplanan indüklenmiş maksimum elektrik alanlarını ve akım yoğunluklarını, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’te ise elipsoidal modeller  $1 \mu T$ ’ye normalize edilen manyetik alana maruz kaldığında hesaplanan indüklenmiş etkin (rms) elektrik alanlarını ve akım yoğunluklarını göstermektedir. Veriler, elipsoidal modellerin eksenlerinin her biri için  $((B_0//a), (B_0//b) \text{ ve } (B_0//c))$  verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı

| Model                             | E <sub>max</sub> (μV/m) |        |         |          |           |            |         |          |           |            |            |         |          |           |            |
|-----------------------------------|-------------------------|--------|---------|----------|-----------|------------|---------|----------|-----------|------------|------------|---------|----------|-----------|------------|
|                                   | $(B_0//a)$              |        |         |          |           | $(B_0//b)$ |         |          |           |            | $(B_0//c)$ |         |          |           |            |
|                                   | 50 Hz                   | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz  | 1 kHz    | 10 kHz    | 100 kHz    | 50 Hz      | 100 Hz  | 1 kHz    | 10 kHz    | 100 kHz    |
| Ortalama erkek                    | 24.579                  | 49.159 | 491.590 | 4915.907 | 49159.075 | 30.406     | 60.812  | 608.123  | 6081.238  | 60812.385  | 58.362     | 116.724 | 1167.249 | 11672.493 | 116724.333 |
| Ortalama kadın                    | 23.685                  | 47.370 | 473.701 | 4737.017 | 47370.175 | 28.227     | 56.455  | 564.555  | 5645.555  | 56455.550  | 59.178     | 118.357 | 1183.579 | 11835.794 | 118357.942 |
| Ortalama endomorfik (şişman) adam | 33.998                  | 67.997 | 679.970 | 6799.706 | 67997.061 | 51.485     | 102.971 | 1029.713 | 10297.134 | 102971.340 | 66.348     | 132.696 | 1326.968 | 13269.685 | 132696.852 |
| Ortalama endomorfik (zayıf) adam  | 20.106                  | 40.212 | 402.123 | 4021.238 | 40212.385 | 24.926     | 49.853  | 498.534  | 4985.347  | 49853.470  | 48.656     | 97.313  | 973.139  | 9731.397  | 97313.974  |
| Küçük kadın                       | 20.810                  | 41.620 | 416.201 | 4162.014 | 41620.147 | 24.527     | 49.054  | 490.547  | 4905.471  | 49054.713  | 53.265     | 106.530 | 1065.306 | 10653.068 | 106530.687 |
| Büyük kadın                       | 27.954                  | 55.909 | 559.095 | 5590.953 | 55909.537 | 35.202     | 70.405  | 704.054  | 7040.543  | 70405.433  | 63.614     | 127.228 | 1272.283 | 12722.837 | 127228.373 |
| 10 yaşında çocuk                  | 18.885                  | 37.771 | 377.711 | 3777.114 | 37771.148 | 24.195     | 48.390  | 483.904  | 4839.047  | 48390.471  | 43.074     | 86.149  | 861.493  | 8614.934  | 86149.344  |
| 5 yaşında çocuk                   | 16.290                  | 32.581 | 325.816 | 3258.166 | 32581.665 | 21.352     | 42.705  | 427.056  | 4270.563  | 42705.631  | 36.044     | 72.088  | 720.880  | 7208.805  | 72088.057  |
| 1 yaşında çocuk                   | 14.125                  | 28.251 | 282.510 | 2825.108 | 28251.068 | 20.664     | 41.329  | 413.296  | 4132.968  | 41329.688  | 27.999     | 55.998  | 559.986  | 5599.860  | 55998.606  |



**Çizelge 4.3.** Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum akım yoğunluğu

| Model                             | Jmax ( $\mu A/m^2$ ) |        |         |          |           |            |        |         |          |           |            |        |         |          |           |
|-----------------------------------|----------------------|--------|---------|----------|-----------|------------|--------|---------|----------|-----------|------------|--------|---------|----------|-----------|
|                                   | $(B_0//a)$           |        |         |          |           | $(B_0//b)$ |        |         |          |           | $(B_0//c)$ |        |         |          |           |
|                                   | 50 Hz                | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   |
| Ortalama erkek                    | 2.457                | 7.373  | 73.738  | 983.181  | 14747.722 | 3.040      | 9.121  | 91.218  | 1216.247 | 18243.715 | 5.836      | 17.508 | 175.087 | 2334.498 | 35017.480 |
| Ortalama kadın                    | 2.368                | 7.105  | 71.055  | 947.403  | 14211.052 | 2.822      | 8.468  | 84.683  | 1129.111 | 16936.665 | 5.917      | 17.753 | 177.536 | 2367.158 | 35507.382 |
| Ortalama endomorfik (şişman) adam | 3.399                | 10.199 | 101.995 | 1359.941 | 20399.118 | 5.148      | 15.445 | 154.457 | 2059.426 | 30891.402 | 6.634      | 19.904 | 199.045 | 2653.937 | 39809.055 |
| Ortalama endomorfik (zayıf) adam  | 2.010                | 6.031  | 60.318  | 804.247  | 12063.710 | 2.492      | 7.478  | 74.780  | 997.069  | 14956.041 | 4.865      | 14.597 | 145.970 | 1946.279 | 29194.192 |
| Küçük kadın                       | 2.081                | 6.243  | 62.430  | 832.402  | 12486.044 | 2.452      | 7.358  | 73.582  | 981.094  | 14716.414 | 5.326      | 15.979 | 159.796 | 2130.613 | 31959.206 |
| Büyük kadın                       | 2.795                | 8.386  | 83.864  | 1118.190 | 16772.861 | 3.520      | 10.560 | 105.608 | 1408.108 | 21121.629 | 6.361      | 19.084 | 190.842 | 2544.567 | 38168.511 |
| 10 yaşında çocuk                  | 1.888                | 5.665  | 56.656  | 755.422  | 11331.344 | 2.419      | 7.258  | 72.585  | 967.809  | 14517.141 | 4.307      | 12.922 | 129.224 | 1722.986 | 25844.803 |
| 5 yaşında çocuk                   | 1.629                | 4.887  | 48.872  | 651.633  | 9774.499  | 2.135      | 6.405  | 64.058  | 854.112  | 12811.689 | 3.604      | 10.813 | 108.132 | 1441.761 | 21626.417 |
| 1 yaşında çocuk                   | 1.412                | 4.237  | 42.376  | 565.021  | 8475.325  | 2.066      | 6.199  | 61.994  | 826.593  | 12398.906 | 2.799      | 8.399  | 83.997  | 1119.972 | 16799.581 |

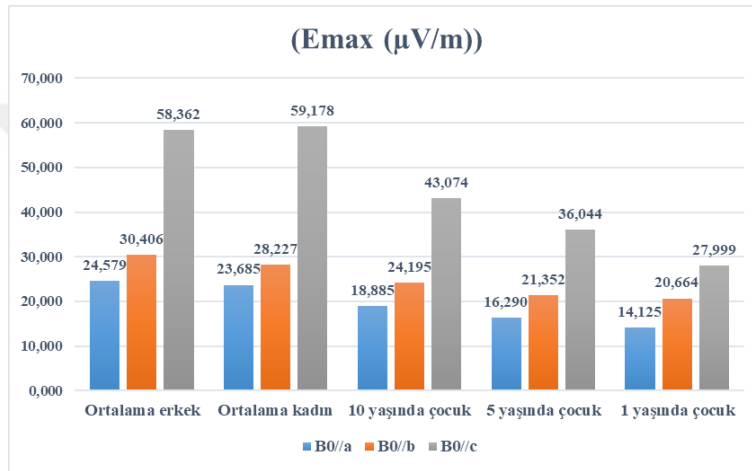
**Çizelge 4.4.** Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen elektrik alanının etkin değeri

| Model                             | Erms ( $\mu V/m$ ) |        |         |          |           |            |        |         |          |           |            |        |         |          |           |
|-----------------------------------|--------------------|--------|---------|----------|-----------|------------|--------|---------|----------|-----------|------------|--------|---------|----------|-----------|
|                                   | $(B_0//a)$         |        |         |          |           | $(B_0//b)$ |        |         |          |           | $(B_0//c)$ |        |         |          |           |
|                                   | 50 Hz              | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   |
| Ortalama erkek                    | 12.302             | 24.604 | 246.047 | 2460.479 | 24604.799 | 13.683     | 27.366 | 273.661 | 2736.616 | 27366.168 | 26.740     | 53.481 | 534.815 | 5348.155 | 53481.558 |
| Ortalama kadın                    | 11.637             | 23.274 | 232.743 | 2327.438 | 23274.380 | 12.704     | 25.408 | 254.084 | 2540.849 | 25408.495 | 27.270     | 54.540 | 545.404 | 5454.043 | 54540.439 |
| Ortalama endomorfik (şişman) adam | 19.056             | 38.113 | 381.131 | 3811.311 | 38113.116 | 23.450     | 46.901 | 469.015 | 4690.159 | 46901.591 | 30.626     | 61.252 | 612.528 | 6125.287 | 61252.878 |
| Ortalama endomorfik (zayıf) adam  | 10.053             | 20.106 | 201.061 | 2010.619 | 20106.192 | 11.193     | 22.387 | 223.870 | 2238.708 | 22387.088 | 22.116     | 44.233 | 442.336 | 4423.362 | 44233.624 |
| Küçük kadın                       | 10.163             | 20.326 | 203.268 | 2032.685 | 20326.859 | 11.033     | 22.067 | 220.677 | 2206.779 | 22067.790 | 24.544     | 49.088 | 490.883 | 4908.836 | 49088.363 |
| Büyük kadın                       | 14.150             | 28.300 | 283.009 | 2830.090 | 28300.904 | 15.879     | 31.758 | 317.585 | 3175.853 | 31758.533 | 29.314     | 58.629 | 586.294 | 5862.949 | 58629.494 |
| 10 yaşında çocuk                  | 9.620              | 19.241 | 192.412 | 1924.120 | 19241.207 | 10.889     | 21.778 | 217.787 | 2177.871 | 21778.710 | 19.672     | 39.345 | 393.458 | 3934.585 | 39345.850 |
| 5 yaşında çocuk                   | 8.404              | 16.808 | 168.080 | 1680.800 | 16808.003 | 9.621      | 19.242 | 192.429 | 1924.296 | 19242.967 | 16.485     | 32.970 | 329.706 | 3297.062 | 32970.627 |
| 1 yaşında çocuk                   | 7.768              | 15.537 | 155.373 | 1553.735 | 15537.350 | 9.396      | 18.792 | 187.927 | 1879.275 | 18792.755 | 12.927     | 25.855 | 258.556 | 2585.564 | 25855.643 |

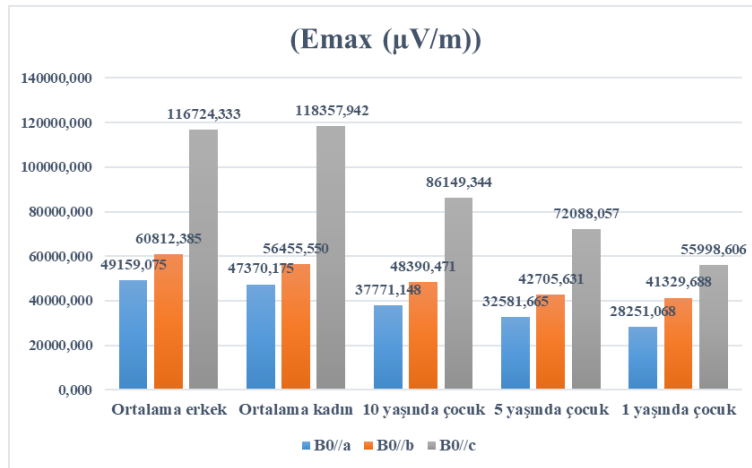
**Çizelge 4.5.** Gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1  $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen akım yoğunluğunun etkin değeri

| Model                             | $J_{rms} (\mu A/m^2)$ |        |        |         |           |            |        |        |         |           |            |        |        |          |           |
|-----------------------------------|-----------------------|--------|--------|---------|-----------|------------|--------|--------|---------|-----------|------------|--------|--------|----------|-----------|
|                                   | $(B_0//a)$            |        |        |         |           | $(B_0//b)$ |        |        |         |           | $(B_0//c)$ |        |        |          |           |
|                                   | 50 Hz                 | 100 Hz | 1 kHz  | 10 kHz  | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz | 1 kHz  | 10 kHz  | 100 kHz   | 50 Hz      | 100 Hz | 1 kHz  | 10 kHz   | 100 kHz   |
| Ortalama erkek                    | 1.2302                | 3.690  | 36.907 | 492.095 | 7381.439  | 1.3683     | 4.104  | 41.049 | 547.323 | 8209.850  | 2.674      | 8.022  | 80.222 | 1069.631 | 16044.467 |
| Ortalama kadın                    | 1.1637                | 3.491  | 34.911 | 465.487 | 6982.314  | 1.2704     | 3.811  | 38.112 | 508.169 | 7622.548  | 2.727      | 8.181  | 81.810 | 1090.808 | 16362.131 |
| Ortalama endomorfik (şişman) adam | 1.9056                | 5.716  | 57.169 | 762.262 | 11433.935 | 2.345      | 7.0352 | 70.352 | 938.031 | 14070.477 | 3.0626     | 9.187  | 91.879 | 1225.057 | 18375.863 |
| Ortalama endomorfik (zayıf) adam  | 1.0053                | 3.015  | 30.159 | 402.123 | 6031.857  | 1.1193     | 3.358  | 33.580 | 447.741 | 6716.126  | 2.2116     | 6.635  | 66.350 | 884.672  | 13270.087 |
| Küçük kadın                       | 1.0163                | 3.049  | 30.490 | 406.537 | 6098.057  | 1.1033     | 3.310  | 33.101 | 441.355 | 6620.337  | 2.4544     | 7.363  | 73.632 | 981.767  | 14726.508 |
| Büyük kadın                       | 1.415                 | 4.245  | 42.451 | 566.018 | 8490.241  | 1.5879     | 4.763  | 47.637 | 635.170 | 9527.560  | 2.9314     | 8.794  | 87.944 | 1172.589 | 17588.848 |
| 10 yaşında çocuk                  | 0.962                 | 2.886  | 28.861 | 384.824 | 5772.362  | 1.0889     | 3.266  | 32.668 | 435.574 | 6533.613  | 1.9672     | 5.901  | 59.018 | 786.917  | 11803.755 |
| 5 yaşında çocuk                   | 0.8404                | 2.521  | 25.212 | 336.160 | 5042.400  | 0.9621     | 2.886  | 28.864 | 384.859 | 5772.890  | 1.6485     | 4.945  | 49.455 | 659.412  | 9891.188  |
| 1 yaşında çocuk                   | 0.7768                | 2.330  | 23.306 | 310.747 | 4661.205  | 0.9396     | 2.818  | 28.189 | 375.855 | 5637.826  | 1.2927     | 3.878  | 38.783 | 517.112  | 7756.692  |

Sonuçlar, dış manyetik alanın yönüne, vücudun boyutuna ve frekans büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir. Dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak ( $B_0//a$ , yani modelin uzun eksenine paralel olarak) uygulandığında, vücuda indüklenen alan diğer alan-vücut konfigürasyonlarından ( $B_0//b$  ve  $B_0//c$ ) daha azdır. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanır. Sonuç olarak, indüklenen alan gücü, vücudun şekli ve boyutuna, maruz kalma sıklığına, vücudun alana göre yönelimine ve frekans büyüklüğüne göre değişebilir. Frekansın harmonik bileşenlerinin analizinde elde edilen verilerin doğru orantılı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. 50 Hz ve 100 kHz frekans için örnek alınan gövde modellerinde indüklenen elektrik alanı ve akım yoğunluğunu Şekil 4.1 ile Şekil 4.2 özetlemektedir. Gövdenin boyutu ve şekli, frekans değeri ile manyetik alanın yönü indüklenen elektrik alan ve akım tahmini için ana parametrelerdir.



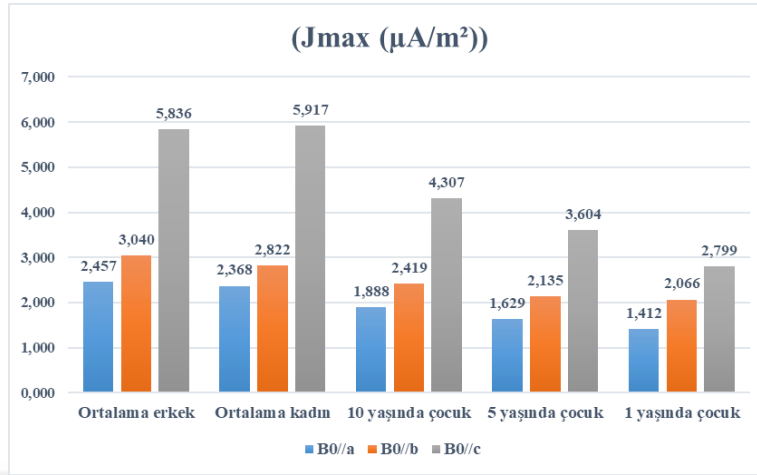
(a)



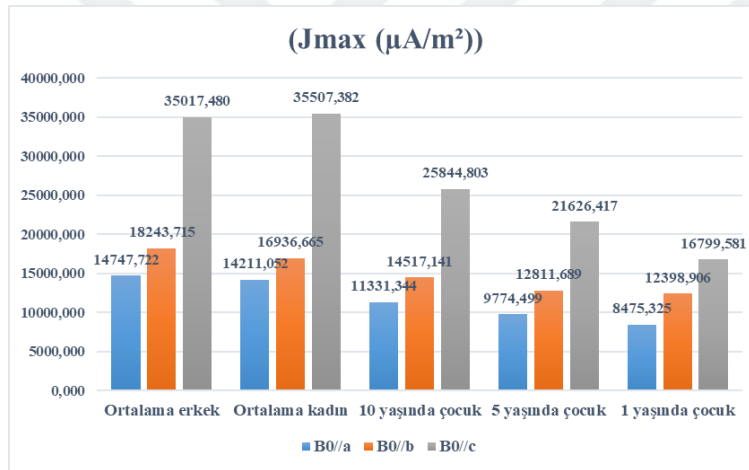
(b)

**Şekil 4.1. a)** 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının maksimum değerlerinin ( $E_{max}$  ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları; **b)** 100 kHz frekans için farklı

gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının maksimum değerlerinin ( $E_{max}$  ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları



(a)



(b)

**Şekil 4.2. a)** 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$  ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları; **b)** 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$  ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları

1  $\mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alanının etkisiyle indüklenen elektrik alanı ve akım yoğunluğu analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda ICNIRP'nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür.

Ölçüm yapılan saç kurutma makinesi, elektrikli süpürge, elektrikli fırın gibi elektrikli cihazlardan vücuda göre en kötü durum baz alınıp (3cm uzaklığındaki ölçüm ve ( $B_0//c$ ) manyetik alan) 1  $\mu T$ 'ye normalize edilerek hesaplanan indüklenen elektrik alan ve manyetik akım yoğunluğunun maksimum değeri hesaplarını kullanarak gerçek  $E_{max}$  ve  $J_{max}$  değerleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de verilmiştir.

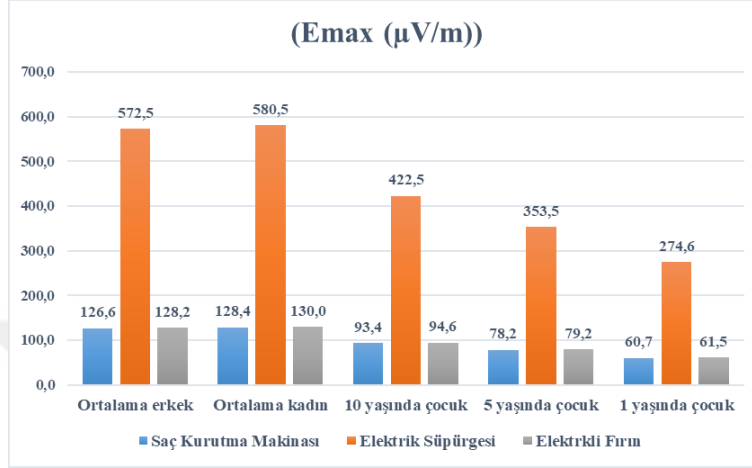
**Çizelge 4.6.** Gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen elektrik alanın maksimum değeri

| Model            | Saç Kurutma Makinası<br>( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) |        |        |         |          | Elektrik Süpürgesi<br>( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) |        |         |          |           | Elektrikli Fırın<br>( $E_{max}$ ( $\mu V/m$ )) |        |        |         |          |
|------------------|----------------------------------------------------|--------|--------|---------|----------|--------------------------------------------------|--------|---------|----------|-----------|------------------------------------------------|--------|--------|---------|----------|
|                  | 50 Hz                                              | 100 Hz | 1 kHz  | 10 kHz  | 100 kHz  | 50 Hz                                            | 100 Hz | 1 kHz   | 10 kHz   | 100 kHz   | 50 Hz                                          | 100 Hz | 1 kHz  | 10 kHz  | 100 kHz  |
| Ortalama erkek   | 126.6                                              | 253.2  | 2532.9 | 25329.3 | 253291.8 | 572.5                                            | 1145.0 | 11450.6 | 114506.2 | 1145062.4 | 128.2                                          | 256.5  | 2565.5 | 25655.9 | 256559.3 |
| Ortalama kadın   | 128.4                                              | 256.8  | 2568.3 | 25683.4 | 256834.6 | 580.5                                            | 1161.0 | 11670.7 | 116707.2 | 1167072.3 | 130.0                                          | 260.1  | 2601.4 | 26014.6 | 260146.4 |
| 10 yaşında çocuk | 93.4                                               | 186.9  | 1869.4 | 18694.1 | 186941.1 | 422.5                                            | 845.1  | 8451.1  | 84511.1  | 845111.8  | 94.6                                           | 189.3  | 1893.5 | 18935.3 | 189353.3 |
| 5 yaşında çocuk  | 78.2                                               | 156.4  | 1564.3 | 15643.0 | 156430.9 | 353.5                                            | 707.1  | 7071.8  | 70718.3  | 707183.2  | 79.2                                           | 158.4  | 1584.4 | 15844.9 | 158449.4 |
| 1 yaşında çocuk  | 60.7                                               | 121.5  | 1215.1 | 12151.5 | 121515.6 | 274.6                                            | 549.3  | 5493.4  | 54934.0  | 549340.3  | 61.5                                           | 123.0  | 1230.8 | 12308.3 | 123083.6 |

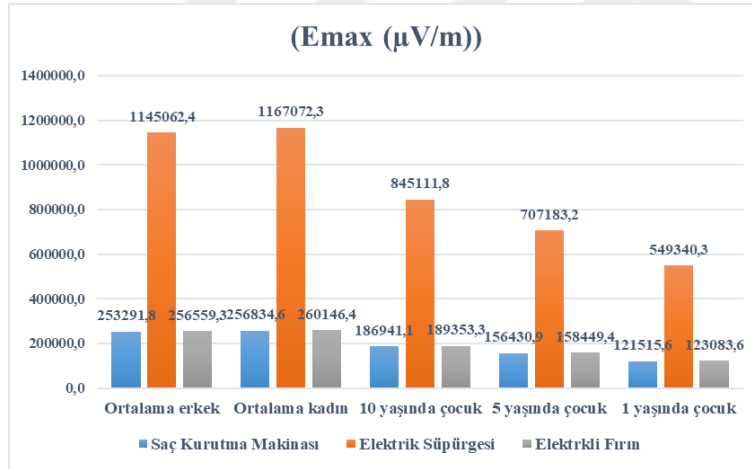
**Çizelge 4.7.** Gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değeri

| Model            | Saç Kurutma Makinası<br>( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) |        |       |        |         | Elektrik Süpürgesi<br>( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) |        |        |         |          | Elektrikli Fırın<br>( $J_{max}$ ( $\mu A/m^2$ )) |        |       |        |         |
|------------------|------------------------------------------------------|--------|-------|--------|---------|----------------------------------------------------|--------|--------|---------|----------|--------------------------------------------------|--------|-------|--------|---------|
|                  | 50 Hz                                                | 100 Hz | 1 kHz | 10 kHz | 100 kHz | 50 Hz                                              | 100 Hz | 1 kHz  | 10 kHz  | 100 kHz  | 50 Hz                                            | 100 Hz | 1 kHz | 10 kHz | 100 kHz |
| Ortalama erkek   | 12.6                                                 | 37.9   | 379.9 | 5065.8 | 75987.9 | 57.2                                               | 171.7  | 1717.5 | 22901.4 | 343521.4 | 12.8                                             | 38.4   | 384.8 | 5131.2 | 76968.4 |
| Ortalama kadın   | 12.8                                                 | 38.5   | 385.2 | 5136.7 | 77051.0 | 58.0                                               | 174.1  | 1741.5 | 23221.8 | 348327.4 | 13.0                                             | 39.0   | 390.2 | 5203.0 | 78045.2 |
| 10 yaşında çocuk | 9.3                                                  | 28.0   | 280.4 | 3738.8 | 56083.2 | 42.2                                               | 126.7  | 1267.6 | 16902.4 | 253537.5 | 9.4                                              | 28.4   | 284.0 | 3787.1 | 56806.8 |
| 5 yaşında çocuk  | 7.8                                                  | 23.4   | 234.6 | 3128.6 | 46929.3 | 35.3                                               | 106.0  | 1060.7 | 14143.6 | 212155.1 | 7.9                                              | 23.7   | 237.6 | 3168.9 | 47534.8 |
| 1 yaşında çocuk  | 6.0                                                  | 18.2   | 182.2 | 2430.3 | 36455.0 | 27.4                                               | 82.3   | 823.9  | 10986.4 | 164803.8 | 6.1                                              | 18.4   | 184.6 | 2461.6 | 36925.4 |

Hesaplanan gerçek sonuçlara göre, örneğin bir hamile kadının elektrikli fırına 3 cm uzaklıkta bulunduğunda veya elektrikli süpürge kullanımı sırasında maruz kaldığı manyetik alandan dolayı vücudunda indüklenen elektrik alan ve akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin sonuçlarına ulaşılmıştır. 50 Hz ve 100 kHz frekans için örnek alınan gövde modellerinde gerçek indüklenen elektrik alanı ve akım yoğunluğunu Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 özetlemektedir.

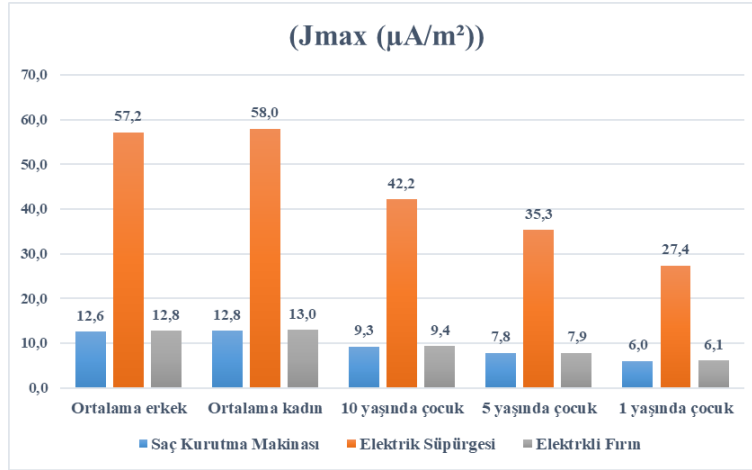


(a)

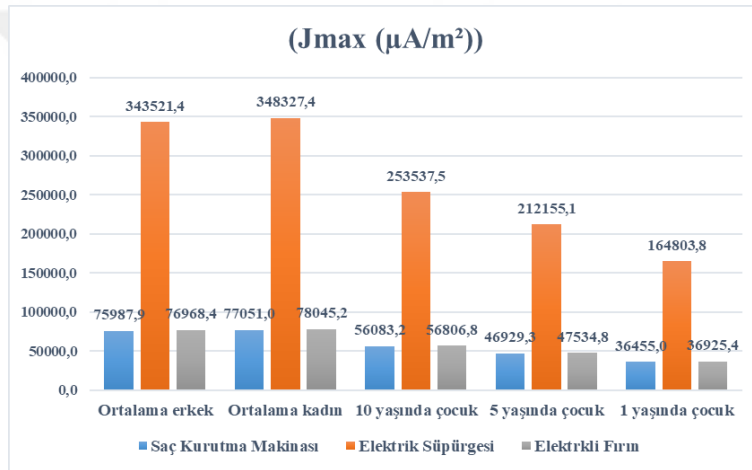


(b)

**Şekil 4.3. a)** 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen elektrik alanın maksimum değerinin ( $E_{max}$  ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları; **b)** 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen elektrik alanın maksimum değerinin ( $E_{max}$  ( $\mu V/m$ )) analitik sonuçları



(a)



(b)

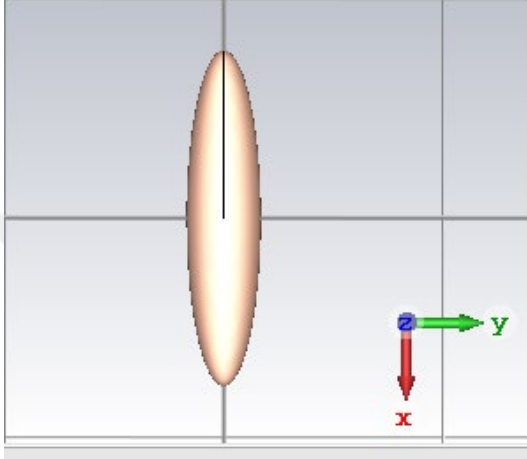
**Şekil 4.4. a)** 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$  ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları; **b)** 100 kHz frekans için farklı gövde modellerinde gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) manyetik alan tarafından çeşitli elektrik aletlerden indüklenen akım yoğunluğunun maksimum değerlerinin ( $J_{max}$  ( $\mu A/m^2$ )) analitik sonuçları

Hesaplanan verilerden üç duruma göre ( $(B_0//a)$ ,  $(B_0//b)$  ve  $(B_0//c)$ ) dış manyetik alan gövdenin önüne dik olduğunda ( $B_0//c$ ) maksimum  $E_{max}$  ve  $J_{max}$  değerleri elde edildiği saptanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre harmonik frekanslarla birlikte en kötü durum baz alınarak hesaplanan gerçek elektrik alan ile manyetik akımın maksimum değerlerinin analitik sonuçları karşılaştırılması sonucunda ICNIRP'nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür.



#### 4.2.2. SEY tabanlı nümerik çözümler

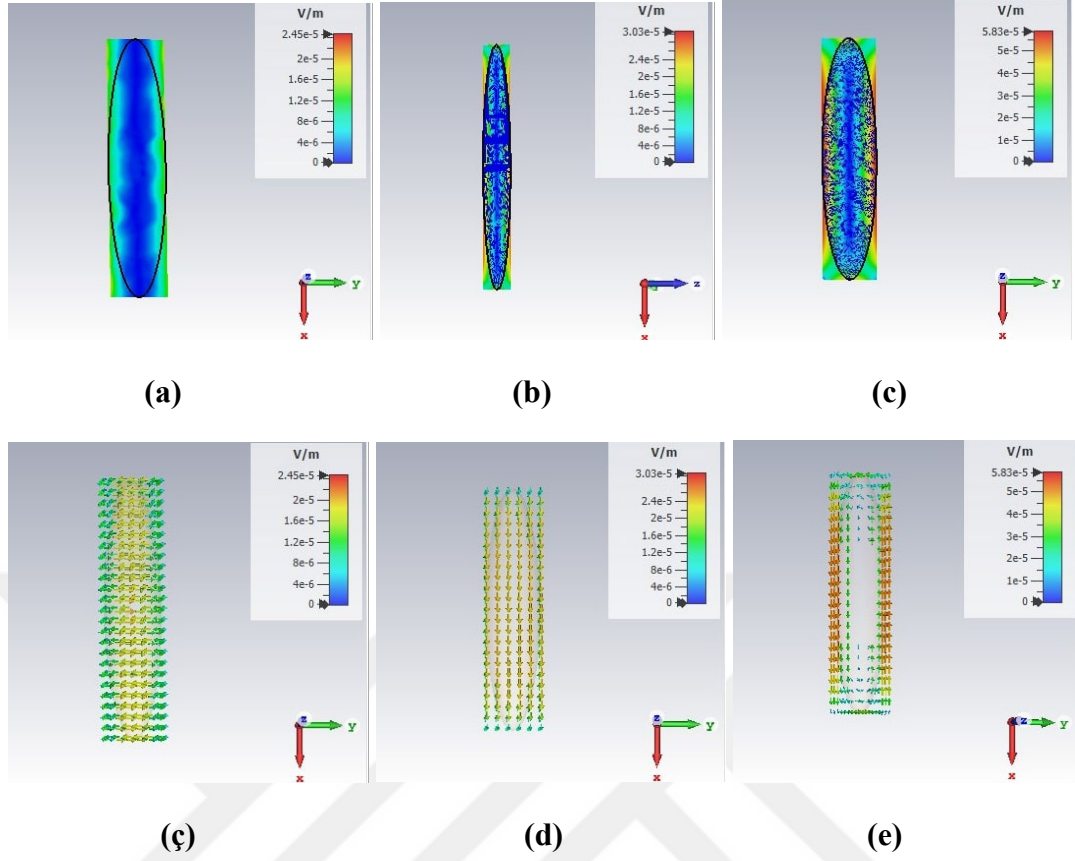
CST Studio Suite programında Düşük Frekans Alanı Çözücü ile  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alanın etkisiyle Çizelge 3.2'de verilen parametrelere göre tasarlanan elipsoid modelde indüklenen elektrik alanının maksimum değerleri elde edilmiştir. Düşük Frekans Alanı Çözücü ile modelleme düşük frekanslı sistemlerde zaman harmonik davranışını tahmin etmek için bir 3D çözücü ve manyeto-yaristatik (MQS), elektro-yaristatik (EQS) ve tam dalga uygulamalarını içerir. Şekil 4.5'te benzetim programında modellenen homojen elipsoid şekil gösterilmiştir.



**Şekil 4.5.** Homojen elipsoid model genel görünümü

Düşük Frekans bölgesi olan 50 Hz frekansında  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alanlara maruz kalındığında vücutta indüklenen maksimum elektrik alan seviyesi SEY tabanlı nümerik yöntem ile elde edilmiştir. Çizelge 3.2'de verilen elipsoidal model parametreleri CST Studio Suite programında modellenmiş ve benzetim sonuçları eksenlerinin her biri için  $((B_0//a), (B_0//b)$  ve  $(B_0//c))$  ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.6 , Şekil 4.7 , Şekil 4.8 , Şekil 4.9 , Şekil 4.10 , Şekil 4.11 , Şekil 4.12 , Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir.

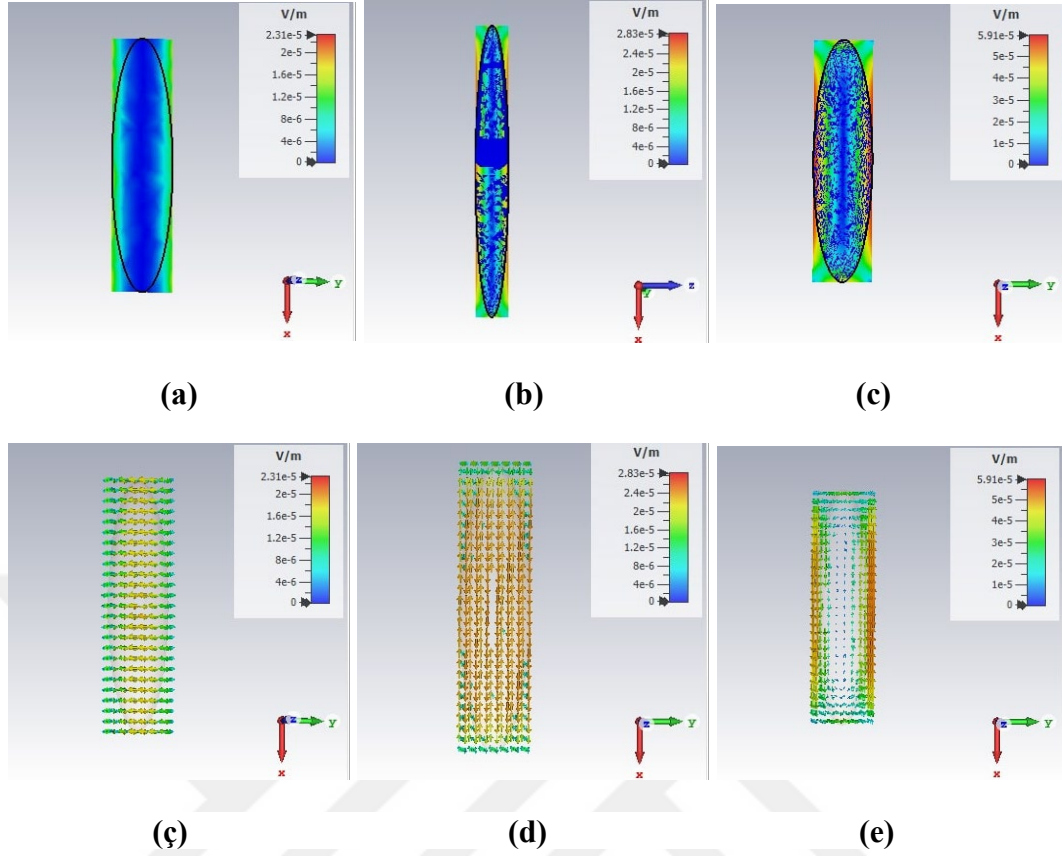


**Şekil 4.6.** a) Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//a$ ) eksenini renkli gösterimi; b) Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//b$ ) eksenini renkli gösterimi; c) Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//c$ ) eksenini renkli gösterimi; d) Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//a$ ) eksenini yönlü gösterimi; e) Homojen elipsoid erkek modelin ( $B_0//c$ ) eksenini yönlü gösterimi

Homojen erkek modele (0.875, 0.195, 0.098) 1  $\mu\text{T}$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında 24.5  $\mu\text{T}$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında 30.5  $\mu\text{T}$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında 58.3  $\mu\text{T}$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1  $\mu\text{T}$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.

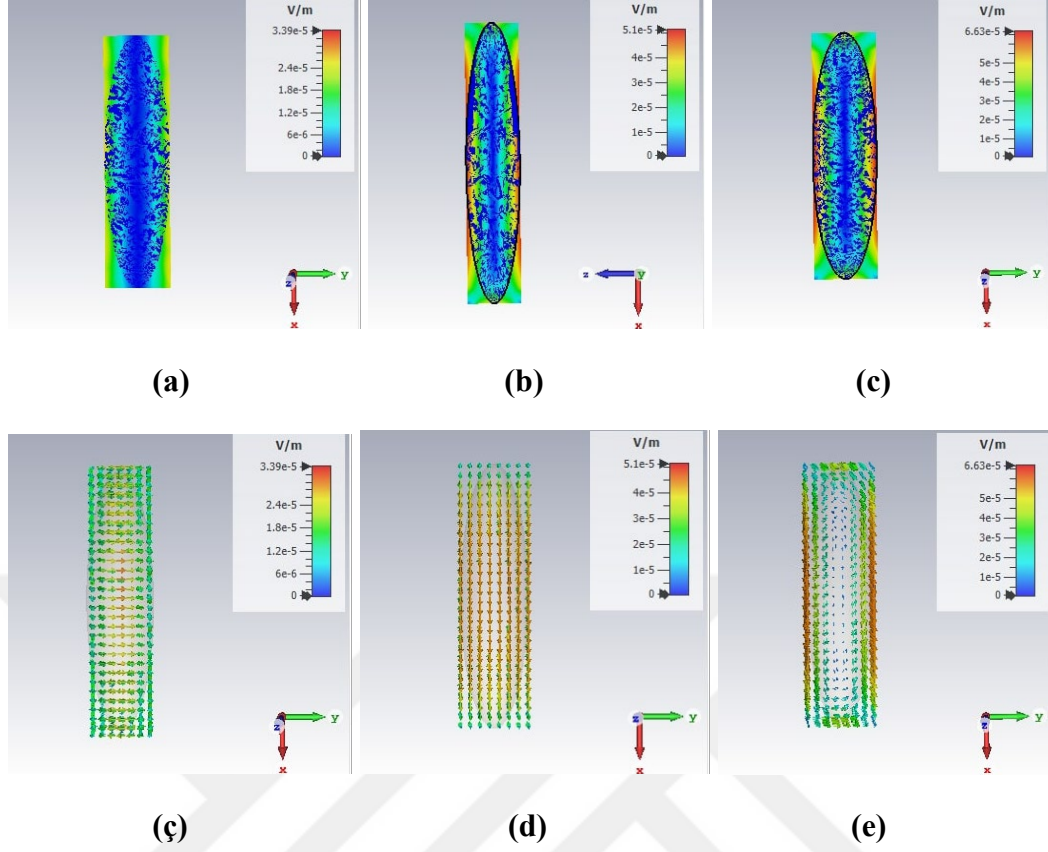


**Şekil 4.7.** a) Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; b) Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; c) Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; d) Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; e) Homojen elipsoid kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen kadın modele (0.805, 0.2, 0.091)  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında 23.1  $\mu T$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında 28.3  $\mu T$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında 59.1  $\mu T$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.

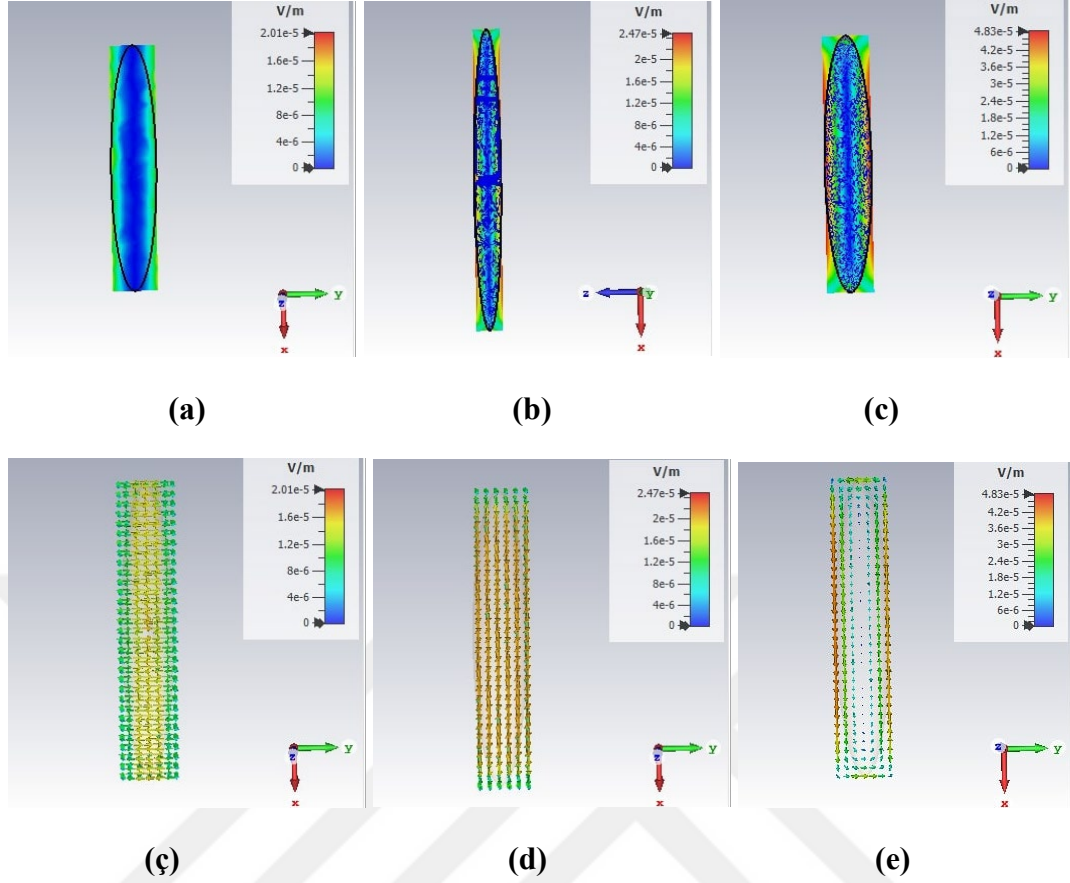


**Şekil 4.8. a)** Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; **b)** Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; **c)** Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; **ç)** Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; **d)** Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; **e)** Homojen elipsoid şişman adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen şişman adam modele (0.88, 0.225, 0.17)  $1 \mu\text{T}$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $33.9 \mu\text{T}$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $51.0 \mu\text{T}$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $66.3 \mu\text{T}$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu\text{T}$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.



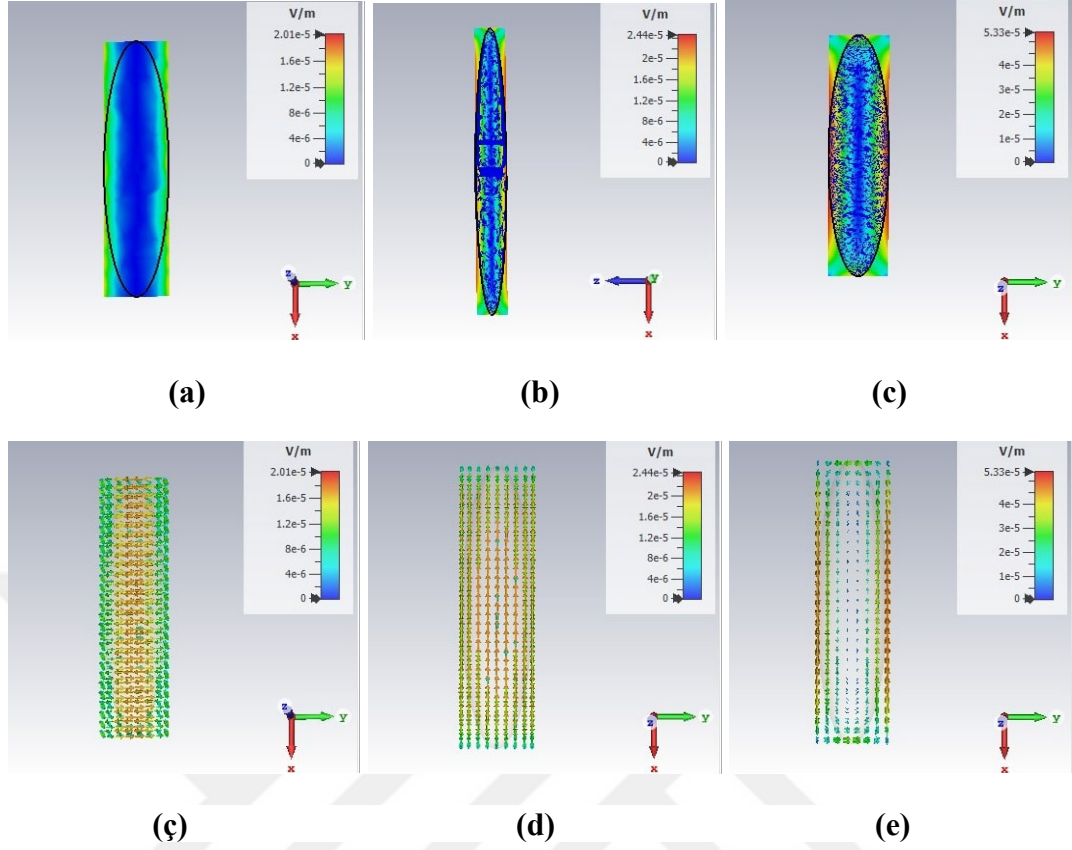
**Şekil 4.9. a)** Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; **b)** Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; **c)** Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; **ç)** Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; **d)** Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; **e)** Homojen elipsoid zayıf adam modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen zayıf adam modele (0.88, 0.16, 0.08)  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $20.1 \mu T$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $24.7 \mu T$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $48.3 \mu T$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.



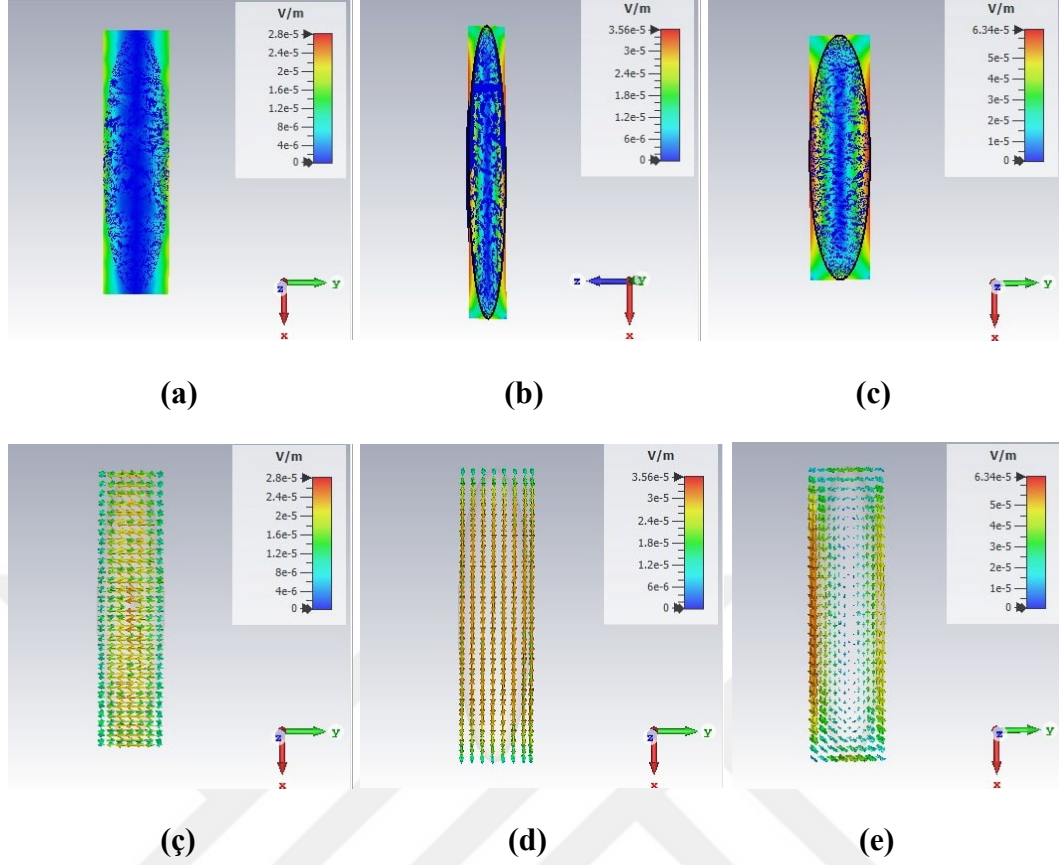


**Şekil 4.10.** a) Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; b) Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; c) Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; ç) Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; d) Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; e) Homojen elipsoid küçük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen küçük kadın modele (0.725, 0.18, 0.079)  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $20.1 \mu T$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $24.4 \mu T$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $53.3 \mu T$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen harici manyetik alan tarafından indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.

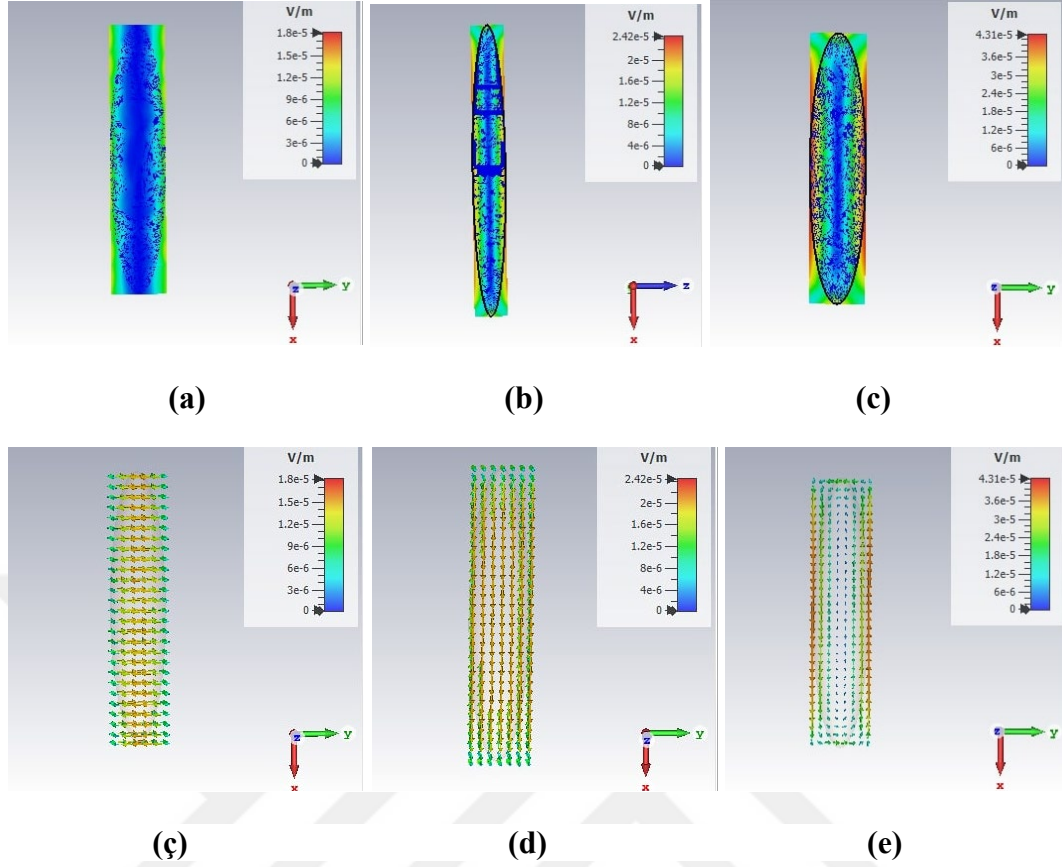


**Şekil 4.11. a)** Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; **b)** Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; **c)** Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; **ç)** Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; **d)** Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; **e)** Homojen elipsoid büyük kadın modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen büyük kadın modele (0.865, 0.215, 0.114)  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $28.0 \mu T$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $35.6 \mu T$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $63.4 \mu T$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.



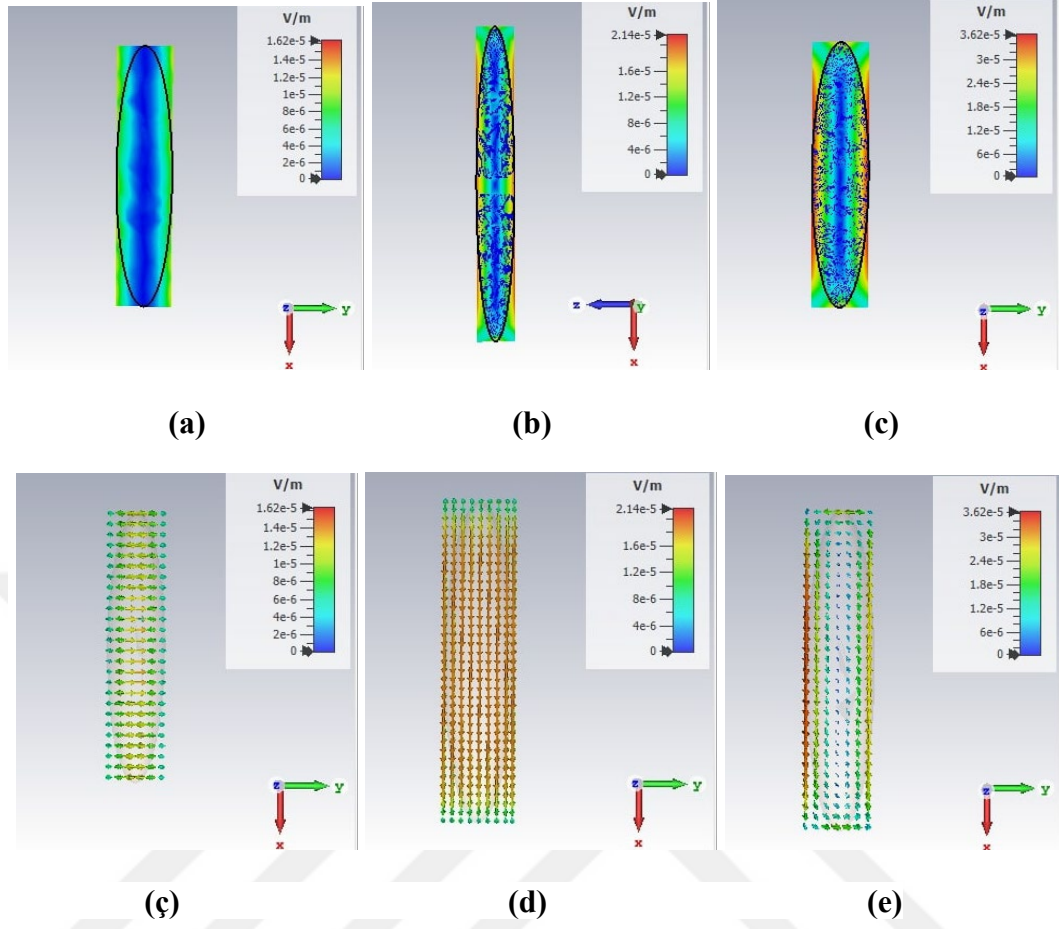
**Şekil 4.12. a)** Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; **b)** Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; **c)** Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; **ç)** Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; **d)** Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; **e)** Homojen elipsoid 10 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen 10 yaş çocuk modele (0.69, 0.143, 0.078)  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $18.0 \mu T$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $24.2 \mu T$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $43.1 \mu T$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.



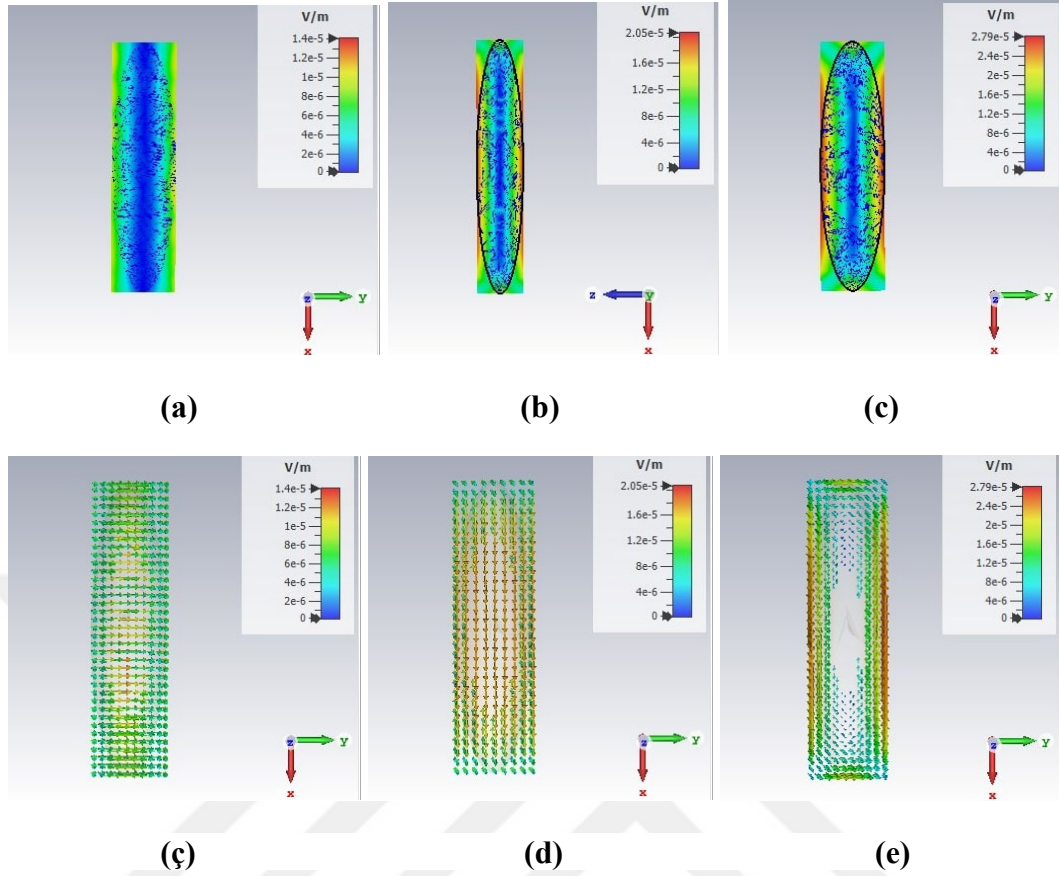


**Şekil 4.13. a)** Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenli renkli gösterimi; **b)** Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenli renkli gösterimi; **c)** Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenli renkli gösterimi; **ç)** Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenli yönlü gösterimi; **d)** Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenli yönlü gösterimi; **e)** Homojen elipsoid 5 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenli yönlü gösterimi

Homojen 5 yaş çocuk modele (0.56, 0.12, 0.069)  $1 \mu\text{T}$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $16.2 \mu\text{T}$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $21.4 \mu\text{T}$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $36.2 \mu\text{T}$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu\text{T}$ 'ye normalize edilerek indüklenen harici manyetik alan tarafından indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.14.** a) Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini renkli gösterimi; b) Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini renkli gösterimi; c) Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini renkli gösterimi; ç) Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//a$ ) eksenini yönlü gösterimi; d) Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//b$ ) eksenini yönlü gösterimi; e) Homojen elipsoid 1 yaş çocuk modelin ( $B_0//c$ ) eksenini yönlü gösterimi

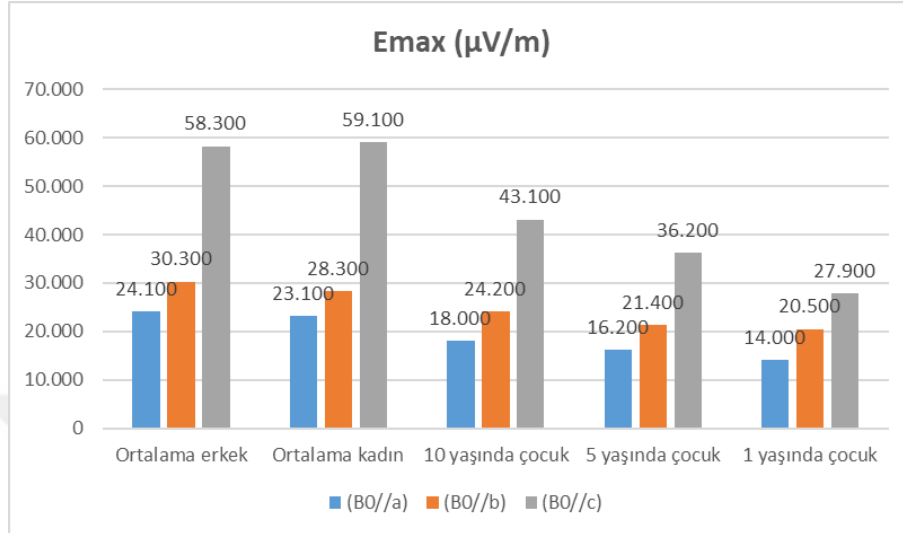
Homojen 1 yaş çocuk modele (0.37, 0.095, 0.068)  $1 \mu T$ 'ye normalize edilen dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak uygulandığında  $14.0 \mu T$ , modelin uzun eksenine dik uygulandığında  $20.5 \mu T$ , modelin vücudunun yan eksenine paralel olarak uygulandığında  $27.9 \mu T$  olarak elde edilmiştir. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanmaktadır.

Gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ )  $1 \mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen harici manyetik alan tarafından indüklenen maksimum elektrik alanı, elde edilen benzetim sonuçlarında da görüldüğü gibi vücudun yüzeyinde oluşmaktadır.

Benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.

50 Hz frekans için örnek alınan gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının SEY tabanlı tahminlerini Şekil 4.15 özetlemektedir. Gövdenin boyutu, şekli, manyetik alanın yönü ve frekans büyüklüğü indüklenen elektrik alan ve akım tahmini için ana

parametrelerdir. Dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak ( $B_0//a$ , yani modelin uzun eksenine ile hizalı) olarak uygulandığında, vücuda indüklenen alan diğer alan-vücut konfigürasyonlarından ( $B_0//b$  ve  $B_0//c$ ) daha azdır. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanır.



**Şekil 4.15.** 50 Hz frekans için farklı gövde modellerinde indüklenen elektrik alanının maksimum değerlerinin ( $E_{max}$  (µV/m)) SEY Tabanlı tahmin sonuçları

Çizelge 4.8’de benzetim sonuçları ile analitik sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** 50 Hz frekansında gövde modellerinde; gövdeye dik olan ( $B_0//a$ ), vücudun yan tarafına dik olan ( $B_0//b$ ) ve gövdenin önüne dik olan ( $B_0//c$ ) 1  $\mu T$ 'ye normalize edilerek indüklenen maksimum elektrik alanının analitik sonuçları ile SEY tabanlı nümerik sonuçları

| Model                             | E <sub>max</sub> ( $\mu V/m$ ) |                      |           |                   |                      |           |                   |                      |           |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------------|-----------|
|                                   | $(B_0//a)$                     |                      |           | $(B_0//b)$        |                      |           | $(B_0//c)$        |                      |           |
|                                   | Analitik Çözümler              | SEY Tabanlı Çözümler | Hata Payı | Analitik Çözümler | SEY Tabanlı Çözümler | Hata Payı | Analitik Çözümler | SEY Tabanlı Çözümler | Hata Payı |
| Ortalama erkek                    | 24.579                         | 24.5                 | %3.06     | 30.406            | 30.3                 | %0.34     | 58.362            | 58.3                 | %0.10     |
| Ortalama kadın                    | 23.685                         | 23.1                 | %2.46     | 28.227            | 28.3                 | %0.25     | 59.178            | 59.1                 | %0.13     |
| Ortalama endomorfik (şişman) adam | 33.998                         | 33.9                 | %0.28     | 51.485            | 51.0                 | %0.94     | 66.348            | 66.3                 | %0.07     |
| Ortalama endomorfik (zayıf) adam  | 20.106                         | 20.1                 | %0.02     | 24.926            | 24.7                 | %0.90     | 48.656            | 48.3                 | %0.73     |
| Küçük kadın                       | 20.810                         | 20.1                 | %3.41     | 24.527            | 24.4                 | %0.51     | 53.265            | 53.3                 | %0.06     |
| Büyük kadın                       | 27.954                         | 28.0                 | %0.16     | 35.202            | 35.6                 | %1.13     | 63.614            | 63.4                 | %0.33     |
| 10 yaşında çocuk                  | 18.885                         | 18.0                 | %4.68     | 24.195            | 24.2                 | %0.02     | 43.074            | 43.1                 | %0.06     |
| 5 yaşında çocuk                   | 16.290                         | 16.2                 | %0.55     | 21.352            | 21.4                 | %0.22     | 36.044            | 36.2                 | %0.43     |
| 1 yaşında çocuk                   | 14.125                         | 14.0                 | %0.88     | 20.664            | 20.5                 | %0.79     | 27.999            | 27.9                 | %0.35     |

Elde edilen benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir. İndüklenen maksimum elektrik alan değerlerinin ICNIRP'nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.3. Yüksek Frekans Bölgesinde Elde Edilen Sonuçlar

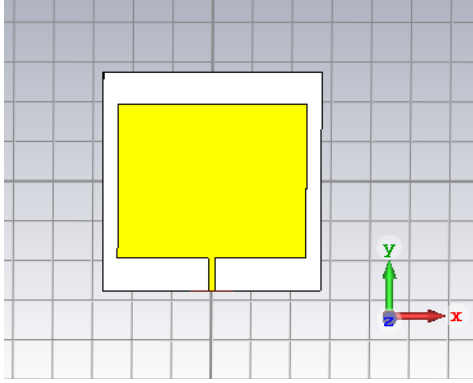
Telsiz haberleşmede kullanılan frekans aralığında biyolojik dokular, kayıplı dielektrik olarak değerlendirilebilir. Özgül soğurma oranı (SAR), biyolojik dokuların dielektrik özelliklerini ve indüklenen elektrik alanla ilgili bilgileri içerdiğinden, insan vücudundaki elektromanyetik alan etkileşimini ölçen değişkendir. Güvenlik yönetmelikleri de maruziyet sınır değerlerini SAR cinsinden verirler.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, biyolojik dokulardaki EM dalga benzetimlerini yapabilmek ve gerçekçi doku modelleri için CST Studio Suite programında mikroşerit anten modellemesi ile birlikte voksel ailesi kullanılmıştır. Cep Telefonlarındaki, wifideki ve mikrodalga fırındaki radyo frekansa maruz kalan çocuk, farklı yaşlardaki yetişkin ve hamile insanların 10 gr doku üzerinden SAR değerleri CST Studio Suite programı ile hesaplanmıştır.

Telefonu simgeleyen 900 MHz çalışma frekansına sahip patch antenin özgül soğurma oranını incelemek için CST Studio Suite programının datasında bulunan voksel ailesi üyeleri; bebek, çocuk, Donna, Emma, Gustav, Hugo Laura ve Katja'nın içe aktarma frekansı 900 MHz olarak seçilerek elde edilmiştir. Telefonu simgeleyen 1800 MHz çalışma frekansına sahip patch antenin özgül soğurma oranını incelemek için Austin vokselinin frekansı 1800 MHz, WiFi simgeleyen 2.4 GHz çalışma frekansına sahip patch antenin özgül soğurma oranını incelemek için Austin, çocuk ve Katja vokselinin frekansı 2.4 GHz ve mikrodalga fırını simgeleyen 2.45 GHz çalışma frekansına sahip patch antenin özgül soğurma oranı incelemek için çocuk ve Katja vokselinin içe aktarma frekansı ise 2.45 GHz olarak seçilerek elde edilmiştir.

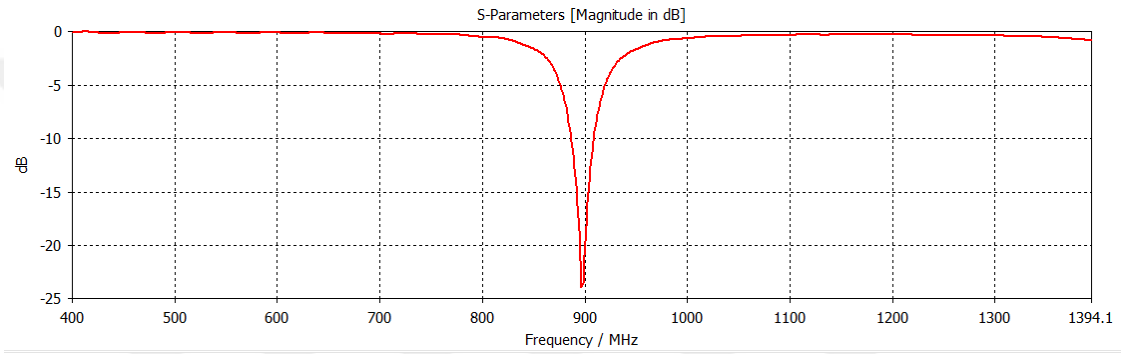
##### 4.3.1. SEY tabanlı 900 MHz frekansı SAR analizi

Cep telefonu, 900 MHz frekans bandında çalışan patch anten ile örneklendirilmiştir. Patch antenler, boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılıdır ve göreceli olarak büyüktürler. Patch antenin geometrisinde yamanın genişliği  $W=95$  mm, yamanın uzunluğu  $L=77.5$  mm, dielektrik malzemenin boyutları ise  $W_m=110$  mm ve  $L_m=110$  mm ile sürme gücü  $0.5$  W olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan patch antenin görüntüsü Şekil 4.16'da verilmiştir.



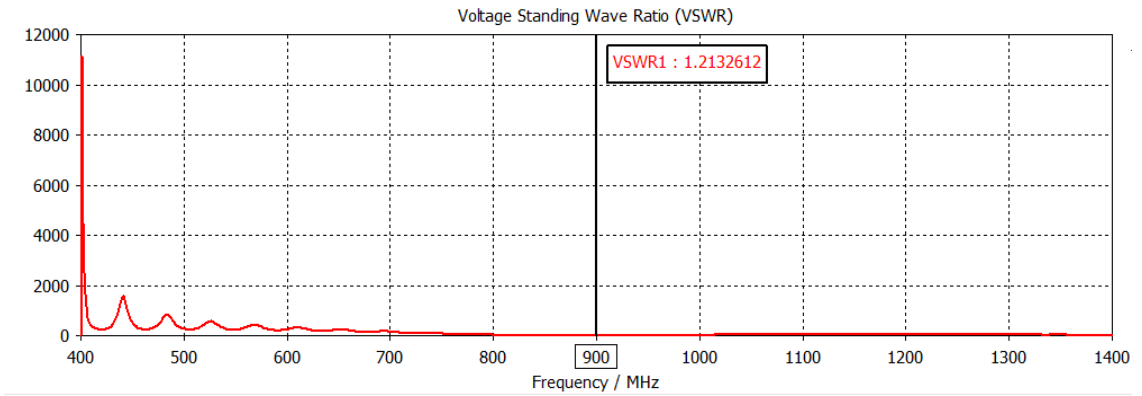
**Şekil 4.16.** Tasarlanan 900 MHz anten görünümü

Tasarlanan 900 MHz patch antenin S parametresi Şekil 4.17’de verilmiştir.

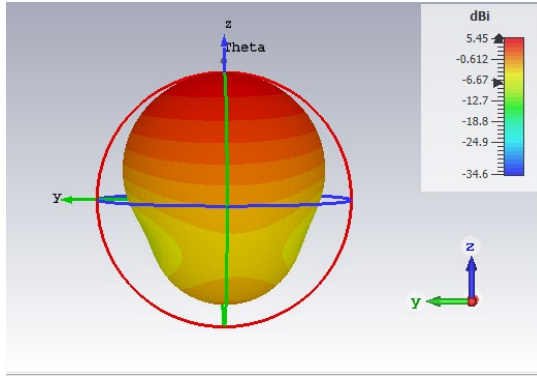


**Şekil 4.17.** Tasarlanan 900 MHz antenin S parametresi

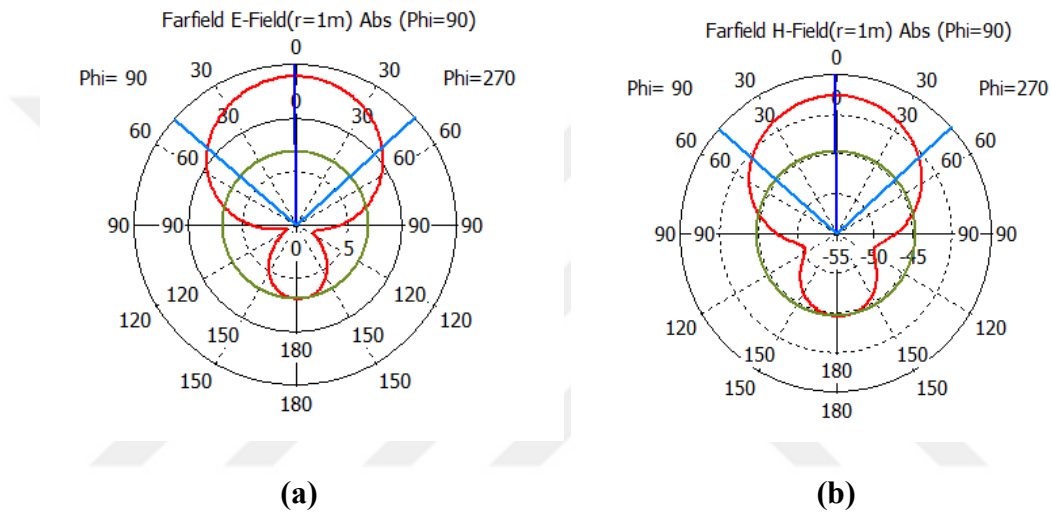
Tasarlanan 900 MHz patch antenin VSWR grafiği Şekil 4.18’de, 3 boyutlu yönlülüğü Şekil 4.19’da ve E-Düzlemi ile H-Düzlemi ise Şekil 4.20’de verilmiştir.



**Şekil 4.18.** Tasarlanan 900 MHz antenin VSWR grafiği



**Şekil 4.19.** Tasarlanan 900 MHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü

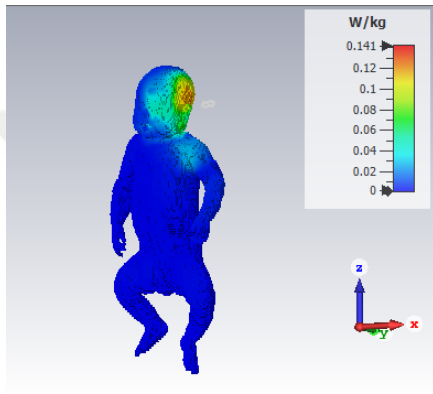


**Şekil 4.20. a)** Tasarlanan 900 MHz antenin E-Düzlemi; **b)** Tasarlanan 900 MHz antenin H-Düzlemi

900 MHz frekans bandında çalışan patch antenin cep telefonunu simgelediğini düşünebiliriz. Çalışmanın bu kısmında 900 MHz frekans bandında çalışan patch antenin farklı mesafelerde vücudun kafa, göz, göğüs gibi farklı bölgelerinde oluşturduğu özgül soğurma oranı (SAR) hesaplamaları elde edilmiştir. CST Studio Suite simülasyon programının datasında bulunan vokseller ailesi üyelerinden bebek, çocuk, Donna, Emma, Gustav, Hugo, Laura ve Katja'nın vücutlarında farklı bölgelerde farklı mesafelerde telefon modeli ile etkileşim ihtimali durumuna göre olası senaryolar üzerinde çalışmalar yapılmış, veriler elde edilmiştir. Günümüzde her yaş grubundan insanın telefon ile teması olduğu bir gerçektir. Telefonla farklı yaş ve cinsiyet gruplarının etkileşimleri olası senaryolar baz alınarak tahmin edilmiştir. Baş-göğüs kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.21'de görüldüğü gibi anten bebek modelinde kulağa 1 cm uzaklıkta konumlandığında, uzuvlar kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.24'te görüldüğü gibi anten çocuk modelinde ele 3 cm uzaklıkta konumlandırıldığında gözlemlenmiştir. En yüksek olan Şekil 4.21'deki SAR değeri 0.141 W/kg olarak, Şekil 4.24'teki SAR değeri ise 0.0755 W/kg olarak tahmin edilmiştir. ICNIRP'in baş-göğüs için belirlemiş olduğu SAR değeri 2 W/kg, uzuvlar için belirlemiş olduğu SAR değeri 4 W/kg olup, elde edilen sonuçlar ICNIRP'nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Bebek, çocuk ve hamile kadın modelleri diğer modellerden daha yüksek

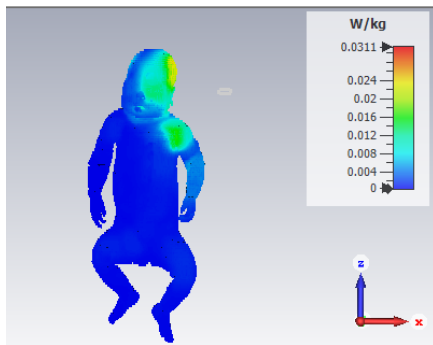
SAR değeri sunmuştur. Özgül soğurma oranlarının uzaklığa, organların elektriksel iletkenliğine ve antenin çalışma frekansına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan benzetimlerde açıkça görüldüğü gibi maksimum SAR değerleri vücudun yüzeyinde oluşmaktadır. Benzetim sonuçları Şekil 4.21 , Şekil 4.22 , Şekil 4.23 , Şekil 4.24 , Şekil 4.25 , Şekil 4.26 , Şekil 4.27 , Şekil 4.28 , Şekil 4.29 , Şekil 4.30 , Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmiştir.

Cep Telefonu olarak tasarlanan patch antenin 8 haftalık bir bebeğin kafa-kulak kısmına 1 cm uzaklıkta tutulduğunda yani bebeği telefonla konuşturma gibi bir eylem üzerine bebekte oluşan SAR dağılımı Şekil 4.21’de verilmiştir. Bebeklerin ortalama bir insana göre daha hassas olduğu sonucuna elde edilen verilerin kıyaslanması ile ulaşılmıştır.



**Şekil 4.21.** Bebek vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Telefon olarak varsayılan anten, 8 haftalık bebeğin kafa-kulak kısmına 30 cm uzaklıkta tutulduğunda bebekte oluşan SAR dağılımı Şekil 4.22’de verilmiştir. Bebeklerin daha hassas olduğu düşüldüğünde uzaklık artsa dahi ortalama bir insana göre bebeklerde oluşan SAR değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

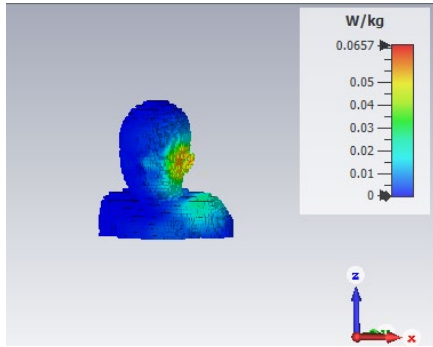


**Şekil 4.22.** Bebek vokselinin +x yönünde kafa kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Antenin, 7 yaşındaki çocuğun kafa-kulak kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırıldığında yani bir çocuğun telefonla konuşması sırasında çocukta oluşan SAR dağılımı Şekil 4.23’te verilmiştir. Bebek modeli ile karşılaştırıldığında SAR

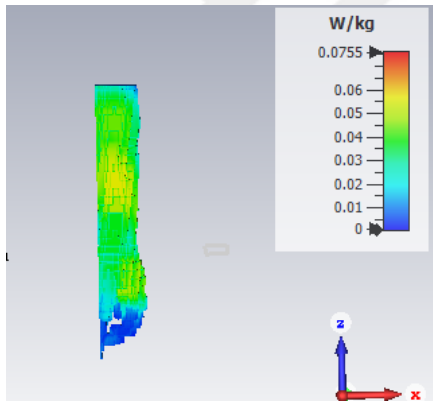


değerinin daha düşük olduğu fakat ortalama bir insan ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



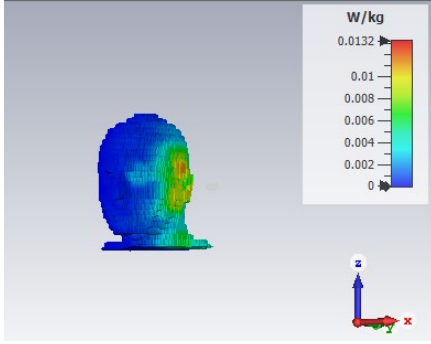
**Şekil 4.23.** Çocuk vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Telefonun çocuk modelinde el kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırıldığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.24'te verilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucunda çocukların ortalama insanlara göre daha hassas oldukları gözlemlenmiştir. Günümüzde çocuklarda telefon kullanımının yaygınlaşması sonucunda buna paralel olarak maruziyetin de arttığı sonucuna ulaşılmaktadır.



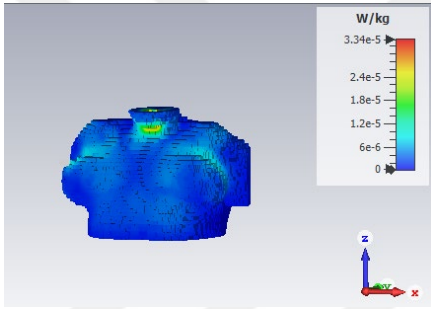
**Şekil 4.24.** Çocuk vokselinin +x yönünde el kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Donna vokseli 40 yaşında bir kadını temsil etmektedir. 40 yaşında bir kadın modelin kafa-kulak kısmına 3 cm uzaklıkta telefon konumlandırıldığında oluşan SAR değeri Şekil 4.25'te verilmiştir.



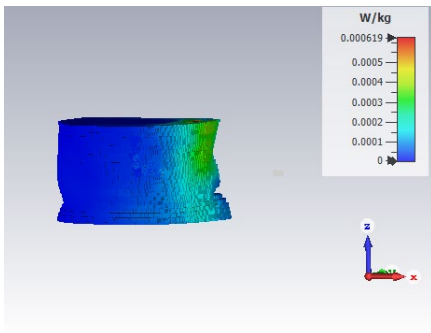
**Şekil 4.25.** Donna vokselinin +x yönünde kafa kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Emma vokseli 26 yaşında bir kadını temsil etmektedir. Benzetim senaryosuna göre telefona bakılma eylemi düşünülerek, telefon göğüs hizasında 1m uzaklıkta konumlandırıldığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.26’da verilmiştir.



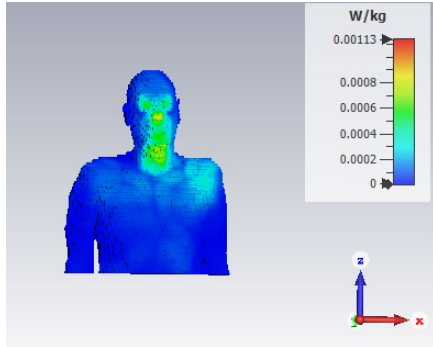
**Şekil 4.26.** Emma vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Telefon olarak tasarlanan anten, Emma modelinin bel-karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırıldığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.27’de verilmiştir. Antenin etkisi uzaklıkla ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Vücuda olan uzaklık arttıkça antenin etkisinin azaldığı görülmektedir.



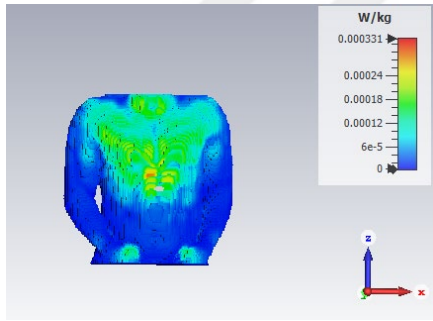
**Şekil 4.27.** Emma vokselinin +x yönünde karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Gustav vokseli 38 yaşında bir erkeği temsil etmektedir. Telefon kullanılırken göze olan etkisini incelemek için telefonu göz kısmının 30 cm uzağına konumlandırıldığı düşünülmüş, oluşan SAR dağılımı Şekil 4.28’de verilmiştir.



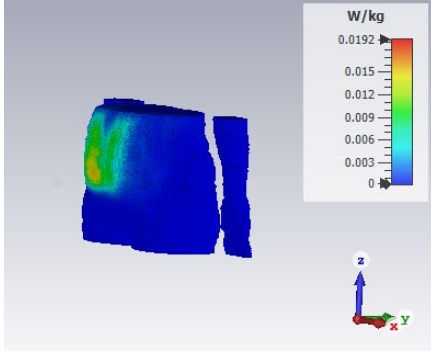
**Şekil 4.28.** Gustav vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

38 yaşında erkek olan Hugo vokselinde göğüs kısmının 30 cm uzağına konumlandırılan anten, telefonun göğüs hizasında tutulduğu düşünülmüş tasarlanmıştır. Telefonun kalp-ciğer gibi organlar üzerindeki etkisi gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen SAR dağılımı Şekil 4.29’da verilmiştir.



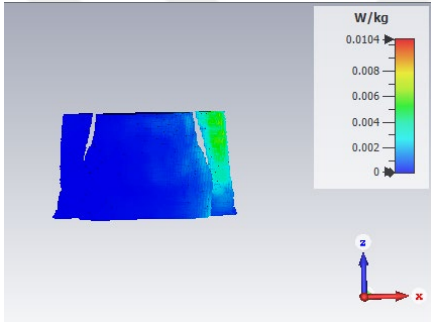
**Şekil 4.29.** Hugo vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Katja vokseli 43 yaşında 24 haftalık hamile bir kadını temsil etmektedir. Hamile bir kadının karın kısmının 1 cm uzaklığına anten yerleştirildiğinde elde edilen SAR dağılımı Şekil 4.30’da verilmiştir. Uzaklıkla ters orantılı olan SAR değeri hamile kadında ortalama insana göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Telefonun hamile bir kadının karın bölgesine yani fetüse olan uzaklığı önem arz etmektedir. Elde edilen sonuçlar güvenlik sınır değerlerinin altındadır. Fakat olası etkileri henüz net olmamakla birlikte fazla sayıda bilimsel çalışmalar mevcuttur. Ortalama insan modelleri ile karşılaştırıldığında ise hassasiyet olduğu açıkça görülmektedir.



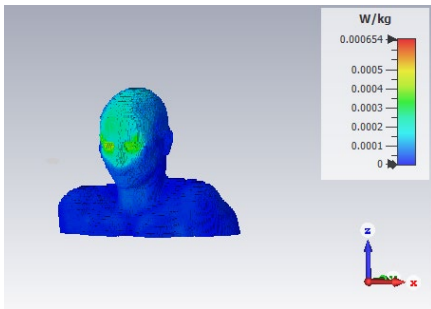
**Şekil 4.30.** Katja vokselinin -y yönünde karın kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

24 haftalık hamile bir kadının kol hizasında 3 cm uzaklıkta konumlandırılan antenin SAR dağılımı Şekil 4.31’de verilmiştir. Fetüsün konumu ile antenin konumuna bağlı olarak SAR etkisinin değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.31.** Katja vokselinin +x yönünde kol kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Laura ise 43 yaşında bir kadını temsil etmektedir. Telefon olarak tasarlanan antenin göz hizasında 30 cm uzaklıkta konumlandırılması, telefona 30 cm uzaklıktan bakma eylemi düşünülerek tasarlanmıştır. Etkileşim durumuna göre antenin etkisinin değişiklik gösterdiği Şekil 4.32’de gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.32.** Laura vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

0.5 W sürme gücüne sahip 900 MHz frekans bandında çalışan patch antene normalize edilerek hesaplanan çocuk modelinin kafa dokularına ilişkin uzaklığa bağlı SAR değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

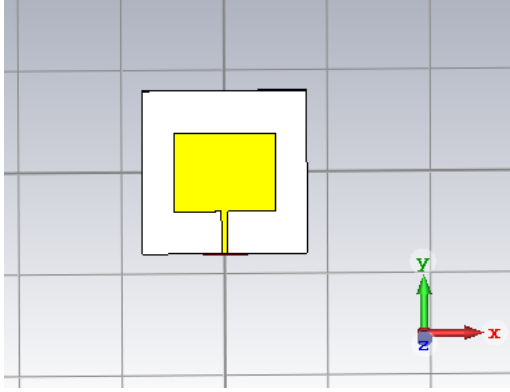
**Çizelge 4.9.** Çocuk modelinde dokularının 900 MHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Doku       | SAR (W/kg) |         |         |
|------------|------------|---------|---------|
|            | 1 cm       | 3 cm    | 30 cm   |
| Kan        | 0.0501     | 0.03107 | 0.00511 |
| Beyin      | 0.0561     | 0.0362  | 0.00543 |
| Göz Ampulü | 0.0656     | 0.0446  | 0.00713 |
| Göz Lensi  | 0.0657     | 0.04482 | 0.00716 |
| Beyincik   | 0.036      | 0.0202  | 0.00349 |
| Deri       | 0.0602     | 0.0415  | 0.00687 |

ICNIRP’in baş-göğüs için belirlemiş olduğu yasal sınır değer olan SAR değeri 2 W/kg olup, Çizelge 4.9’da verilen çocuk modelinin kafa dokularının farklı uzaklıklarda normalize edilen SAR değerleri ICNIRP’nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

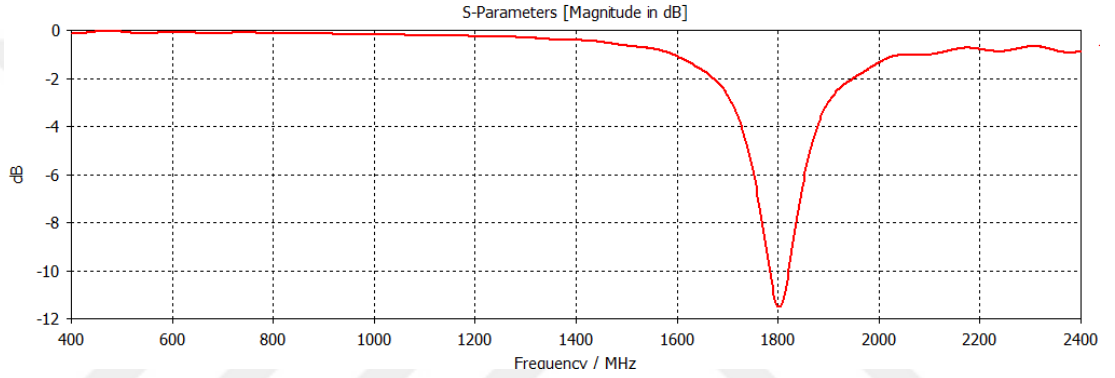
#### 4.3.2. SEY tabanlı 1800 MHz frekansı SAR analizi

Cep telefonu, 1800 MHz frekans bandında çalışan patch anten ile örneklendirilmiştir. Patch antenler, boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılıdır ve göreceli olarak büyüktürler. Patch antenin geometrisinde yamanın genişliği  $W=49.3$  mm, yamanın uzunluğu  $L=38.4$  mm, dielektrik malzemenin boyutları ise  $W_m=80$  mm ve  $L_m=80$  mm ile sürme gücü 0.5 W olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan patch antenin görüntüsü Şekil 4.33’te verilmiştir.



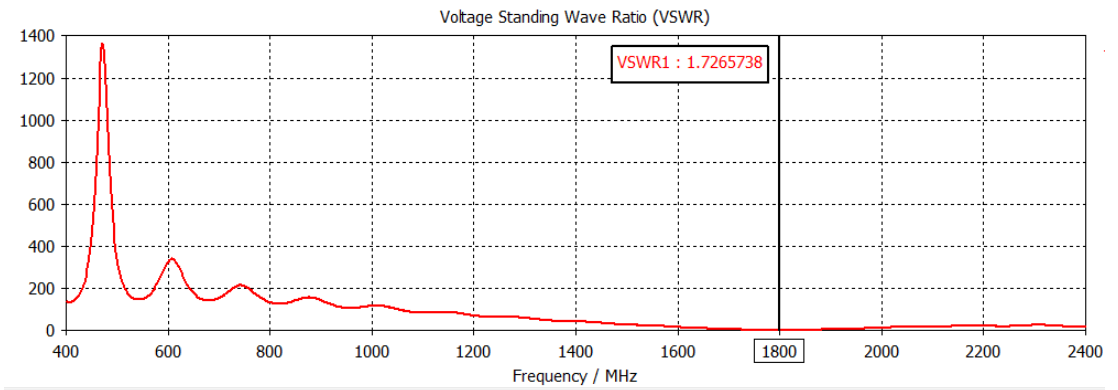
Şekil 4.33. Tasarlanan 1800 MHz anten görünümü

Tasarlanan 1800 MHz patch antenin S parametresi Şekil 4.34'te verilmiştir.

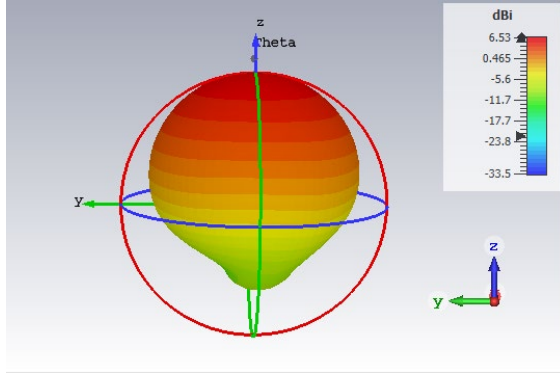


Şekil 4.34. Tasarlanan 1800 MHz antenin S parametresi

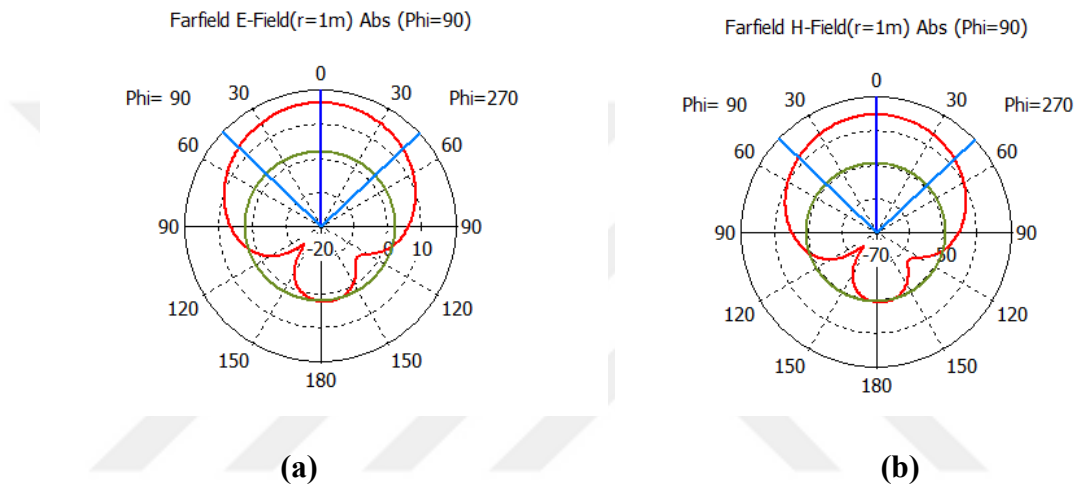
Tasarlanan 1800 MHz patch antenin VSWR grafiği Şekil 4.35'te, 3 boyutlu yönlülüğü Şekil 4.36'da ve E-Düzlemi ile H-Düzlemi ise Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.35. Tasarlanan 1800 MHz antenin VSWR grafiği



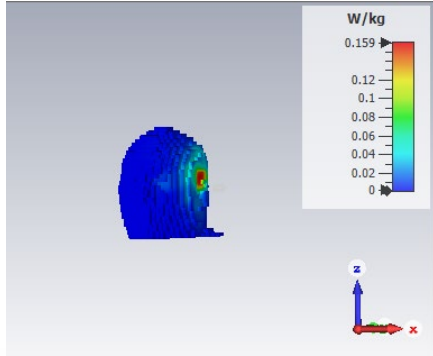
**Şekil 4.36.** Tasarlanan 1800 MHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü



**Şekil 4.37. a)** Tasarlanan 1800 MHz antenin E-Düzlemi; **b)** Tasarlanan 1800 MHz antenin H-Düzlemi

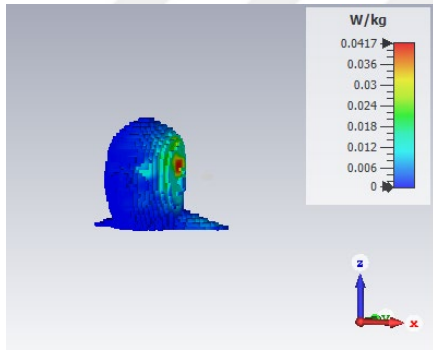
1800 MHz frekans bandında çalışan patch antenin cep telefonunu simgelediğini düşünebiliriz 1800 MHz frekans bandında çalışan patch antenin farklı mesafelerde vücudun kafa, göz, göğüs gibi farklı bölgelerinde oluşturduğu özgül soğurma oranı (SAR) hesaplamaları elde edilmiştir. CST Studio Suite benzetim programının datasında bulunan vokselle ailesi üyesi Austin'nin vücudunda farklı bölgelerde farklı mesafelerde telefon modeli ile etkileşim ihtimali durumuna göre olası senaryolar üzerinde çalışmalar yapılmış, veriler elde edilmiştir. Baş kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.38'de görüldüğü gibi anten Austin modelinde kulağa 1 cm uzaklıkta konumlandığında, göğüs kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.43'te görüldüğü gibi anten Austin modelinde göğüse 3 cm uzaklıkta konumlandırıldığında gözlemlenmiştir. En yüksek olan Şekil 4.38'deki SAR değeri 0.159 W/kg olarak, Şekil 4.43'teki SAR değeri ise 0.0414 W/kg olarak tahmin edilmiştir. ICNIRP'in baş-göğüs için belirlemiş olduğu SAR değeri 2 W/kg olup, elde edilen sonuçlar ICNIRP'nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Özgül soğurma oranlarının uzaklığa, organların elektriksel iletkenliğine ve antenin çalışma frekansına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan benzetimlerde açıkça görüldüğü gibi maksimum SAR değerleri vücudun yüzeyinde oluşmaktadır. Benzetim sonuçları Şekil 4.38 , Şekil 4.39 , Şekil 4.40 , Şekil 4.41 , Şekil 4.42 , Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te verilmiştir.

Austin vokseli ortalama bir erkeği temsil etmektedir. Cep Telefonu olarak tasarlanan patch antenin ortalama bir erkeğin kafa-kulak kısmına 1 cm uzaklıkta tutulduğunda yani telefonla konuşma eylemi gerçekleşirken kafada oluşan SAR dağılımı Şekil 4.38’de verilmiştir. Frekansın artması ile vücutta oluşan etkinin doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.38.** Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

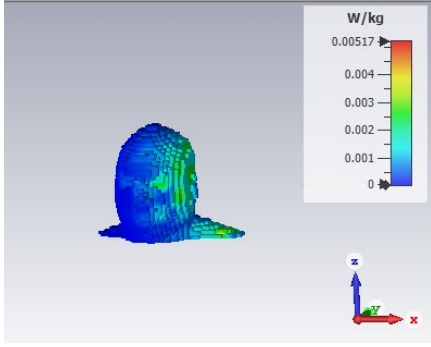
Ortalama bir erkeğin kafa-kulak kısmına 3 cm uzaklıkta tutulan antenin kafa kısmında oluşturduğu SAR dağılımı Şekil 4.39’da verilmiştir. Vücuda olan uzaklık ile antenin vücuda etkisi arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir. Uzaklığın artması ile SAR değeri azalmıştır.



**Şekil 4.39.** Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

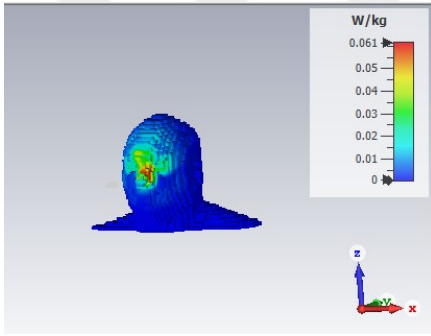
Telefonu simgeleyen 1800 MHz frekansına sahip patch antenin, kafa-kulak kısmına 30 cm uzaklıkta tutulduğunda yani olası bir senaryo olan telefon hoparlörde iken konuşma sırasında kafa kısmında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.40’da verilmiştir. Uzaklık arttıkça antenin etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.





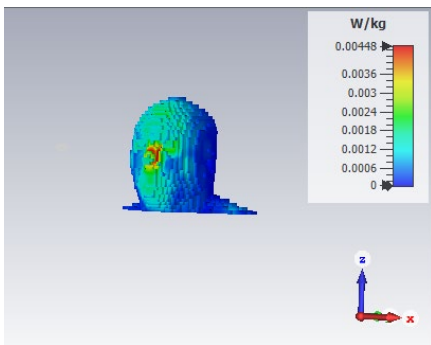
**Şekil 4.40.** Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Ortalama erkek modelde telefona yakın uzaklıkta bakıldığında, antenin göz hizasından 3 cm uzağa konumlandırıldığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.41’de verilmiştir. Her duyu organının farklı iletkenliklere sahip olması nedeniyle farklı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.



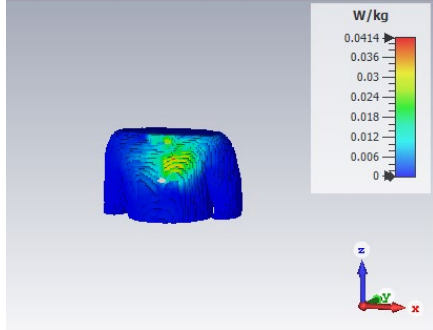
**Şekil 4.41.** Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Göz hizasında bulunan antenin 30 cm uzaklığa konumlandırılması ile elde edilen SAR dağılımı Şekil 4.42’de verilmiştir. Uzaklıkla arttıkça SAR değerinin azaldığı, ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.



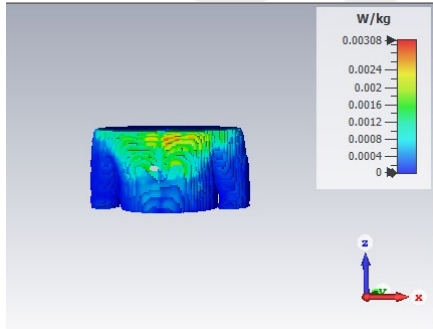
**Şekil 4.42.** Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Ortalama erkek modelin göğüs-kalp hizasının 3 cm yakınına telefon kullanımının olası etkisini gözlemlemek amacıyla konumlandırılan antenin SAR dağılımı Şekil 4.43'te gösterilmiştir. Telefonun kalp-ciğer gibi organlara yakın olarak kullanıldığında oluşabilecek etki incelenmiştir.



**Şekil 4.43.** Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Telefon modelinin göğüs-kalp hizasında kullanımı sırasında ortalama erkek bir model üzerinde SAR dağılımı Şekil 4.44'de verilmiştir. Uzaklık ile ilişkisi incelenmiş olup, ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.44.** Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

0.5 W sürme gücüne sahip 1800 MHz frekans bandında çalışan patch antene normalize edilerek hesaplanan Austin modelinin kafa dokularına ilişkin uzaklığa bağlı SAR değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Austin modelinde dokularının 1800 MHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

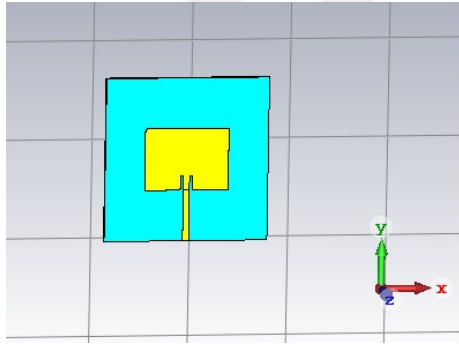
| Doku  | SAR (W/kg) |        |         |
|-------|------------|--------|---------|
|       | 1 cm       | 3 cm   | 30 cm   |
| Kan   | 0.148      | 0.0574 | 0.00488 |
| Beyin | 0.151      | 0.0581 | 0.00495 |

|            |       |        |         |
|------------|-------|--------|---------|
| Göz Ampulü | 0.158 | 0.0617 | 0.00512 |
| Göz Lensi  | 0.157 | 0.0619 | 0.00517 |
| Beyincik   | 0.078 | 0.0348 | 0.00251 |
| Deri       | 0.155 | 0.0585 | 0.00503 |

ICNIRP'in baş-göğüs için belirlemiş olduğu yasal sınır değer olan SAR değeri 2 W/kg olup, Çizelge 4.10'da verilen Austin modelinin kafa dokularının farklı uzaklıklarda normalize edilen SAR değerleri ICNIRP'nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

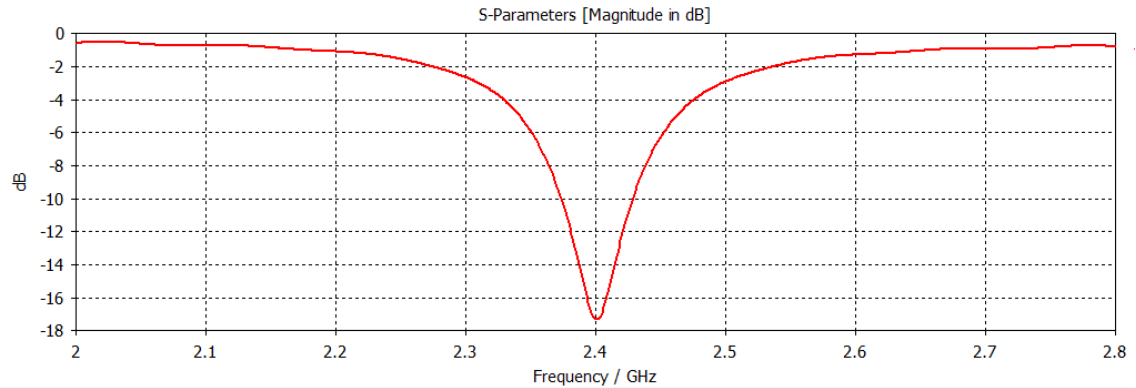
#### 4.3.3. SEY tabanlı 2.4 GHz frekansı SAR analizi

Wifi, 2.4 GHz frekans bandında çalışan patch anten ile örneklendirilmiştir. Patch antenler, boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılıdır ve göreceli olarak büyüktürler. Patch antenin geometrisinde yamanın genişliği  $W=41$  mm, yamanın uzunluğu  $L=30.2$  mm, dielektrik malzemenin boyutları ise  $W_m=80$  mm ve  $L_m=80$  mm ile sürme gücü 0.5 W olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan patch antenin görüntüsü Şekil 4.45'te verilmiştir.



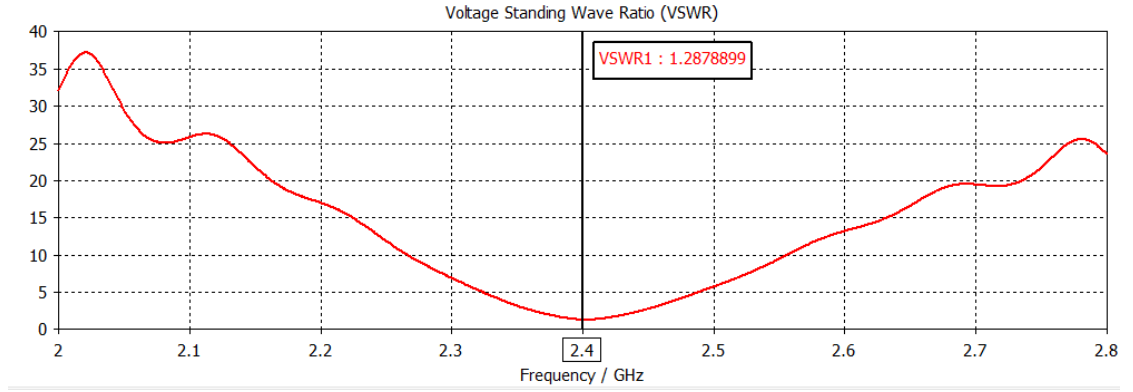
Şekil 4.45. Tasarlanan 2.4 GHz anten görünümü

Tasarlanan 2.4 GHz patch antenin S parametresi Şekil 4.46'da verilmiştir.

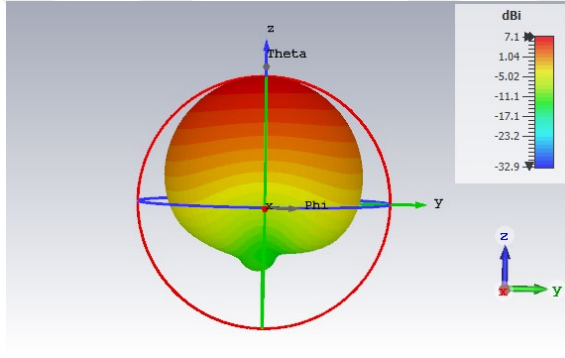


Şekil 4.46. Tasarlanan 2.4 GHz antenin S parametresi

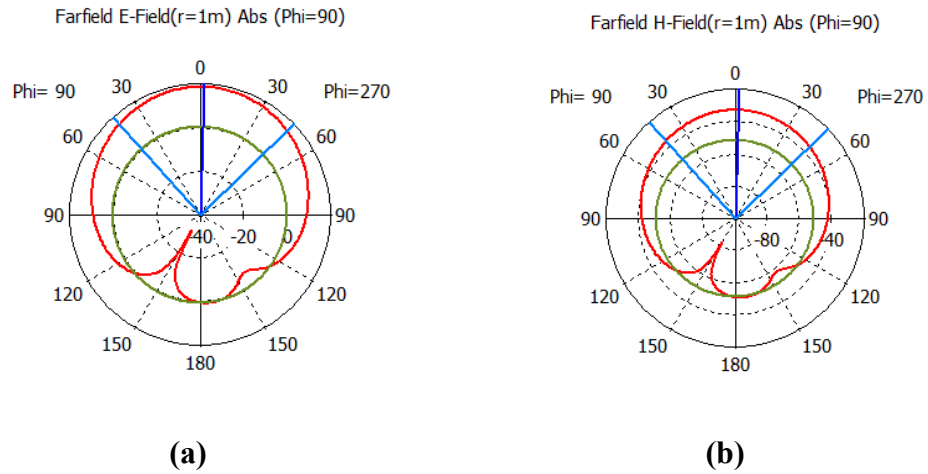
Tasarlanan 2.4 GHz patch antenin VSWR grafiği Şekil 4.47’de, 3 boyutlu yönlülüğü Şekil 4.48’de ve E-Düzlemi ile H-Düzlemi ise Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.47. Tasarlanan 2.4 GHz antenin VSWR grafiği



Şekil 4.48. Tasarlanan 2.4 GHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü

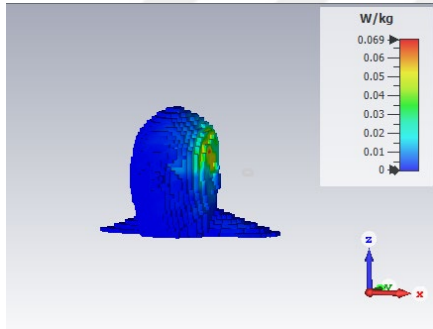


Şekil 4.49. a) Tasarlanan 2.4 GHz antenin E-Düzlemi; b) Tasarlanan 2.4 GHz antenin H-Düzlemi

2.4 GHz frekans bandında çalışan patch antenin wifiyi simgelediğini düşünebiliriz 2.4 GHz frekans bandında çalışan patch antenin farklı mesafelerde vücudun kafa, göz, göğüs gibi farklı bölgelerinde oluşturduğu özgül soğurma oranı (SAR)

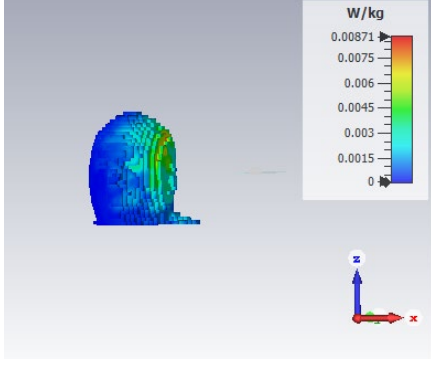
hesaplamaları elde edilmiştir. CST Studio Suite simülasyon programının datasında bulunan voksel ailesi üyesi Austin, çocuk ve Katja'nın vücudunda farklı bölgelerde farklı mesafelerde WiFi modeli ile etkileşim ihtimali durumuna göre olası senaryolar üzerinde çalışmalar yapılmış, veriler elde edilmiştir. Baş kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.50'de görüldüğü gibi anten Austin modelinde kulağa 3 cm uzaklıkta konumlandığında, göğüs kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.55'te görüldüğü gibi anten Austin modelinde göğüse 30 cm uzaklıkta konumlandırıldığında gözlemlenmiştir. En yüksek olan Şekil 4.50'deki SAR değeri 0.069 W/kg olarak, Şekil 4.55'teki SAR değeri ise 0.00455 W/kg olarak tahmin edilmiştir. ICNIRP'in baş-göğüs için belirlemiş olduğu SAR değeri 2 W/kg olup, elde edilen sonuçlar ICNIRP'nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında oluğu görülmüştür. Özgül soğurma oranlarının uzaklığa, organların elektriksel iletkenliğine ve antenin çalışma frekansına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan benzetimlerde açıkça görüldüğü gibi maksimum SAR değerleri vücudun yüzeyinde oluşmaktadır. Benzetim sonuçları Şekil 4.50 , Şekil 4.51 , Şekil 4.52 , Şekil 4.53 , Şekil 4.54 , Şekil 4.55 , Şekil 4.56 , Şekil 4.57 , Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da verilmiştir.

2.4 GHz frekans bandında çalışan patch antenini wifi, modem ve tablet olarak düşünebiliriz. Austin vokseli olan ortalama bir erkek modele WiFi olarak tasarlanan anten modelin kafa-kulak kısmının 3 cm yakınına yerleştirildiğinde oluşan SAR dağılımı Şekil 4.50'de verilmiştir. Telefon antenine göre WiFi anteninin çalışma frekansı yüksek olması nedeniyle gözlemlenen etki karşılaştırılmıştır.



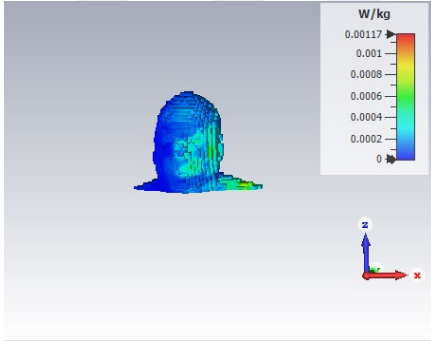
**Şekil 4.50.** Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

WiFi antenin uzaklığa bağlı değişimi incelemek üzere kafa-kulak kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırıldığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.51'de verilmiştir. Diğer modellerde de olduğu gibi uzaklıkla ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.



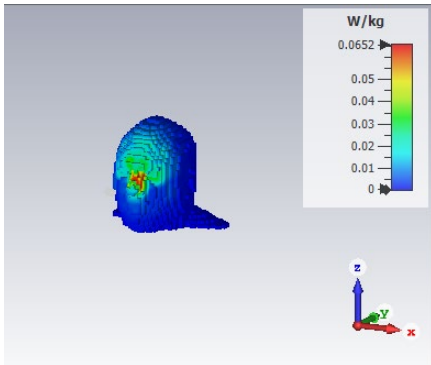
**Şekil 4.51.** Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Günlük yaşamımızda sıklıkla karşılaşılan konum olarak düşünülen ortalama bir erkek modelde tasarlanan antenin 1 m uzaklıkta konumlandırılması sonucunda oluşan Sar dağılımı Şekil 4.52’de verilmiştir. Yüksek frekans bandında çalışan antenlere uzak mesafelerde bulunmak önem arz etmektedir.



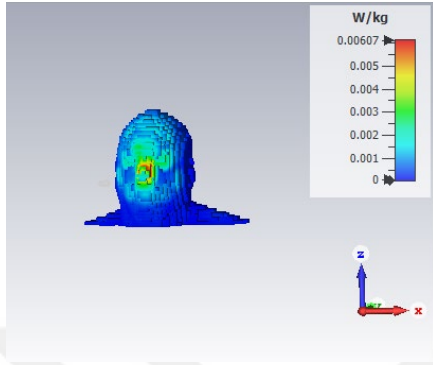
**Şekil 4.52.** Austin vokselinin +x yönünde kafa kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

WiFi olarak tasarlanan antenin 3 cm yakınında iken, kafa-göz etkileşimi incelemiş, elde edilen SAR dağılımı Şekil 4.53’te verilmiştir. Hassasiyeti farklı duyu organlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.



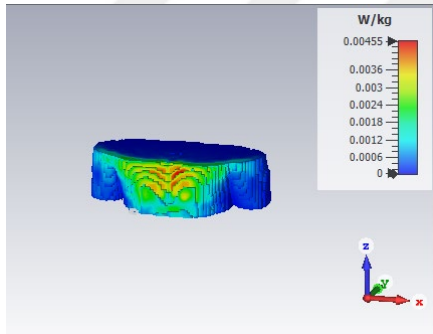
**Şekil 4.53.** Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 3 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Uzaklığa bağlı etkisini incelemek üzere, ortalama erkek modelde kafa-göz kısmının 30 cm uzaklığına yerleştirilen antenin oluşturduğu SAR dağılımı Şekil 4.54'te verilmiştir. Diğer modeller ve antenlerle yapılan karşılaştırma sonucunda uzaklığın, frekansın ve organların iletkenliklerine göre değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.



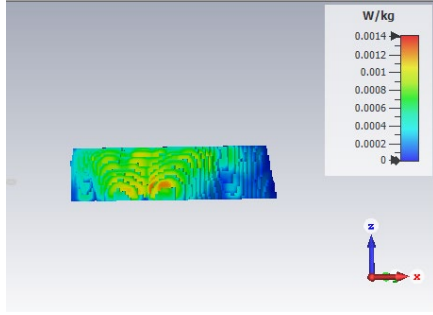
**Şekil 4.54.** Austin vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Kalp-göğüs hizasının 30 cm uzaklığında bulunan WiFi olarak tasarlanan antenin oluşturduğu SAR dağılımı Şekil 4.55'te verilmiştir. Kalp, ciğer, mide gibi iç organlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.



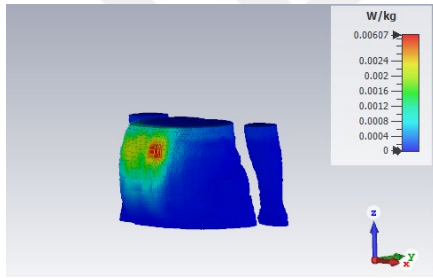
**Şekil 4.55.** Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Sıklıkla karşılaşılabileceğimiz konumlardan olan ortalama erkek modelin göğüs kısmının 1 m uzaklığına konumlandırılan antenin SAR dağılımı Şekil 4.56'da verilmiştir. Antenlerin olası etkilerinin uzaklıkla ters orantılı fakat frekans ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.



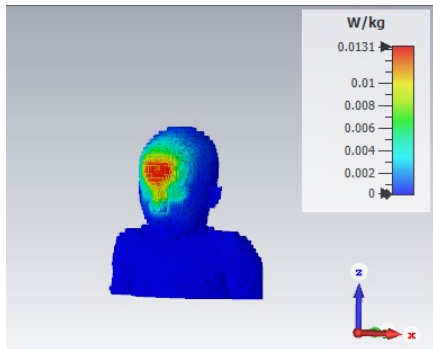
**Şekil 4.56.** Austin vokselinin -y yönünde göğüs kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Tablet olarak da düşünülen WiFi antenini temsilen tasarlanan patch anten hamile bir kadın olan Katja'nın tablet kullanımı sırasında karın bölgesine 30 cm uzaklıkta konumlandığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.57'de verilmiştir. Tablet olarak varsayılan antenin hamile bir kadının karın bölgesine yani fetüse olan uzaklığı önem arz etmektedir. Elde edilen sonuçlar ise güvenlik sınır değerlerinin altında olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.57.** Katja vokselinin -y yönünde karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

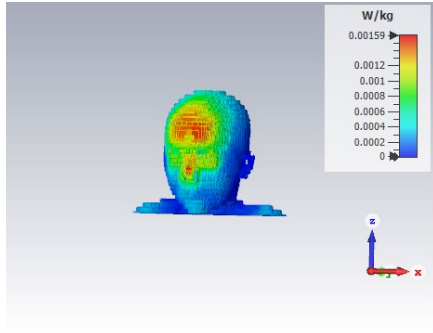
Pandemi nedeniyle uzaktan eğitim sürecinde çocukların elektronik cihazlarla etkileşimleri daha da artmıştır. Çocuklarda tablet kullanımının artması ile birlikte maruziyet de artmaktadır. WiFi olarak tasarlanan antenin muhtemel senaryolardan biri olan, çocukların uzaktan eğitim sürecinde kafa-göz bölgesine 30 cm uzaklıkta tablet kullanımı sırasında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.58'de verilmiştir.



**Şekil 4.58.** Çocuk vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri



Uzaktan eğitim sürecinde çocukların tablet kullanımı sırasında vücudun kafa-göz kısmına 1 m uzaklıkta tablet kullanımı sırasında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.59’da verilmiştir. Tasarlanan antenin farklı mesafede olmasının etkisi incelenmiştir.



**Şekil 4.59.** Çocuk vokselinin -y yönünde göz kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

0.5 W sürme gücüne sahip 2.4 GHz frekans bandında çalışan patch antene normalize edilerek hesaplanan çocuk modelinin kafa dokularına ilişkin uzaklığa bağlı SAR değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

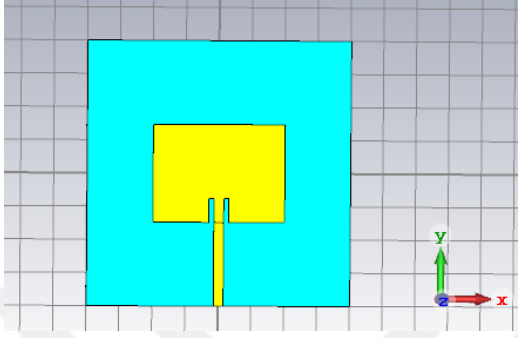
**Çizelge 4.11.** Çocuk modelinde dokularının 2.4 GHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Doku       | SAR (W/kg) |        |         |
|------------|------------|--------|---------|
|            | 3 cm       | 30 cm  | 1 m     |
| Kan        | 0.081      | 0.0391 | 0.00189 |
| Beyin      | 0.085      | 0.0399 | 0.00195 |
| Göz Ampulü | 0.113      | 0.0502 | 0.00212 |
| Göz Lensi  | 0.114      | 0.0502 | 0.00213 |
| Beyincik   | 0.0503     | 0.0216 | 0.00138 |
| Deri       | 0.092      | 0.0409 | 0.00201 |

ICNIRP’in baş-göğüs için belirlemiş olduğu yasal sınır değer olan SAR değeri 2 W/kg olup, Çizelge 4.11’de verilen çocuk modelinin kafa dokularının farklı uzaklıklarda normalize edilen SAR değerleri ICNIRP’nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

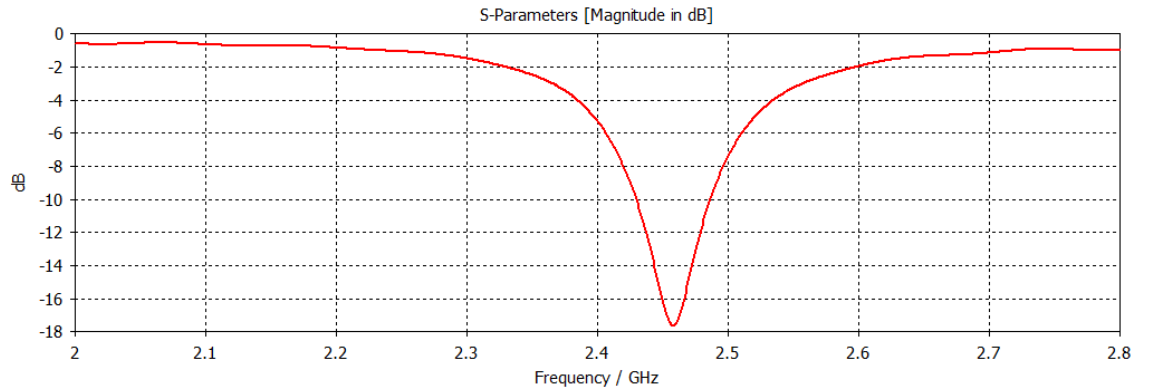
#### 4.3.4. SEY tabanlı 2.45 GHz frekansı SAR analizi

Wifi, 2.45 GHz frekans bandında çalışan patch anten ile örneklendirilmiştir. Patch antenler, boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılıdır ve göreceli olarak büyüktürler. Patch antenin geometrisinde yamanın genişliği  $W=40$  mm, yamanın uzunluğu  $L=29.5$  mm, dielektrik malzemenin boyutları ise  $W_m=80$  mm ve  $L_m=80$  mm ile sürme gücü  $0.5$  W olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan patch antenin görüntüsü Şekil 4.60’da verilmiştir.



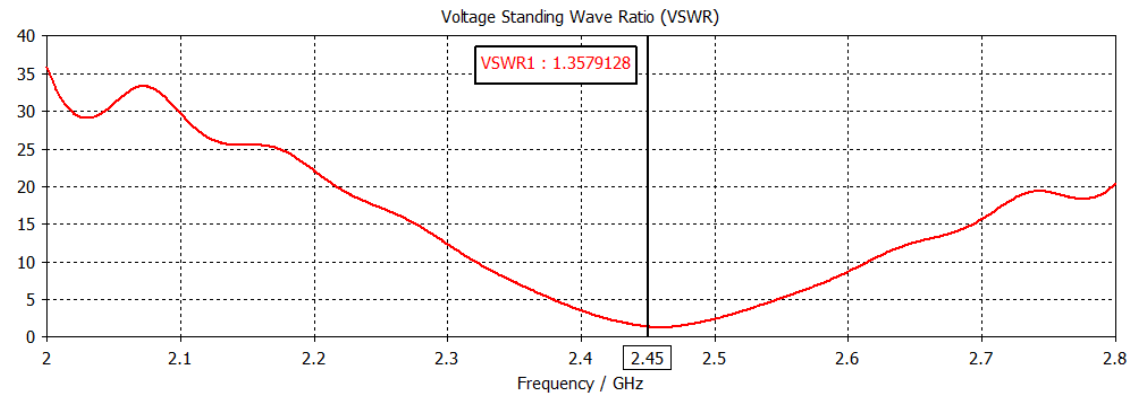
Şekil 4.60. Tasarlanan 2.45 GHz anten görünümü

Tasarlanan 2.45 GHz patch antenin S parametresi Şekil 4.61’de verilmiştir.

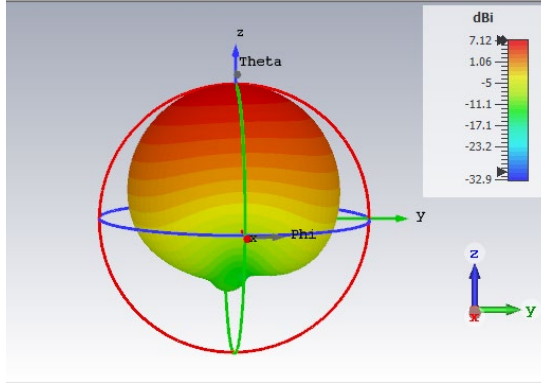


Şekil 4.61. Tasarlanan 2.45 GHz antenin S parametresi

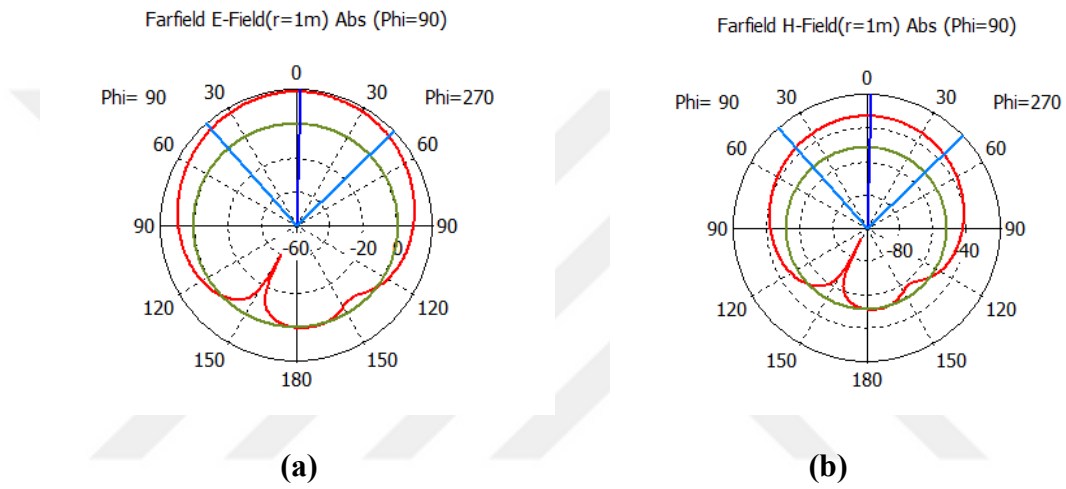
Tasarlanan 2.45 GHz patch antenin VSWR grafiği Şekil 4.62’de, 3 boyutlu yönlülüğü Şekil 4.63’te ve E-Düzlemi ile H-Düzlemi ise Şekil 4.64’te verilmiştir.



Şekil 4.62. Tasarlanan 2.45 GHz antenin VSWR grafiği



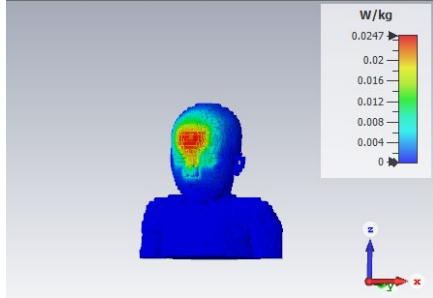
**Şekil 4.63.** Tasarlanan 2.45 GHz antenin 3 boyutlu yönlülüğü



**Şekil 4.64. a)** Tasarlanan 2.45 GHz antenin E-Düzlemi; **b)** Tasarlanan 2.45 GHz antenin H-Düzlemi

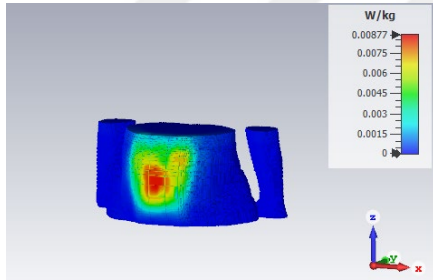
2.45 GHz frekans bandında çalışan patch antenini mikrodalga fırını simgelediğini düşünebiliriz 2.45 GHz frekans bandında çalışan patch antenin farklı mesafelerde hamile bir kadın ile çocuk üzerinde oluşturduğu özgül soğurma oranı (SAR) hesaplamaları elde edilmiştir. CST Studio Suite simülasyon programının datasında bulunan voksel ailesi üyesi Katja ve çocuk modelinin vücudunda farklı bölgelerde farklı mesafelerde mikrodalga fırın kullanımı sırasında etkileşim ihtimali durumuna göre olası senaryolar üzerinde çalışmalar yapılmış, veriler elde edilmiştir. Baş kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.65'te görüldüğü gibi anten çocuk modelinde kulağa 30 cm uzaklıkta konumlandığında, göğüs kategorisinde en yüksek SAR değeri Şekil 4.67'de görüldüğü gibi anten çocuk modelinde göğüse 1 m uzaklıkta konumlandırıldığında gözlemlenmiştir. En yüksek olan Şekil 4.65'deki SAR değeri 0.0247 W/kg olarak, Şekil 4.67'deki SAR değeri ise 0.0031 W/kg olarak tahmin edilmiştir. ICNIRP'in baş-göğüs için belirlemiş olduğu SAR değeri 2 W/kg olup, elde edilen sonuçlar ICNIRP'nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında oluğu görülmüştür. Özgül soğurma oranlarının uzaklığa, organların elektriksel iletkenliğine ve antenin çalışma frekansına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan benzetimlerde açıkça görüldüğü gibi maksimum SAR değerleri vücudun yüzeyinde oluşmaktadır. Benzetim sonuçları Şekil 4.65 , Şekil 4.66 ve Şekil 4.67'de verilmiştir.

Yüksek frekansta çalışan mikrodalga fırınlarının etkisini gözlemlemek için çocuk vokselinin kafa-göz kısmına 30 cm uzaklıkta çalışan patch antenin özgül soğurma oranı Şekil 4.65'te verilmiştir.



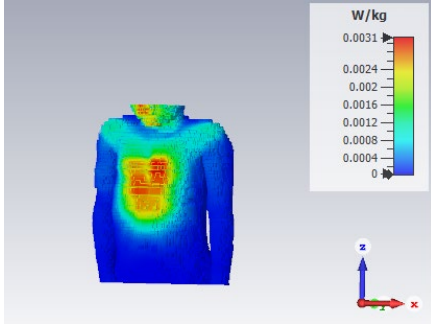
**Şekil 4.65.** Çocuk vokselinin -y yönünde göz kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Mikrodalga fırını temsilen tasarlanan 2.45 GHz frekans bandında çalışan patch anten hamile bayan olan Katja'nın 30 cm uzaklığına konumlandırıldığında oluşan SAR dağılımı Şekil 4.66'da verilmiştir. Yüksek frekans bölgesinde çalışan mikrodalga fırınının fetüse olan uzaklığı önem arz etmektedir. Elde edilen verilerin ise sınır değerlerin altında olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.66.** Katja vokselinin -y yönünde karın kısmına 30 cm uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

Muhtemel senaryolardan biri olan mikro dalga fırına 1 m uzaklıkta bulunan çocuğun göğüs kısmın oluşan SAR dağılımı Şekil 4.67'de verilmiştir. Farklı mesafelerde konumlandırılan antenin farklı dokular üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Güvenlik sınır değerlerinin altında sonuçlar elde edilmiş olup, yüksek frekans bölgesinde çalışan bu cihazların belirli mesafelerde kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



**Şekil 4.67.** Çocuk vokselinin -y yönünde karın kısmına 1 m uzaklıkta konumlandırılmış antenin SAR değeri

0.5 W sürme gücüne sahip 2.45 GHz frekans bandında çalışan patch antene normalize edilerek hesaplanan Katja modelinin fetüs dokularına ilişkin uzaklığa bağlı SAR değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Katja modelinde fetüs dokularının 2.45 GHz frekansında uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Doku              | SAR (W/kg) |         |          |
|-------------------|------------|---------|----------|
|                   | 3 cm       | 30 cm   | 1 m      |
| Fetüs Baş Dokusu  | 0.0294     | 0.00120 | 0.00041  |
| Fetüs Derisi      | 0.035      | 0.00135 | 0.00055  |
| Fetüs Gövdesi     | 0.0289     | 0.00117 | 0.00039  |
| Fetüs Kolları     | 0.036      | 0.00135 | 0.00053  |
| Fetüs Bacakları   | 0.0375     | 0.00140 | 0.00056  |
| Fetüs Beyin       | 0.0225     | 0.00097 | 0.000035 |
| Fetüs Gözleri     | 0.0157     | 0.00081 | 0.000021 |
| Fetüs Akciğerleri | 0.0331     | 0.00130 | 0.00049  |
| Fetüs Kalbi       | 0.0299     | 0.00129 | 0.00043  |
| Fetüs Karaciğeri  | 0.0232     | 0.00102 | 0.000038 |

ICNIRP’in tüm vücut için belirlemiş olduğu yasal sınır değer olan SAR değeri 0.08 W/kg olup, Çizelge 4.12’de verilen Katja modelinin fetüs dokularının farklı uzaklıklarda normalize edilen SAR değerleri ICNIRP’nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Elde edilen verilerin model-konum ilişkisine göre baz alınan frekanslardaki özgül soğurma oranları (SAR) Çizelge 4.13'te verilmiştir. Sonuçların karşılaştırması ile SAR değeri yaş gruplarına, doku özelliklerine, etkileşim durumundaki cihazın çalışma frekansına, uzaklığa bağlı konumuna göre değişkenlik göstermektedir. Uzaklık ile ters orantılı olduğu, çalışma frekansı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Çocuklar ile ortalama bir erkek modelinde aynı frekans ve aynı organlar üzerinde karşılaştırma yapıldığında, çocuklarda daha yüksek özgül soğurma oranı sonuçları gözlemlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında 900 MHz frekans bandında çalışan antenin 1 cm uzaklığında kafa bölgesinde çocukta tahmin edilen SAR değeri 0.0657 W/kg, ortalama erkek olan Austin modelinde tahmin edilen SAR değeri ise 0.0499 W/kg olarak; 30 cm uzaklığındaki karın bölgesinde hamile kadın olan Katja modelinde tahmin edilen SAR değeri 0.00103 W/kg, ortalama kadın olan Emma modelinde tahmin edilen SAR değeri 0.000619 W/kg olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, çocuk, hamile gibi kişilerde ortalama insanlara göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Veriler ışığında çocuklar, hamileler gibi grupların daha fazla risk altında olduğu saptanmıştır.

900 MHz ile 1800 MHz frekans bandında çalışan antenlerin dokulara 1 cm uzaklığa göre normalize edilerek oluşan SAR değerleri Çizelge 4.14'te, Fetüs dokularının normalize edilerek oluşan SAR değerleri Çizelge 4.15'te; 2.4 GHz ve 2.45 GHz frekans bandında çalışan antenlerin 30 cm uzaklığa göre normalize edilerek oluşan SAR değerleri ise Çizelge 4.16'da, fetüs dokularının normalize edilerek oluşan SAR değerleri ise Çizelge 4.17'de verilmiştir. Çocuk, hamile kadın olan Katja vokseli ve ortalama insan olan Austin vokselinin dokuları 1 cm ve 30 cm uzaklığa farklı antenlerin konumlandırılmasıyla normalize edilmiş değerler elde edilmiştir. Örnek seçilen frekansta aynı dokunun farklı insan modelinde SAR sonuçlarının farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Elektromanyetik kirlilikten çocukların vücut yapılarının küçük olması nedeniyle daha fazla doz etkisinde kalabilmektedirler. Çocukların kafataslarının yetişkinlere göre daha ince olması, yüksek su içeriği nedeniyle çocukların dokularının dielektrik özellikleri yetişkinlere göre daha yüksek olması sonucunda elektromanyetik alan kaynağı olarak tasarlanan 4 farklı antenden yayılan elektromanyetik alanın çocukların beynine daha kolay ulaştığı ve bu antenlerin radyasyonu ile çocuk vücudunun "rezonans" adı verilen bir etkileşime girdiğini ve çocukların vücudunun aynı bir anten gibi cihazların elektromanyetik alanını üzerlerinde topladığından yüksek SAR değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 4.13.** Model-konum ilişkisine göre baz alınan frekanslardaki SAR değerleri

| Model-Konum       | SAR (W/kg) |        |          |          |          |        |         |         |         |         |          |         |
|-------------------|------------|--------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
|                   | 900 MHz    |        |          |          | 1800 MHz |        |         | 2.4 GHz |         |         | 2.45 GHz |         |
|                   | 1 cm       | 3 cm   | 30 cm    | 1 m      | 1 cm     | 3 cm   | 30 cm   | 3 cm    | 30 cm   | 1 m     | 30 cm    | 1 m     |
| Bebek Kafa-Kulak  | 0.141      | -      | 0.0311   | -        | 0.1821   | -      | -       | -       | 0.0558  | -       | -        | -       |
| Çocuk Kafa-Kulak  | 0.0657     | -      | -        | -        | 0.174    | -      | -       | -       | 0.0495  | 0.00213 | 0.0502   | -       |
| Çocuk El          | -          | 0.0755 | -        | -        | -        | -      | -       | -       | 0.0214  | -       | -        | -       |
| Çocuk Kafa-Göz    | -          | -      | 0.00714  | -        | -        | -      | 0.00745 | 0.113   | 0.0131  | 0.00159 | 0.0247   | -       |
| Çocuk Göğüs-Kalp  | -          | -      | -        | -        | 0.168    | 0.0654 | -       | -       | -       | -       | 0.0232   | 0.0031  |
| Donna Kafa-Kulak  | 0.0598     | 0.0132 | -        | -        | 0.1601   | -      | -       | -       | -       | -       | -        | -       |
| Emma Göğüs-Kalp   | -          | -      | -        | 0.000334 | -        | -      | -       | -       | 0.00426 | -       | -        | -       |
| Emma Karın        | -          | -      | 0.000619 | -        | -        | -      | 0.00397 | -       | -       | 0.00137 | -        | -       |
| Gustav Kafa-Göz   | 0.0583     | -      | 0.00113  | -        | -        | 0.0511 | -       | -       | -       | 0.00198 | -        | 0.00273 |
| Hugo Göğüs-Kalp   | -          | -      | 0.000331 | -        | -        | -      | 0.00345 | -       | -       | -       | -        | -       |
| Katja Karın       | 0.0192     | 0.0134 | 0.00103  | -        | -        | -      | -       | -       | 0.00607 | -       | 0.00877  | -       |
| Laura Kafa-Göz    | -          | -      | 0.000654 | -        | -        | 0.0622 | -       | 0.072   | -       | 0.00199 | -        | 0.00282 |
| Austin Kafa-Kulak | 0.0499     | -      | -        | -        | 0.159    | 0.0417 | 0.00517 | 0.069   | 0.00871 | 0.00117 | -        | -       |
| Austin Kafa-Göz   | -          | 0.0139 | -        | -        | -        | 0.061  | 0.00448 | 0.0652  | 0.00607 | -       | -        | -       |
| Austin Göğüs-Kalp | -          | -      | 0.000544 | -        | -        | 0.0414 | 0.00308 | -       | 0.00455 | 0.0014  | -        | 0.00223 |

**Çizelge 4.14.** Dokuların 900 MHz-1800 MHz frekanslarında 1 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Doku                 | SAR (W/kg) |          |         |          |         |          |
|----------------------|------------|----------|---------|----------|---------|----------|
|                      | Çocuk      |          | Kadın   |          | Erkek   |          |
|                      | 900 MHz    | 1800 MHz | 900 MHz | 1800 MHz | 900 MHz | 1800 MHz |
| Kan                  | 0.0501     | 0.165    | 0.0395  | 0.151    | 0.0389  | 0.148    |
| Kemik                | 0.052      | 0.166    | 0.0391  | 0.15     | 0.0387  | 0.146    |
| Beyin                | 0.0561     | 0.171    | 0.0403  | 0.165    | 0.0399  | 0.151    |
| Kıyırdak             | 0.0243     | 0.074    | 0.0231  | 0.066    | 0.0222  | 0.062    |
| Göz Ampulü           | 0.0656     | 0.172    | 0.0594  | 0.161    | 0.0499  | 0.158    |
| Göz Lensi            | 0.0657     | 0.174    | 0.0597  | 0.161    | 0.0499  | 0.157    |
| Kalp                 | 0.0503     | 0.165    | 0.0401  | 0.149    | 0.0395  | 0.138    |
| Böbrek               | 0.0128     | 0.046    | 0.0092  | 0.035    | 0.0085  | 0.033    |
| Karaciğer            | 0.0226     | 0.084    | 0.011   | 0.075    | 0.0092  | 0.071    |
| Akciğer              | 0.0295     | 0.088    | 0.015   | 0.076    | 0.0095  | 0.011    |
| Mukoza               | 0.0265     | 0.085    | 0.010   | 0.075    | 0.0093  | 0.0098   |
| Kas                  | 0.0541     | 0.168    | 0.0422  | 0.150    | 0.0396  | 0.145    |
| Yumurtalıklar        | 0.032      | 0.089    | 0.0251  | 0.077    | -       | -        |
| Pankreas             | 0.0123     | 0.045    | 0.0101  | 0.035    | 0.010   | 0.031    |
| Deri                 | 0.0602     | 0.171    | 0.0496  | 0.160    | 0.0401  | 0.155    |
| İnce Bağırsak        | 0.0303     | 0.091    | 0.0286  | 0.082    | 0.0252  | 0.076    |
| Sinir                | 0.0101     | 0.042    | 0.0054  | 0.0149   | 0.0053  | 0.0145   |
| Dalak                | 0.021      | 0.081    | 0.013   | 0.074    | 0.011   | 0.073    |
| Mide                 | 0.0261     | 0.081    | 0.015   | 0.075    | 0.012   | 0.075    |
| Testisler            | -          | -        | -       | -        | 0.016   | 0.087    |
| Tiroid               | 0.011      | 0.045    | 0.004   | 0.035    | 0.004   | 0.033    |
| Soluk Borusu         | 0.013      | 0.046    | 0.006   | 0.037    | 0.0054  | 0.031    |
| İdrar Kesesi İçeriği | 0.011      | 0.046    | 0.005   | 0.036    | 0.0048  | 0.029    |
| Beyincik             | 0.036      | 0.098    | 0.023   | 0.088    | 0.0215  | 0.078    |



**Çizelge 4.15.** Fetüs dokularının 900 MHz-1800 MHz frekanslarında 1 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Fetüs Dokuları     | SAR (W/kg) |          |
|--------------------|------------|----------|
|                    | 900 MHz    | 1800 MHz |
| Plasenta           | 0.026      | 0.059    |
| Göbek Bağı         | 0.0062     | 0.0125   |
| Fetüs Baş Dokusu   | 0.0104     | 0.0810   |
| Fetüs Derisi       | 0.0112     | 0.0851   |
| Fetüs Gövdesi      | 0.0095     | 0.075    |
| Fetüs Kolları      | 0.0119     | 0.0855   |
| Fetüs Bacakları    | 0.0116     | 0.0854   |
| Fetüs Beyin        | 0.0082     | 0.0692   |
| Fetüs Gözleri      | 0.0062     | 0.0124   |
| Fetüs Omurilik     | 0.0068     | 0.0129   |
| Fetüs Akciğerleri  | 0.0111     | 0.0842   |
| Fetüs Kalbi        | 0.0109     | 0.083    |
| Fetüs Böbrekleri   | 0.0074     | 0.0691   |
| Fetüs Karaciğeri   | 0.0088     | 0.0715   |
| Fetüs Mide         | 0.0063     | 0.0128   |
| Fetüs Safra Kesesi | 0.0083     | 0.0699   |
| Fetüs Kafatası     | 0.0081     | 0.0699   |
| Fetüs Omurgası     | 0.0068     | 0.0127   |

Fetüs dokularının 900-1800 MHz frekans bantlarında 1 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri Çizelge 4.15’te verilmiştir. Fetüslerin kafataslarının ince olması ve yüksek su içeriği gibi nedenlerle, fetüs dokularının dielektrik özellikleri yetişkinlere göre daha yüksektir. Ayrıca antenlerin radyasyonu ile fetüslerin vücudunun “rezonans” adında bir etkileşime girdiğini ve vücudunun aynı bir anten gibi cihazların elektromanyetik alanını üzerlerinde topladığından yetişkinlere kıyasla hamile bayanlarda yüksek SAR değerleri elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Tahmin edilen fetüs dokularının normalize edilmiş SAR değerleri ICNIRP’nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.16.** Dokuların 2.4 GHz – 2.45 GHz frekanslarında 30 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Doku                 | SAR (W/kg) |          |          |          |          |          |
|----------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                      | Çocuk      |          | Kadın    |          | Austin   |          |
|                      | 2.4 GHz    | 2.45 GHz | 2.4 GHz  | 2.45 GHz | 2.4 GHz  | 2.45 GHz |
| Kan                  | 0.0384     | 0.0391   | 0.00562  | 0.00571  | 0.00554  | 0.00568  |
| Kemik                | 0.0382     | 0.039    | 0.0056   | 0.0061   | 0.0048   | 0.0057   |
| Beyin                | 0.0394     | 0.0399   | 0.00652  | 0.00672  | 0.00648  | 0.0066   |
| Kıkırdak             | 0.0218     | 0.0221   | 0.00432  | 0.00436  | 0.00421  | 0.00434  |
| Göz Ampulü           | 0.0494     | 0.0502   | 0.00871  | 0.00879  | 0.00870  | 0.00877  |
| Göz Lensi            | 0.0495     | 0.0502   | 0.00871  | 0.00878  | 0.00869  | 0.00876  |
| Kalp                 | 0.0391     | 0.0401   | 0.00701  | 0.00797  | 0.00688  | 0.00781  |
| Böbrek               | 0.0082     | 0.0089   | 0.00015  | 0.00016  | 0.00013  | 0.000152 |
| Karaciğer            | 0.0086     | 0.0091   | 0.00016  | 0.000162 | 0.00013  | 0.000161 |
| Akciğer              | 0.0085     | 0.092    | 0.00015  | 0.000159 | 0.00012  | 0.000153 |
| Mukoza               | 0.0087     | 0.092    | 0.00016  | 0.000167 | 0.00013  | 0.000165 |
| Kas                  | 0.0391     | 0.0402   | 0.00621  | 0.00635  | 0.00618  | 0.00627  |
| Yumurtalıklar        | 0.077      | 0.082    | 0.00185  | 0.00194  | -        | -        |
| Pankreas             | 0.007      | 0.0081   | 0.000175 | 0.000181 | 0.000171 | 0.000178 |
| Deri                 | 0.0401     | 0.0409   | 0.00822  | 0.00865  | 0.00815  | 0.00852  |
| İnce Bağırsak        | 0.0249     | 0.0253   | 0.00476  | 0.00492  | 0.00469  | 0.00482  |
| Sinir                | 0.0051     | 0.0055   | 0.000126 | 0.000135 | 0.000115 | 0.000131 |
| Dalak                | 0.0097     | 0.0101   | 0.000197 | 0.000203 | 0.000188 | 0.000201 |
| Mide                 | 0.0098     | 0.0102   | 0.000187 | 0.000198 | 0.000185 | 0.000193 |
| Testisler            | -          | -        | -        | -        | 0.00047  | 0.00054  |
| Tiroid               | 0.0037     | 0.0041   | 0.000628 | 0.000647 | 0.000615 | 0.000634 |
| Soluk Borusu         | 0.0051     | 0.0055   | 0.000105 | 0.000112 | 0.000101 | 0.000111 |
| İdrar Kesesi İçeriği | 0.0044     | 0.0046   | 0.00085  | 0.00089  | 0.00082  | 0.00087  |
| Beyincik             | 0.0213     | 0.0216   | 0.00427  | 0.00432  | 0.00416  | 0.0043   |

**Çizelge 4.17.** Fetüs dokularının 2.4 GHz – 2.45 GHz frekanslarında 30 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri

| Fetüs Dokuları     | SAR (W/kg) |          |
|--------------------|------------|----------|
|                    | 2.4 GHz    | 2.45 GHz |
| Plasenta           | 0.00489    | 0.00492  |
| Göbek Bağı         | 0.00076    | 0.00080  |
| Fetüs Baş Dokusu   | 0.00117    | 0.00120  |
| Fetüs Derisi       | 0.00126    | 0.00135  |
| Fetüs Gövdesi      | 0.00110    | 0.00117  |
| Fetüs Kolları      | 0.00127    | 0.00135  |
| Fetüs Bacakları    | 0.00126    | 0.00140  |
| Fetüs Beyin        | 0.00093    | 0.00097  |
| Fetüs Gözleri      | 0.00076    | 0.00081  |
| Fetüs Omurilik     | 0.00080    | 0.00086  |
| Fetüs Akciğerleri  | 0.00123    | 0.00130  |
| Fetüs Kalbi        | 0.00120    | 0.00129  |
| Fetüs Böbrekleri   | 0.00087    | 0.00091  |
| Fetüs Karaciğeri   | 0.00100    | 0.00102  |
| Fetüs Mide         | 0.00077    | 0.00086  |
| Fetüs Safra Kesesi | 0.00106    | 0.00114  |
| Fetüs Kafatası     | 0.00092    | 0.00097  |
| Fetüs Omurgası     | 0.00079    | 0.00088  |

Fetüs dokularının 2.4-2.45 GHz frekans bantlarında 30 cm uzaklığa göre normalize edilen SAR değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Fetüslerin kafataslarının ince olması ve yüksek su içeriği gibi nedenlerle, fetüs dokularının dielektrik özellikleri yetişkinlere göre daha yüksektir. Ayrıca antenlerin radyasyonu ile fetüslerin vücudunun “rezonans” adında bir etkileşime girdiğini ve vücudunun aynı bir anten gibi cihazların elektromanyetik alanını üzerlerinde topladığından yetişkinlere kıyasla hamile bayanlarda yüksek SAR değerleri elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Tahmin edilen fetüs dokularının normalize edilmiş SAR değerleri ICNIRP’nin belirlemiş olduğu yasal sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Tasarlanan anten modelleriyle normalize edilen SAR değerleri üzerinden 3 cm uzaklığa göre ölçüm yapılan cep telefonu, tablet ve mikrodalga fırın gibi elektrikli cihazların gerçek SAR değerleri tahminleri Çizelge 4.18’de verilmiştir.

CST Suite Studio programında 1800 MHz, 2.4 GHz ve 2.45 GHz frekans bantlarında çalışan patch anten tasarımı yapılarak programın datasında bulunan voksellerin yardımıyla tahmin edilen SAR değerleri normalize değerler olarak kabul edilmiştir. Tahmin edilen gerçek SAR değerleri ise üç farklı frekans bandında çalışan anten tasarımı ile telefon, tablet ve mikrodalga fırını olarak düşünülmüş, 1800 MHz frekans bandında çalışan antenin telefonu, 2.4 GHz frekans bandında çalışan antenin tablet cihazını, 2.45 GHz frekans bandında çalışan antenin de mikrodalga fırına karşılık geldiği varsayılarak hesaplanmıştır. SAR değeri elektrik alanlarının karesiyle doğru orantılıdır. Normalize olarak tahmin edilen SAR değerlerine ilişkin tasarlanan antenlerin elektrik alanları Çizelge 4.18'in ilgili yerinde verilmiştir. Normalize kabul edilen antenlerin elektrik alanın kareleriyle tahmin edilen SAR değerinden yararlanarak, 3 cm uzaklıkta ölçümü gerçekleştirilen cep telefonu, tablet ve mikrodalga fırın cihazlarının elektrik alan değerlerinin kareleri ile gerçek SAR değeri sonucuna ulaşılmıştır. Hesaplamalarda çocuk, hamile kadın olan Katja ve ortalama erkek olan Austin modeli ele alınmıştır.

Elde edilen verilere göre 3 cm baz alınarak ölçülen elektrik alana göre hesaplanan gerçek SAR değerleri ICNIRP'nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.18.** Çeşitli elektrik aletlerin 3 cm uzaklığa göre gerçek SAR değerleri

| Cihazlar | Cep Telefonu<br>(1800 MHz) |                              |                     |                        | Tablet<br>(2.4 GHz)    |                              |                     |                        | Mikrodalga Fırın<br>(2.45 GHz) |                              |                     |                        |
|----------|----------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|
|          | E (V/m)<br>(Normalize)     | SAR<br>(W/kg)<br>(Normalize) | E (V/m)<br>(Gerçek) | SAR (W/kg)<br>(Gerçek) | E (V/m)<br>(Normalize) | SAR<br>(W/kg)<br>(Normalize) | E (V/m)<br>(Gerçek) | SAR (W/kg)<br>(Gerçek) | E (V/m)<br>(Normalize)         | SAR<br>(W/kg)<br>(Normalize) | E (V/m)<br>(Gerçek) | SAR (W/kg)<br>(Gerçek) |
| Çocuk    | 12.37                      | 0.0755                       | 0.12                | 0.00000711             | 23.45                  | 0.113                        | 1.32                | 0.000358               | 25.81                          | 0.119                        | 13.55               | 0.0327                 |
| Katja    | 21.2                       | 0.0622                       | 0.12                | 0.00000199             | 34.51                  | 0.072                        | 1.32                | 0.0001053              | 37.03                          | 0.074                        | 13.55               | 0.0099                 |
| Austin   | 27.86                      | 0.0417                       | 0.12                | 0.00000077             | 39.8                   | 0.069                        | 1.32                | 0.0000759              | 44.05                          | 0.071                        | 13.55               | 0.00671                |

## 5. SONUÇLAR

İnsanların yaşam alanlarında sıklıkla kullanılan elektrikli cihazlardan ölçülen elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin hem düşük frekans bölgesinde hem de yüksek frekans bölgesinde ICNIRP'nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür. Ölçüm sonuçları arasından en yüksek elektrik alan değeri 3 cm uzaklıkta mikro dalga fırın cihazından 13.55 V/m, en düşük elektrik alan değeri ise 1 m uzaklıkta cep telefonu cihazından 0.05 V/m olarak ölçülmüştür. Manyetik alan ölçüm sonuçlarında da en yüksek 3 cm uzaklıkta elektrikli süpürge cihazından 9.81  $\mu$ T, en düşük 1 m uzaklıkta akıllı saat ve tablet cihazlarından 0.023  $\mu$ T olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının uzaklıkla ters orantılı olduğu saptanmıştır.

Düşük frekans bölgesi olan 50 Hz ile 100 kHz arasında teorik olarak hesaplanan elektrik alan şiddeti dış manyetik alanın yönüne veya vücudun boyutuna göre değişiklik göstermektedir. Dış manyetik alan modelin uzun eksenine paralel olarak ( $B_0//a$ , yani modelin uzun eksenini ile hizalı) uygulandığında, vücuda indüklenen alan diğer alan-vücut konfigürasyonlarından ( $B_0//b$  ve  $B_0//c$ ), daha azdır. En büyük indüklenen alan kuvveti, vücudun yan ekseninin uzunluğu ile hizalanır. Sonuç olarak, indüklenen alan gücü, vücudun şekli ve boyutuna, maruz kalma sıklığına ve vücudun alana göre yönelimine göre değişebilir. 1  $\mu$ T'ye normalize edilen dış manyetik alanın etkisiyle elipsoid model üzerinde nümerik hesaplanan maksimum elektrik alan şiddeti ve indüklenen akım yoğunlukları, ICNIRP kısıtlamalarının altında kalmaktadır.

Düşük frekans bölgesinde elde edilen sonuçlar ışığında dış manyetik alanın modelin uzun eksenine paralel olarak ( $B_0//a$ , yani modelin uzun eksenini ile hizalı) uygulandığında indüklenen manyetik alan ile akım yoğunluğunun daha az olduğu sonucu üzerine, konutlarda elektrik kablolarının konumlandırılması konusunda çalışmanın örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. Sağ el kuralına göre akımın yönü biliniyorsa manyetik alanın yönü bulunur. Elektrik kablolarıyla çevrelenmiş duvara yaslı yatakta uyuyan bir çocuk düşünelim. Elde ettiğimiz sonuca göre yatakta uyumakta olan çocuğa manyetik alanın gövdeye dik gelmesi sağlanarak indüklenen elektrik alanının minimum değeri elde edilir. Sağ el kuralına göre ise manyetik alanın vücuda dik gelebilmesi için akım yönünün de manyetik alana dik konumlanması gerekir. Akım yönünün dik olabilmesi için ise elektrik kablolarının duvara dik yerleştirilmesi gerekmektedir.

1  $\mu$ T'ye normalize edilen dış manyetik alanının etkisiyle indüklenen elektrik alanı CST Studio Suite programıyla elde edilen benzetim sonuçları ile analitik sonuçların karşılaştırılması sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir. İndüklenen maksimum elektrik alan değerlerinin benzetim sonuçları da ICNIRP'nin halk maruziyeti ve mesleki maruziyet için belirlemiş olduğu kısıtlama limitinin altında olduğu görülmüştür.

Yüksek frekans bölgesinde özgül soğurma oranı benzetim sonuçları olası senaryolar baz alınarak hesaplanmıştır. Kafa, göz, el, göğüs gibi vücudun belirli kısımlarında farklı yön ve uzaklıklar doğrultusunda sonuçlar elde edilmiştir. Dört farklı frekans bandında çalışan anten tasarımı ile telefon, WiFi ve mikrodalga fırın cihazlarının modellenmesi örneklendirilmiştir. 900 MHz ve 1800 MHz frekans bandında çalışan antenler telefonu, 2.4 GHz frekans bandında çalışan anten WiFi cihazını, 2.45 GHz

frekans bandında çalışan anten ise mikrodalga fırını simgelemektedir. Anten modelleri için patch antenlerin tasarımı yapılmış, S parametreleri, VSWR grafikleri çalışmanın ilgili yerlerinde verilmiştir. Dört farklı frekans bandında çalışan antenlerin ayrı ayrı senaryolar üzerinde özgül soğurma oranı hesaplanmıştır. Çalışmada verilen benzetim sonuçları arasında 900 MHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek bebek vokselinin kafa-kulak kısmının 1 cm uzaklığında olduğu, 1800 MHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek Austin vokselinin kafa-kulak kısmının 1 cm uzaklığında olduğu, 2.4 GHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek Austin vokselinin kafa-kulak kısmının 3 cm uzaklığında olduğu ve 2.45 GHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek çocuk vokselinin kafa-göz kısmının 30 cm uzaklığında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada verilen sayısal benzetim sonuçları arasında ise 900 MHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek yine bebek vokselinin kafa-kulak kısmının 1 cm uzaklığında olduğu, 1800 MHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek bebek vokselinin kafa-kulak kısmının 1 cm uzaklığında olduğu, 2.4 GHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek çocuk vokselinin kafa-göz kısmının 3 cm uzaklığında olduğu ve 2.45 GHz antenden kaynaklı özgül soğurma oranı en yüksek çocuk vokselinin kafa-kulak kısmının 30 cm uzaklığında olduğu gözlemlenmiştir. Özgül soğurma oranlarının uzaklığa, organların elektriksel iletkenliğine ve antenin çalışma frekansına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Maksimum özgül soğurma değerlerinin vücudun yüzeyinde olduğu saptanmıştır. Sonuçların karşılaştırması ile özgül soğurma oranının değeri yaş gruplarına, doku özelliklerine, etkileşim durumundaki cihazın çalışma frekansına, uzaklığa bağlı konumuna göre değişkenlik göstermektedir. Uzaklık ile ters orantılı olduğu, çalışma frekansı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Doku özellikleri olarak ise çocuk, hamile gibi kişilerde ortalama insanlara göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Çocuklar ile ortalama bir erkek modelinde aynı frekans ve aynı organlar üzerinde karşılaştırma yapıldığında, çocuklarda daha yüksek özgül soğurma oranı sonuçları gözlemlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında 900 MHz frekans bandında çalışan antenin 1 cm uzaklığında kafa bölgesinde çocukta tahmin edilen SAR değeri 0.0657 W/kg, ortalama erkek olan Austin modelinde tahmin edilen SAR değeri ise 0.0499 W/kg olarak; 30 cm uzaklığındaki karın bölgesinde hamile kadın olan Katja modelinde tahmin edilen SAR değeri 0.00103 W/kg, ortalama kadın olan Emma modelinde tahmin edilen SAR değeri 0.000619 W/kg olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, çocuk, hamile gibi kişilerde ortalama insanlara göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Veriler ışığında çocuklar, hamileler gibi grupların daha fazla risk altında olduğu saptanmıştır.

Elektromanyetik kirlilikten çocukların vücut yapılarının küçük olması nedeniyle daha fazla doz etkisinde kalabildikleri için çocuklar yetişkinlere göre daha çok etkilenmektedirler. Çocukların kafataslarının yetişkinlere göre daha ince olması nedeniyle elektromanyetik alan kaynağı olarak tasarlanan 4 farklı antenden yayılan elektromanyetik alanın çocukların beynine daha kolay ulaştığı ve bu antenlerin radyasyonu çocuk vücudunun “rezonans” adında bir etkileşime girdiğini ve çocukların vücudunun aynı bir anten gibi cihazların elektromanyetik alanını üzerlerinde topladığı, ayrıca yüksek su içeriği nedeniyle, çocukların dokularının dielektrik özellikleri yetişkinlere göre daha yüksek olması ve sadece bu yüksek dielektrik özellikleri nedeniyle bile yetişkinlere kıyasla yüksek SAR değerleri elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

CST Suite Studio programı ile farklı voksellerin 10 gr doku üzerindeki SAR değerleri, dokuların farklı uzaklıklara göre analizleri ile 3 cm uzaklığa göre normalize edilmiş elektrik alan, SAR değeri ve gerçek SAR değerinin verildiği tabloların incelenmesi sonucunda literatür ile uygun bulunmuş, araştırmalara da örnek teşkil edeceği düşünülmüştür. Virtanen vd. (2007) yayınında analiz edilen 900 MHz, 1800 MHz ve 2.45 GHz antenlerin 10 gr dokulardaki maksimum SAR değerlerinin frekans etkenine göre değişimi bu çalışmada elde edilen SAR değerlerindeki frekans etkeni ile benzerlik göstermektedir. 2016 yılında Bhat tarafından yayınlanan 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz ve 2.45 GHz frekans bandında çalışan antenlerin farklı uzaklıklarda 10 gr doku üzerinde oluşturduğu elektrik alan ve SAR değerleri nümerik hesaplanarak 5 m uzaklıktaki kulenin etkisiyle telefonun 0.5 mm uzaklığa göre deri dokusunda 900 MHz’de oluşturduğu SAR değeri 0.036969 W/kg, 1800 MHz’de oluşturduğu SAR değeri 0.053299 W/kg; bu çalışmada ise CST Suite Studio programı ile Austin modelinin 1 cm uzaklığa göre deri dokusunda 900 MHz’de oluşturduğu SAR değeri 0.0401 W/kg, 1800 MHz’de oluşturduğu SAR değeri 0.155 W/kg olarak tahmin edilmiş olup, anten karakteristiği ve nümerik analizlerin kısıtları nedeniyle sonuçlarda farklılık gözlemlenebilmektedir. Mondal vd. (2015) çalışmasında 900 MHz ve 1800 MHz frekans bandında çalışan düzlemsel dikdörtgen şekilli tasarlanan antenin homojen kafa modelini baz alarak 10 gr’lık kafa dokularında 1 mm uzaklıktaki SAR değeri 900 MHz’de 0.321 W/kg, 1800 MHz’de 0.945 W/kg; bu çalışmada ise aynı frekanslarda tasarlanan patch antenin homojen olmayan Austin modelinin 1 cm uzaklığında 900 MHz’de 0.0499 W/kg, 1800 MHz’de 0.159 W/kg olarak tahmin edilmiş olup, sonuçların tasarlanan anten tipi ile homojen ya da homojen olmayan doku özelliklerinin SAR değerine etkisi gözlemlenmiştir. Bhat vd. (2013) yayınında 0.25 mm uzaklıkta 900 MHz ve 1800 MHz frekans bandında çalışan mobil telefon antenleri tarafından dokulara göre SAR değerleri örneğin beyin dokusunda 900 MHz’de 0.0000196568 W/kg, 1800 MHz’de 0.0000210703 W/kg, kan dokusunda 900 MHz’de 0.000166143 W/kg, 1800 MHz’de 0.000170735 W/kg; bu çalışmada ise 1 cm uzaklıkta aynı frekanslarda çalışan 0.5 W sürme gücü ile normalize edilen antenler tarafından Austin modelinin 3 cm uzaklığında kafa dokusunda 900 MHz’de SAR değeri 0.0139 W/kg ve elektrik alanı 21.67 V/m, 1800 MHz’de SAR değeri 0.0417 W/kg ve elektrik alan 27.86 V/m olarak bulunmuş olup, 3 cm uzaklıkta normalize tahmin edilen SAR değerleri ile gerçek SAR değeri hesabı yapıldığında elde edilen veriler benzerlik göstermektedir. El Dein vd. (2010) yayınında 900 MHz ve 1800 MHz frekans bandında çalışan antenlerin oluşturduğu beyin sıvısıyla doldurulmuş kafa derisi baz alınarak hesaplanan SAR değerleri 900 MHz’de 0.593 W/kg, 1800 MHz’de 0.922 W/kg; bu çalışmada ise kafa dokularının tümünün yer aldığı Austin modelinin 1 cm uzaklığında 900 MHz’de 0.0499 W/kg, 1800 MHz’de 0.159 W/kg olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca yayında belirtilen toplam SAR değerinin çocuklarda yetişkinlere kıyasla daha yüksek olduğu sonucu bu çalışma ile uyum göstermektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; literatürdeki çalışmaların elektromanyetik kaynak karakteristiği, simülasyon programı, dokuların elektriksel özellikleri gibi nedenlerden ötürü sonuçlarda farklılıklar oluşabilmektedir (Belrhiti vd. 2018).

Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komitesi (ICNIRP) kılavuzu incelendiğinde, kılavuzda yer alan limit değerlerin sağlık etkileri için kesinlik arz etmediği, konuyla ilgili daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerektiği belirtilmektedir. Elektromanyetik alanlardan kaynaklanabilecek sağlık problemlerinde ilgili kurum ve kuruluşların da desteği alınarak, canlılar üzerinde daha uzun süren



çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında hesaplanan sonuçların ICNIRP'nin belirlemiş olduğu sınır değerlerinin de altında olduğu görülmüştür.

Bireylerin elektromanyetik alan ile karşılaşması elektrik enerjisinin kullanımı veya elektrik iletimi olan cihazların çevresinde bulunulması ile gerçekleşmektedir. EM alanların canlılara etkisi olduğu bilinmekte fakat bu etki mekanizmasının her frekans için farklı olduğu da bilinmektedir. Elektromanyetik alanların oluşturduğu biyolojik ve elektronik etkilerinin araştırılması başta mesleki maruziyet ve genel halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. EM alanlar çevremizi kuşatmakta olup, kaynaklarının gittikçe artan bir biçimde kullanılması, maruziyet miktarının da potansiyel seviyesinde bir artışa sebep olmaktadır. Geçmişte EM alanların atmosferde oluşan doğal seviyesi hayli düşük değerde iken günümüzde endüstrileşme ile birlikte EM enerjinin kullanımının yaygınlaşması, EM alanların her frekansında insan, hayvan ve elektronik sistemleri etkileyen bir artış meydana getirmiştir. EM alanlarının kullanımının gelecekte de daha da artış göstereceği varsayılırsa maruziyetin önemi daha da artmaktadır. EM alan uygulamaları ile ilgili mesleklerde çalışanlar, ısıma yapan cihaza sürekli olarak yakın mesafede kaldıkları için yüksek derecede risk altındadırlar. EM alanların iki tür biyolojik etkisi vardır. Birincisi kısa zamanda hissedilen etkiler diyebileceğimiz baş ağrıları, göz yanmaları, yorgunluk, halsizlik ve baş dönmeleri gibi şikayetlerdir. Ayrıca gece uykusuzlukları, gündüz uykulu dolaşım, bıkınlık ve sürekli rahatsızlık nedeniyle topluma katılmamak gibi sonuçlar da literatürde yer almaktadır. İkincisi ise moleküller ve kimyasal bağlara, hücre yapısına, vücut koruma sistemine yaptığı ve uzun sürede ortaya çıkabilen etkilerdir. EM alanların kansere yol açıcı bir faktör olduğunun kesinleşmesi için insanlar üzerinde, uzun süreli, epidemiyolojik ve deneysel çalışmaların daha fazla yapılması gereklidir. Bu etkilerin oluşması EM alanların frekansına, dozajına, vücut ölçülerine, vücudun elektriksel özelliklerine, EM alan kaynağına olan uzaklığa ve en önemlisi maruziyet süresine bağlıdır. Dışarıdan radyasyona maruz kalma sonucu oluşan elektriksel indüklenmenin, çeşitli biyolojik organları nasıl etkileyeceğine dair birçok araştırmalar yapılmaktadır. Başlıca örneklerden; hayvan hücre ve dokusu üzerinde laboratuvar çalışmalarında, EM alanların, hücreler arası aktiviteyi etkilediği, hormon salgısını etkilediği, vücudun koruma sistemini etkilediği, genç insanların gözünde zamansız katarakt oluşturduğu, yüz derisinde döküntüler meydana getirdiği, embriyolarda anormal gelişmeleri etkilediği, bağışıklık sistemini bozduğu, metabolizmayı etkilediği, alzheimer, parkinson hastalıklarının oluşumuna neden olduğu, halüsinasyon, baş ağrısı ve depresyon oranlarında da artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. EM alanlara işyerinde maruz kalanlarda beyin tümörü, erkek meme kanseri, lösemi riskinde artış, kromozom kırığı ve anne karnındaki bebeğin normal gelişimine (teratojen) etki ortaya çıkabileceği gözlemlenmiştir.

Ev ve iş yerlerinde etrafımızı çevreleyen cihazların zararlarını minimum düzeyde tutulması için bireylerin kendi imkanları doğrultusunda alabilecekleri önlemleri alması da son derece önemlidir. Bunlardan bazıları; elektrikli aletleri ya kapalı tutunuz ya da fişten çıkarılmalıdır. Cihazlar "Stand by" konumunda kaldığı sürece elektromanyetik kirlilik yaratacaktır. Günümüz teknolojisiyle birlikte LED, LCD veya plazma bilgisayar ekranlarını kullanmaya özen gösterilmelidir. Bilgisayar ekranı ile klavye arasına en az 1 m mesafe koyulmalıdır. Ekonomi (halojen ve floresan) lambalarını okuma lambası olarak kullanmamaya özen gösterilmelidir. Dinlendirici bir uykuya geçmek için en ideal koşulun yatak odasında TV ve bilgisayar bulundurmamak veya bu cihazların tamamen kapalı

konumda olmasını sağlamaktır. Elektrikli battaniye yatağa girmeden kapatılmalıdır. Elektrikle çalışan radyolu çalar saatleri başınızdan mümkün olduğunca uzakta tutulmalı, mümkünse pille çalışanlarını tercih edilmelidir. Saç kurutma makinesinin manyetik alanı yüksektir bu nedenle, sürekli kullanmak yerine aralıklarla kısa süreli ve mesafeli kullanılmalıdır. Tüm VDU'lerin (TV, bilgisayar) arkalarında Elektromanyetik (EM) alan daha büyüktür. Bu nedenle komşu duvara bu aletlerin nereye yerleştiğine dikkat ederek dizayn yapılmalıdır. Yatağınızı EM alanlardan mümkün olduğunca uzağa yerleştirilmelidir. Özellikle başucunuzun, herhangi bir elektromanyetik alan kaynağına uzak olmasına özen gösterilmelidir. Elektrikli cihazları prizden çekilmeli, cep telefonunu kapatılmalı, zorunlu hallerde ise en az 1 metre uzakta tutulmalıdır. Bebek odası dinleme cihazlarının (baby phone) kullanılması önerilmemektedir. Kullanılması zorunlu olduğu hallerde bebek yatağından uzak tutmaya özen gösterilmelidir. Bebek odaları, yatak odaları ve çocukların yakınında cep telefonu bulundurmamaya dikkat edilmelidir. Özellikle pandemi sürecinde çocukların tablet, bilgisayar, telefon gibi cihazlarla etkileşimi arttığı açıkça görülmektedir. Bu cihazların vücudun uzuvlarına, kucakta gibi kullanımına dikkat edilmeli, mesafeleri kullanılmasına özen gösterilmelidir. Dizüstü bilgisayarlar aslında Diz üstünde kullanılmaması gereken cihazlardır. Dizüstü bilgisayarı mutlaka bir sehpanın/masanın üzerinde veya diz üzerine bir minder yerleştirerek kullanılmalıdır. Cep telefonlarını sohbet amaçlı kullanmamalı, kullanılmayan sürede mümkünse kapalı tutulmalıdır. Kalp üzerinde, göğüste açıkken taşımamaya dikkat edilmelidir. Kalp pili kullanıcılarının telefonu üzerlerinde taşıması önerilmemektedir. Cep telefonu kullanırken kesinlikle kablolu kulaklık kullanılmalıdır. Açık durumda iken vücudunuzdan mümkün olduğunca uzakta taşımaya özen gösterilmelidir. SAR değeri 1 W/kg'dan az olan veya sıfıra en yakın telefonları tercih edilmelidir. Hareket halinde iken cep telefonunuzu kullanmamalı, cep telefonu hareket halinde iken bir baz istasyonu kapsama alanından diğerinden geçerken çok güç harcayacağından konuşma gerekiyorsa durup ve konuşulmalıdır. Çocuklarda ve gençlerde sinir sistemi ve beyin gelişimine devam ediyor olması dolayısıyla, yetişkinlerden daha çok risk altında olduğu bir gerçektir. Bu nedenle 16 yaş altındaki çocukların cep telefonu kullanmamaları, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilmektedir. Hamilelerin cep telefonu kullanması önerilmemektedir. Çocukların ve yaşlıların zorunlu olmadıkça cep telefonu kullanmamalarına özen gösterilmelidir. Cep telefonu ile konuşmak yerine mesajlaşmayı tercih etmek, cep telefonunu çekim gücünün zayıf olduğu yerlerde değil güçlü olduğu yerlerde kullanmak maruz kalınan EM alan seviyesini düşürebilir. Bu nedenle asansör gibi çekim gücünün az olduğu yerlerde cep telefonu kullanmamaya çalışılmalıdır. Kablolu kulaklık olmadığı durumlarda telefonu açıp sonra kulağa götürülmelidir. Mümkünse hoparlör özelliği kullanılmalıdır. Kulağa götürülmesi durumunda telefonu birkaç cm uzakta tutmaya dikkat edilmelidir. İnternet bağlantısı için kablolu modem kullanılmalıdır. Kablosuz teknolojilerini mümkün olduğunca kullanmamayı tercih edilmelidir. WiFi (kablosuz erişim) özelliği olan dizüstü bilgisayar kullandığınızda ve açık tutulduğunda cihaz bir anten görevi görür ve etraftaki tüm RF dalgaları toplar. Kablosuz interneti kullanılmadığında bilgisayarın WiFi özelliğini kapatılmalıdır. Fotokopi makinelerinden (yüksek manyetik alan) en az 50 cm uzakta durulmalıdır. Elektrikli tıraş makinesini mümkünse şarjlı modellerini kullanması tercih edilmelidir. Mikrodalga fırın çalışırken 1 m mesafeden daha yakınında olmamaya özen gösterilmelidir. Gereksizce kullanılmamalı, mümkünse çalıştırıldığında mutfakta bulunulmamalıdır. Aspiratör kullanırken, eğer yakınıdaysanız maksimum seviyede kullanmamaya özen gösterilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abad, M., Malekafzali, H., Simbar, M., Mosaavi, H.S., Khoei, E.M. (2016). Association Between Electromagnetic Field Exposure and Abortion in Pregnant Women Living in Tehran. *International Journal of Reproductive BioMedicine*, 14(5): 347.
- Abdulrazzaq, S.A. and Aziz, J.S. 2013. SAR Simulation in Human Head Exposed to RF Signals and Safety Precautions. *IJCSET*, Vol 3, Issue 9, 334-34.
- Adel, Z. El Dein, Amr, A. 2010. Specific Absorption Rate (SAR) Induced in Human Heads of Various Sizes When Using a Mobile Phone. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2010*, Londra- İngiltere.
- Ae-kyoung, L., Hyung-do, C., Hyung-soo, L. and Jeong-ki, P. 2002. Human Head Size and SAR Characteristics for Handset Exposure. *ETRI Journal*, Vol. 24, No 2.
- Akal, D. 2016. Çağrı Merkezi Çalışma Ortamının Elektromanyetik Alan Ölçümü ile İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 115 s.
- Aksan, Ö. 2019. Bir Devlet Hastanesindeki Elektromanyetik Alan (Ema) Tespiti Ve Sağlık Çalışanlarına Olası Sağlık Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 35 s.
- Aktaş, B. 2016 Bir Elektrik Dağıtım firmasında Elektromanyetik Alan Ölçümü ve Çalışanlar Üzerindeki Olası Etkilerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi. Journal of Engineering Sciences and Design*, 4(3), 203-214.
- Anonymous 1: Tissprop species file online. <https://niremf.ifac.cnr.it/tissprop> [Son erişim tarihi: 04.12.2021].
- Anonymous 2: Dielectric-properties species file online. <https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/dielectric-properties> [Son erişim tarihi: 04.12.2021].
- Arslantaş N. 2012. Elektromanyetik Alan (EA) Şiddetinin Okul ve Sağlıl Kuruluşları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara, 98 s.
- Ata, R., Deligöz, O., Arıkan, E. 2016. Manisa Merkezi Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkartılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1): 67-74.
- Atakan,Y. 2016. Trafo ve yüksek gerilim hatlarının yaydığı elektromanyetik dalgaların sağlığa etkisi nedir?. <https://www.herkesebilimteknoloji.com> [Son erişim 04.11.2021].
- Atakan,Y. 2014. Radyasyon ve Sağlığımız?.2014. Nobel Yayınları 378 s.
- Atılğan, E., Karadana, Y., Çömlekçi, S. 2013. Wi-Fi Haberleşmede İnsan Kafası Modelinde SAR Değerinin Hesaplanması ve Ölçüm Çalışması. *Süleyman Demirel University Journal of Technical Sciences*.

- Aygün, T. 2019. Samsun İlindeki Hastanelerde Kısa ve Uzun Süreli Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Değerlendirmeler. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 78 s.
- Baumgardt-Elms, C., Schumann, M., Ahrens, W., Broman, K., Stang, A., Jahn, I., Jockel, K.-H. 2005. Residential exposure to overhead high-voltage lines and the risk of testicular cancer: results of a population-based case-control study in Hamburg (Germany). *International archives of occupational and environmental health*, 78(1), 20-26.
- Balcı, K. 2017. Edirne Merkez İlçede Bulunan İlkokullarda Elektromanyetik Kirlilik. Tıpta Uzmanlık Tezi Trakya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Edirne, 136 s.
- Bayer Keskin, S.E., Güler, C., Aymaz, R.B., Gürsoy, G.S. and Özbey E. 2019. 2.4 Ghz Geniş Bant Mikroşerit Anten Tasarımı. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 5-1(2019) 1-14.
- Belrhiti, L., Riouch, F., Tribak, A., Terhzaz, J., Sanchez, A.M. 2017. Investigation of Dosimetry in Four Human Head Models for Planar Monopole Antenna with a Coupling Feed for LTE/WWAN/WLAN Internal Mobile Phone. *J. Microw. Optoelectron. Electromagn. Appl.* vol.16 no.2 São Caetano do Sul.
- Belrhiti, L., Riouch, F., Tribak, A., Terhzaz, J., Bouyahyaoui, A., Sanchez, A. M. 2018. Comparison and Evaluation of SAR Induced in Four Human Head models for Two Types of Antennas Used in Mobile Telephones. *6th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*.
- Bertocco, M., Farias, M., Offelli, C., Sona, A. 2002. A Measurement System for the Evolution of Environmental Electromagnetic Field. *Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Anchorage, USA*, 21-23 May 2002.
- Bhat, M. A., Kumar, C. 2013. Calculation of SAR and Measurement of Temperature Change of Human Head Due To The Mobile Phone Waves At Frequencies 900 MHz and 1800 MHz. *Advances in Physics Theories and Applications*, Vol.16.
- Bhat, M. A. 2016. Health Hazardous of Specific Absorption Rate (SAR) of Mobile Phone Tower Waves. *American Research Journal of Physics*. Volume 2016, 5 pages.
- Bhargava, D., Leeprechanon, N., Rattanadecho, P. and Wessapan, T. 2018. Specific Absorption Rate And Temperature Elevation In The Human Head Due To Overexposure To Mobile Phone Radiation With Different Usage Patterns. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol.130.
- Bongers, S., Slottje, P., Portengen, L., Kromhout, H. 2016. Exposure to static magnetic fields and risk of accidents among a cohort of workers from a medical imaging device manufacturing facility. *Magn Reson Med*, 75: 2165 – 74.
- Bornkessel, C., Schubert, M., Wuschek, M., Schmidt, P. 2007. Measurement and Calculation of General Public Electromagnetic Exposure Around GSM and UMTS Cellular Base Stations. *International ITG-Conference on Antennas, Munich, Germany*, 28-30 May 2007.
- Boylubay, Ö. 2016. Antalya'da lösemi, lenfoma ve primer santral sinir sistemi tümörü tanısı alan çocukların yaşadıkları konutlardaki elektromanyetik alan düzeyi ile bu

- kanserlerin ilişkisi. Tıpta Uzmanlık Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Antalya, 176 s.
- Cansız, M., Kurt, M. B. 2012. Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3, 101-110.
- Chen, H., Wang, H. 1994. Current and SAR Induced in a Human Head Model by the Electromagnetic Fields ICradiated from a cellular Phone. *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 42 (12), 2249 – 2254.
- Çallıalp Kunter, F., Gunduz, C. and Seker, S.S. 2018. Computation Of SAR and Temperature Values In The Human Head Due To 2G, 3G, 4G Mobile Wireless System. *Jast*, 11(1):1-6
- Çallıalp Kunter, F., Cırık Acıkaya, F. 2017. Farklı Mesafe ve Açılarda RF Yayılımına Maruz Kalan İnsan Kafasındaki Sıcaklık ve Özgül Soğurma Oranı Dağılımı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Vol.9.
- Çerezci, O., İşman, A., Öztürk, E. ve Kıyıcı, M. 2001. Cep Telefonlarının Çocuklar Üzerinde Sağlık Etkisi. *Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 0, Sayı 1.
- Çerezci, O., Yener, Ş.Ç. 2016. Sağlık Kuruluşlarında Elektromanyetik Kirliliğin İncelenmesi. *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science - ISITES2016 Proceedings*, 1532-1540, Antalya.
- Chen, H., Wang, H. 1994. Current and SAR Induced in a Human Head Model by the Electromagnetic Fields ICradiated from a cellular Phone. *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 42 (12), 2249 – 2254.
- Dimbylow, P.J. 1991. FDTD Calculations of the SAR for a Dipole Closely Coupled to the Head at 900 MHz and 1.9 GHz. *Physics in Medicine and Biology*, 36 (8), 1075-1089.
- Dimbylow, P.J. 2005. Development of the female voxel phantom, NAOMI, and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields. *Physics in Medicine and Biology*, 1047-1070.
- Dimbylow, P.J. and Findlay, R. 2010. The Effects Of Body Posture, Anatomy, Age And Pregnancy On The Calculation Of Induced Current Densities At 50 Hz. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 139, No. 4, pp. 532–538.
- Dimbylow ,P.J. 1994. SAR Calculations in an Anatomically Realistic Model of the Head for Mobile Communication Transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz, *Physics in Medicine and Biology*, 39, 1537- 1553.
- Dincer, H. 2001. Elektromagnetik Işınımların İnsan Sağlığına Etkisi. *Kocaeli Üniversitesi Elektronik Haberleşme Sistemleri Araştırma ve Uygulama Merkezi*. Ocak 2001 Yıl 8 Sayı:86 S.43-47, Mart 2001 Yıl 8 Sayı:88 S. 43-47, Nisan 2001 Yıl 8 Sayı:89 S. 43-46 Popüler Bilim.
- Draper, G., 2005. Chilhood Cancer in Relation to Distance From High Voltage Power Lines in England and Wales: A Case- Control Study. *BMJ*:1290-1293.

- Durney, C. H., Mussoudi, H. and Iskender, M. F. 1986. Radio frequency radiation dosimetry handbook 4th ed. Brooks Air Force Base, TX: United State Air Force, School of Aerospace Medicine, Report USAFSAMTR-85-73.
- Düzgün, S. 2009. Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 149 s.
- El Dein, A. Z., & Amr, A. 2010. Specific absorption rate (SAR) induced in human heads of various sizes when using a mobile phone. *2010 7th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices*.
- Elhasoğlu, D. 2006. Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri. Adana: *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-11.
- Engiz, B.K., Kurnaz, Ç. 2018. Ev Ortamında Maruz Kalınan Baz İstasyonu Kaynaklı Elektrik Alan Şiddetinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3): 913-920.
- Fırlarer, A. Elektromanyetik Alanlar: Sağlığımız için tehdit mi yoksa kurtarıcı mı? [Son erişim tarihi 07.12.2021]
- Goel, A., Richa A. 2014. Evaluating the Effect of Distance on Specific Absorption Rate Vllues inside a Human Head Model. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 12 (1), 186-189.
- Gökdeniz, M. 2016. Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi'nin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Olası Sağlık Etkilerinin Değerlendirilmesi. Tıpta Uzmanlık Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 80 s.
- Güçlü, G. G. 2011. 50 Hz Elektromanyetik Alanlar Ve Biyolojik Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 137 s.
- Hart, F. X. 1992. Numerical And Analytical Methods To Determine The Current Density Distributions Produced İn Human And Rat Models By Electric And Magnetic Fields. *Bioelectromagnetics*, 13(S1), 27-42.
- Hanada, E., Kudou, T. 2018. Managing the electromagnetic environment of hospital IoT systems. In *2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC) Proceedings*, 940-943, Singapur.
- Helhel S. , Özen Ş. , Basyigit I. B. , Kurnaz O., Yoruk Y. E. , Bitirgan M., Colak Z. 2011. Radiated Susceptibility Of Medical Equipment In Health Care Units: 2g And 3g Mobile Phones As An Interferer. *Microwave And Optical Technology Letters*, cilt.53, sa.11, ss.2657-2661.
- Henderson S.I., Bangay M.J. 2005. Survey of RF Exposure Levels from Mobile Telephone Base Stations in Australia. *Bioelectromagnetics*, 27(1), 73-76, 2005.
- ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics 2010.
- IEEE, IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE C95.1-2019 / Cor 2-2020.

- Iqbal-Faruque, M.R., Aisyah-Husni, N., Iqbal-Hossain, Md., Tariqul-Islam, M. and Misran, N. 2014. Effects of Mobile Phone Radiation onto Human Head with Variation of Holding Cheek and Tilt Positions. *Journal of Applied Research and Technology*, Vol.12.
- İl, N., Özen Ş., Carlak, H.F. and Çakır, M. Yer altı Enerji Kabloları Çerçevesinde Oluşan Manyetik Alanların Analizi ve Kontrolü. [www.emo.org.tr](http://www.emo.org.tr) [Son erişim tarihi 15.11.2021]
- İlhan, M.N. 2008. Bir Tıp Fakültesi Hastanesinde Elektromanyetik Alan Haritası Çıkarılması ve Sağlık Çalışanlarında Sağlık Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 79 s.
- Ishida, K., Fujioka, T., Endo, T., Hosokawa, R., Fujisaki, T., Yoshino, R., Hirose, M. 2016. Evaluation of Electromagnetic Fields in a Hospital for Safe Use of Electronic Medical Equipment. *Journal of medical systems*, 40(3): 46.
- Kaur, B., Singh, S. and Kumar, J. 2015. A Study of SAR Pattern in Biological Tissues due to RF Exposure. *Proceedings of 2015 RAECS UIET Panjab University Chandigarh*, 21-22.
- Kaune, W.T., Gutmann, J.L. and Kavet, R. 1997. Comparison of Coupling of Humans to Electric and Magnetic Fields With Frequencies Between 100 Hz and 100 kHz. *Bioelectromagnetics*, 18:67–76.
- Karadeniz, Ş. 2016. Adıyaman il merkezinde elektromanyetik alan şiddetinin ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 130 s.
- Karpowicz, J., Gryz, K. 2006. Health Risk Assessment of Occupational Exposure to A Magnetic Field From Magnetic Resonance Imaging Devices. *Int J Occup Saf Ergon*, 12:155–67.
- Keysan, A. 2015. Balıkesir İli Şehir Merkezi Ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Alan Haritası. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 77 s.
- King, R. W. P. 2004. A Review of Analytically Determined Electric Fields and Currents Induced in the Human Body When Exposed to 50–60-Hz Electromagnetic Fields. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(5), 1186–1192.
- Kocakusak A. , Helhel S. 2021. Marble Pre-selection Chart to Suppress EMF in S-Band and SAR Reduction Capabilities of Them at 2.45 GHz. *Iete Journal Of Research*.
- Korovkin, N., Diop, C.Y. 2016. Minimization of electromagnetic fields intensity and optimization of electrical wiring networks in healthcare facilities. *In 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW) Proceedings*, 604-607, St. Petersburg.
- Koşalay, İ. 2014. Elektromanyetik Alanlar ve Bioenerji Olgusu. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 20(8): 287-293.
- Kurnaz, C., Aygun, T. 2018. Characterization of Indoor and Outdoor Electric Field Strength Levels at Hospitals. *In 2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR), Proceedings*, 1-4, Belgrade.



- Kurnaz, Ç. 2018. An Emprical Modelling of Electromagnetic Pollution on an University Campus. *The Applied Computational Electromagnetic Society Express Journal*, 33(1): 111-114.
- Kurnaz, Ç., Aygün, T. 2018. Elektromanyetik Seviyesinin Belirlenmesi: Ankara Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 650-659.
- Kunter, F., 2015. Students Exposure To Radio Frequency Electromagnetic Fields In Marmara University. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 1-2.
- Linnet, M. S., Hatch, E. E., Kleiner, R. A., Robinson, L. L., Kaune, W. T., Friedman, D. R., Severson R. K., Haines, C. M., Hartsock, C. T., Niwa, S., Wacholder, S., Tarone, R. 1997. 13. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *New Eng. J. Med.*; 337:1- 7.
- Mahmoud, K.R, El-Adawy, M. and Ibrahim, S.M.M. 2008. Investigating The Interaction Between A Human Head And A Smart Handset For 4G Mobile Communication System. *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 2, 169-188.
- Massoudi, H., Durney, C. H. and Johnson, C. C. 1977. Long-wavelength analysis of plane wave irradiation of an ellipsoidal model of Man. *IEEE Transact. Microwave Theory Tech*, MTT-25, 41– 52.
- Matsumoto, T., Hayashi, N., Isaka, K. 2002. Analysis of induced current density in ellipsoidal human model exposed to concurrent ELF electric and magnetic fields with phase differences. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, 2343-2347.
- Mondal, S., & Sarkar, P. P. 2015. Characteristics of a planar metal antenna in vicinity of human head at 900 MHz and 1800 MHz. *Proceedings of the 2015 Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT)*.
- Nikita, K.S., Stamatakis, G.S., Uzunoglu, N.K., Karafotias, A. 2000. Analysis of the Interaction Between a Layered Spherical Human Head Model and a Finite Length Dipole. *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 48 (11), 2003-2012.
- NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences). 2002. Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power, [https://www.niehs.nih.gov/health/materials/electric\\_and\\_magnetic\\_fields\\_associated\\_with\\_the\\_use\\_of\\_electric\\_power\\_questions\\_and\\_answers\\_english\\_508.pdf](https://www.niehs.nih.gov/health/materials/electric_and_magnetic_fields_associated_with_the_use_of_electric_power_questions_and_answers_english_508.pdf) [Son erişim tarihi 07.11.2021].
- Önal, E. (2005) Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 168 s.
- Özdiç Polat, L. N. 2011. Elektromanyetik Alan Yayıncı Cihazların Kas Dokusunda Oluşturduğu Etkinin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 65 s.
- Ozen, S., Carlak, H.F., Colak, O.H., Helhel, S. 2017. Magnetic Field Risk Analysis for Employees and Patients Due To Power Transformers in Hospital Buildings. *Progress In Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS) Proceedings*, 1743-1746, St. Petersburg.



- Ozen, S. 2007. Low-Frequency Transient Electric And Magnetic Fields Coupling To Child Body. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 128, No. 1, pp. 62–67.
- Özen, Ş., Helhel, S., Kahya, G., Çakır, M., Yalçın, S. 2014. Hastane Ortamlarında Manyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruz Kalmanın Değerlendirilmesi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 20(8): 300-303.
- Öztürk, A.E. 2019. Munzur Üniversitesi Aktuluk Yerleşkesinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli, 104 s.
- Öztürk, İ. 2019. Marmara Üniversitesi Başbüyük Yerleşkesi'ndeki Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Farklı Hava Koşullarına Göre Analizi Ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 61 s.
- Periyasamy, M., Dhanasekaran, R., Mahendran, G. 2018. Selected Studies of Electromagnetic Exposure Levels in the Countries of Asia—A Review. *In 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 0906-0910, Chennai.
- Qiu, C., 2004. Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Risk of Alzheimer's Disease. *Epidemiol*, 15:687-694.
- Rashed, M., Faruque, I., Islam, M.T., Misran, N. 2010. SAR Analysis in Human Head Tissues for Different Types of Antennas, *World Applied Sciences Journal*, 11, 1089-1096.
- Sadeghi, T., Ahmadi, A., Javadian, M., Gholamian, S.A., Delavar, M.A., Esmailzadeh, S., Hadighi, M.S.H. 2017. Preterm Birth Among Women Living Within 600 Meters of High Voltage Overhead Power Lines: A Case-Control Study. *Romanian Journal of Internal Medicine*, 55(3): 145-150.
- Sankari, J., Vahekoski, T., Seppälä, T., Korpinen, L. 2016. Examples of Extremely Low-Frequency Magnetic Field Measurements at Treatment Facilities of A University Hospital. *Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS) Proceedings*, 1416-1418, Shanghai .
- Sarıkahya, N. M. 2014. Bir İş Yerinde Elektromanyetik Alan Ölçümü Yapılması ve Sonuçlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 113 s.
- Sarmaşık, G., Durusoy, R., Özkur, A. 2012. Bilgisayar Laboratuvarlarında Maruz Kaldığımız Elektromanyetik Alanların Zararları ve Çözüm Önerileri. *Akademik Bilişim 12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Uşak.
- Saygın, M., Çalışkan S., Gümral N., Soydan, M., Vural H. 2009. 2450 MHz Elektromanyetik Radyasyonun Sıçanların FSH, LH ve Total Testosteron Seviyelerinde Meydana Getirdiği Değişiklikler. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 16, 10-14.
- Saygın, M., Çalışkan, S., Gümral, N., Bocutoğlu, A.Ç., Has, M. 2010. 2450 MHz Elektromanyetik Alan ve Karaciğer Üzerine Etkileri. *S.D.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı. 1/ Cilt.1.

- Schreier, N., Huss, A., Rösli, M. 2006. The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Sozial and Präventivmedizin*, 51 (4): 202-209.
- Semerci, M. 2011. Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklı Elektromanyetik Alan Şiddeti Ölçüm Yöntemleri: Samsun İl Merkezi Saha Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 140 s.
- Silsüpür, G. B. 2014 Farklı İşyerlerinde Elektromanyetik Alan Değerlerinin Ölçülerek Sağlık Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 148 s.
- Stankovic, V., Jovanovic, D., Krstic, D., Cvetkovic, N. 2015. Electric Field Distribution and SAR in Human Head From Mobile Phones. *The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, May 7-9, Bucharest, Romania.
- Şahin, Ö. 2016. Kahramanmaraş İl Merkezinde Elektromanyetik Alan Şiddetinin Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 115 s.
- Türk, A. 2010. Heating Effect Of Electromagnetic Fields On Human Head At GSM Frequencies. *The Degree Of Master Of Science*, Çankaya University, Ankara, 55 p.
- Türkkan, A., Pala, K. 2012. Elektromanyetik Kirlilik ve Sağlık Etkileri. *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri. Özsan Matbaa*, Bursa, 106-120.
- Türkkan, A., Pala, K. 2009. Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon Ve Sağlık Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 14, Sayı 2.
- Tynes, T. and Haldorsen, T. 1997. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.* 145, 219–226.
- Uygunol, O. 2009. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Gsm Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Tespiti ve Konya Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 66 s.
- Virtanen, H., Keshvari, J., & Lappalainen, R. 2007) The effect of authentic metallic implants on the SAR distribution of the head exposed to 900, 1800 and 2450 MHz dipole near field. *Physics in Medicine and Biology*, 52(5), 1221–1236.
- Wertheimer, N., Leeper, E. 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*, 109: 273–284.
- Winterfeldt, D., Eppel, T., Adams, J., Neutra, R., DelPizzo, V. 2004 Managing Potential Health Risks from Electric Powerlines: A Decision Analysis Caught in Controversy, *Risk Analysis*, 26(6):1487-1502.
- Wessapan, T., Srisawatdhisukul, S. and Rattanadecho, P. 2011. Numerical Analysis of Specific Absorption Rate and Heat Transfer in the Human Body Exposed to Leakage Electromagnetic Field at 915 MHz and 2450 MHz. *Journal of Heat Transfer*, Vol.133.
- WHO, World Health Organizations, “Electromagnetic Fields and Public Health, Mobile Telephones and Their Base Stations” 1999.

- WHO, World Health Organizations, “Electromagnetic Fields and Public Health, Mobile Telephones and Their Base Stations” 2014.
- Winterfeldt, D., Eppel, T., Adams, J., Neutra, R., DelPizzo, V. 2004 Managing Potential Health Risks from Electric Powerlines: A Decision Analysis Caught in Controversy, *Risk Analysis*, 26(6):1487-1502.
- Yalçın, D. 2015. 4. Nesil Mobil Haberleşme Sistemlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesine Yönelik Anten Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 96 s.
- Yaman, E. 2011. Hastane Ortamında Elektromanyetik Alan Etkilerinin Ölçüm Yoluyla Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 92 s.
- Yan, Li., Jeff, W., Hand., Tim, Wills. and Jo, V., Hajnal. 2007. Numerically-Simulated Induced Electric Field and Current Density Within a Human Model Located Close to a z-Gradient Coil. *Journal Of Magnetic Resonance Imaging*, 26:1286 –1295.
- Yıldırım, S. 2003. İnsan Kafası Modeli Üzerinden Elektromagnetik Limitlerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 59 s.
- Yıldız, K.B. 2009. İzmir'de İki Ayrı Salık Merkezi Bölgesindeki Süt Çocuklarının Yaşadığı Ortamda Elektromanyetik Alan Ölçümü. Tıpta Uzmanlık Tezi, Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, İzmir, 69 s.
- Yioultsis, T.V., Kosmanis, T.I., Kosmidou, E.P., Zygidis, T.T., Kantartzis, N.V., Xenos, T.D. and Tsiboukis, T.D. 2002. - A Comparative Study of the Biological Effects of Various Mobile Phone and Wireless LAN Antennas. *IEEE Transactions On Magnetism*, Vol. 38, No. 2.
- Yoran, B. 2016. Bir Elektrik Dağıtım Firmasında Elektromanyetik Alan Ölçümü ve Çalışanlar Üzerindeki Olası Etkilerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 77 s.
- Yu, Q., Gandhi, O.P., Aronsson, M. and Wu, D. 1999. An Automated SAR Measurement System for Compliance Testing of Personal Wireless Devices. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 41.
- Zaffanella, L.E., Kalton, G.W. 1998. Survey of Personal Magnetic Field Exposure Phase II: 1000- Person Survey EMFRAPID Program Engineering Project 6. *Oak Ridge, TN: Lockheed Martin Energy Systems, Inc.*

## 7. EKLER

### EK-1. 900 MHz Frekansındaki Doku Özellikleri

**Çizelge 7.1.** 900 MHz frekansındaki doku özellikleri

| Doku                      | $\epsilon$ | $\mu$ | $\sigma$<br>(S/m) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | K<br>(W/mK) | Isı<br>Kapasitesi<br>(kJ/K/kg ) | Kan Akışı<br>(W/K/m <sup>3</sup> ) | Metaboliz<br>ma Hızı<br>(W/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|------------|-------|-------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| Adrenaller                | 59.68      | 1     | 1.038             | 1025                           | 0.40        | 3.60                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Kan                       | 61.36      | 1     | 1.538             | 1050                           | 0.50        | 3.80                            | 1E+06                              | 0                                           |
| Kemik Kortikal            | 12.45      | 1     | 0.143             | 2000                           | 0.40        | 1.30                            | 3E+03                              | 6E+02                                       |
| Kemik Medüller<br>Boşluğu | 20.79      | 1     | 0.340             | 1000                           | 0.20        | 2.70                            | 3E+04                              | 6E+03                                       |
| Kemik Spongioz            | 20.79      | 1     | 0.340             | 1200                           | 0.40        | 1.30                            | 3E+03                              | 6E+02                                       |
| Beyin                     | 45.81      | 1     | 0.767             | 1045                           | 0.50        | 3.70                            | 4E+04                              | 7E+03                                       |
| Meme Bezi Dokusu          | 59.68      | 1     | 1.038             | 1040                           | 0.60        | 3.60                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Bronşlar                  | 42.01      | 1     | 0.771             | 1060                           | 0.50        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kıkırdak                  | 42.65      | 1     | 0.782             | 1100                           | 0.60        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kolon İçeriği             | 57.94      | 1     | 1.080             | 1060                           | 0.60        | 3.60                            | 0                                  | 0                                           |
| Kolon Duvarı              | 57.94      | 1     | 1.080             | 1060                           | 0.60        | 3.60                            | 5E+04                              | 9E+03                                       |
| Göz Ampülü                | 68.90      | 1     | 1.636             | 1010                           | 0.60        | 3.90                            | 0                                  | 0                                           |
| Göz Lensi                 | 46.57      | 1     | 0.793             | 1090                           | 0.40        | 3.70                            | 0                                  | 0                                           |
| Yağ                       | 5.46       | 1     | 0.051             | 900                            | 0.20        | 2.50                            | 2E+03                              | 3E+02                                       |
| Safra Kesesi İçeriği      | 70.19      | 1     | 1.838             | 1010                           | 0.60        | 3.90                            | 0                                  | 0                                           |
| Safra Kesesi              | 59.14      | 1     | 1.257             | 1050                           | 0.60        | 3.90                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kalp                      | 59.89      | 1     | 1.230             | 1080                           | 0.50        | 3.70                            | 5E+04                              | 1E+04                                       |
| Böbrek Korteksi           | 58.67      | 1     | 1.392             | 1050                           | 0.50        | 3.90                            | 3E+05                              | 5E+04                                       |
| Böbrek Medullası          | 58.67      | 1     | 1.392             | 1040                           | 0.50        | 3.90                            | 3E+05                              | 5E+04                                       |
| Böbrek Pelvisi            | 58.67      | 1     | 1.392             | 1050                           | 0.50        | 3.90                            | 3E+05                              | 5E+04                                       |
| Karaciğer                 | 46.83      | 1     | 0.855             | 1050                           | 0.50        | 3.60                            | 7E+04                              | 1E+04                                       |
| Akciğer                   | 36.71      | 1     | 0.657             | 800                            | 0.60        | 3.60                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Lenfatik Düğümler         | 59.68      | 1     | 1.038             | 1030                           | 0.40        | 3.10                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Mukoza                    | 46.08      | 1     | 0.845             | 1070                           | 0.30        | 3.10                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kas                       | 55.03      | 1     | 0.943             | 1080                           | 0.50        | 3.50                            | 3E+03                              | 5E+02                                       |
| Yemek Borusu              | 65.06      | 1     | 1.187             | 1040                           | 0.50        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Yumurtalıklar             | 50.47      | 1     | 1.290             | 1048                           | 0.50        | 3.60                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Pankreas                  | 59.68      | 1     | 1.038             | 1060                           | 0.60        | 3.50                            | 4E+04                              | 7E+03                                       |
| Hipofiz Bezi              | 59.68      | 1     | 1.038             | 1050                           | 0.60        | 3.80                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Prostat                   | 60.55      | 1     | 1.210             | 1045                           | 0.50        | 3.80                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Penis                     | 41.41      | 1     | 0.867             | 1100                           | 0.30        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kas Yağı Ortalaması       | 30.25      | 1     | 0.497             | 1000                           | 0.40        | 3.00                            | 2E+03                              | 4E+02                                       |
| Tükürük Bezleri           | 59.68      | 1     | 1.038             | 1040                           | 0.60        | 3.10                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |

|                        |       |   |       |      |      |      |       |       |
|------------------------|-------|---|-------|------|------|------|-------|-------|
| Deri                   | 43.75 | 1 | 0.856 | 1100 | 0.30 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| İnce Bağırsak İçeriği  | 59.49 | 1 | 2.165 | 1030 | 0.60 | 3.60 | 0     | 0     |
| İnce Bağırsak Duvarı   | 59.49 | 1 | 2.165 | 1030 | 0.60 | 4.20 | 5E+04 | 9E+03 |
| Sinir                  | 32.53 | 1 | 0.574 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Dalak                  | 57.18 | 1 | 1.273 | 1050 | 0.50 | 3.70 | 8E+04 | 2E+04 |
| Mide İçeriği           | 65.06 | 1 | 1.187 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 0     | 0     |
| Mide Duvarı            | 65.06 | 1 | 1.187 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 3E+04 | 5E+03 |
| Dişler                 | 12.45 | 1 | 0.143 | 2200 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Testisler              | 60.55 | 1 | 1.210 | 1050 | 0.50 | 3.70 | 4E+05 | 6E+04 |
| İnce Bağırsak          | 59.49 | 1 | 2.165 | 1050 | 0.60 | 3.70 | 5E+04 | 9E+03 |
| Timus                  | 59.68 | 1 | 1.038 | 1025 | 0.40 | 3.70 | 4E+05 | 6E+04 |
| Tiroid                 | 59.68 | 1 | 1.038 | 1050 | 0.50 | 3.50 | 4E+05 | 6E+04 |
| Dil                    | 55.27 | 1 | 0.936 | 1080 | 0.50 | 3.50 | 3E+03 | 5E+02 |
| Bademcikler            | 59.68 | 1 | 1.038 | 1025 | 0.40 | 3.10 | 4E+05 | 6E+04 |
| Soluk Borusu           | 42.01 | 1 | 0.771 | 1100 | 0.50 | 3.60 | 9E+03 | 2E+03 |
| Üreter                 | 44.77 | 1 | 0.696 | 1060 | 0.50 | 3.40 | 9E+03 | 2E+03 |
| İdrar Kesesi İçeriği   | 68.90 | 1 | 1.636 | 1010 | 0.50 | 4.20 | 0     | 0     |
| İdrar Kesesi Duvarı    | 18.94 | 1 | 0.383 | 1040 | 0.60 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| Rahim Serviksi         | 61.12 | 1 | 1.270 | 1080 | 0.50 | 3.60 | 3E+03 | 5E+02 |
| Gövde İçindeki Hava    | 1.00  | 1 | 0.000 | 0    | 0.02 | 1.00 | 0     | 0     |
| Mukoza Ön Burun        | 46.08 | 1 | 0.845 | 1070 | 0.30 | 3.10 | 9E+03 | 2E+03 |
| Mukoza Posterior Nazal | 46.08 | 1 | 0.845 | 1070 | 0.30 | 3.10 | 9E+03 | 2E+03 |
| Kemik Ortalaması       | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Böbrek Ortalaması      | 58.67 | 1 | 1.392 | 1050 | 0.50 | 3.90 | 3E+05 | 5E+04 |
| KanV                   | 61.36 | 1 | 1.538 | 1050 | 0.50 | 3.80 | 1E+06 | 0     |
| Beyin Omurilik Sıvısı  | 68.64 | 1 | 2.413 | 1010 | 0.60 | 4.20 | 0     | 0     |
| Karıncıklar            | 68.64 | 1 | 2.413 | 1010 | 0.60 | 4.20 | 0     | 0     |
| Beyin Gri Maddesi      | 52.73 | 1 | 0.942 | 1050 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Beyin Beyaz Maddesi    | 38.89 | 1 | 0.591 | 1040 | 0.50 | 3.60 | 2E+04 | 7E+03 |
| Beyincik               | 49.44 | 1 | 1.263 | 1045 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Kemikçikler            | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| KanA                   | 61.36 | 1 | 1.538 | 1050 | 0.50 | 3.80 | 1E+06 | 0     |
| Plasenta               | 67.27 | 1 | 1.596 | 1050 | 0.60 | 3.80 | 4E+05 | 6E+04 |
| Göbek Bağı             | 62.95 | 1 | 1.153 | 1100 | 0.30 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| Amniyotik Sıvı         | 68.90 | 1 | 1.636 | 1010 | 0.50 | 4.20 | 0     | 0     |
| Fetüs Baş Dokusu       | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Derisi           | 63.11 | 1 | 1.156 | 1100 | 0.30 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Gövdesi          | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Kolları          | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Bacakları        | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Beyin            | 60.15 | 1 | 1.007 | 1045 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 4E+03 |

|                             |       |   |       |      |      |      |       |       |
|-----------------------------|-------|---|-------|------|------|------|-------|-------|
| Fetüs Gözleri               | 64.81 | 1 | 1.368 | 1000 | 0.60 | 3.90 | 0     | 0     |
| Fetüs Göz Lensleri          | 62.75 | 1 | 1.069 | 1090 | 0.40 | 3.60 | 0     | 0     |
| Fetüs Omurilik              | 52.23 | 1 | 0.921 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Fetüs Akciğerleri           | 43.02 | 1 | 0.893 | 1020 | 0.60 | 3.60 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Kalbi                 | 68.19 | 1 | 1.400 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 5E+04 | 1E+04 |
| Fetüs Böbrekleri            | 66.83 | 1 | 1.586 | 1050 | 0.50 | 3.90 | 3E+05 | 5E+04 |
| Fetüs Karaciğeri            | 60.39 | 1 | 1.103 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 7E+04 | 1E+04 |
| Fetüs Mide                  | 70.00 | 1 | 1.277 | 1050 | 0.60 | 3.60 | 3E+04 | 5E+03 |
| Fetüs Safra Kesesi          | 67.07 | 1 | 1.425 | 1050 | 0.60 | 3.90 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Kafatası              | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Fetüs Beyin Omurilik Sıvısı | 71.57 | 1 | 2.516 | 1000 | 0.60 | 4.20 | 0     | 0     |
| Fetüs Omurgası              | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |

**EK-2. 1800 MHz Frekansındaki Doku Özellikleri****Çizelge 7.2. 1800 MHz frekansındaki doku özellikleri**

| Doku                 | $\varepsilon$ | $\mu$ | $\sigma$<br>(S/m) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | K<br>(W/mK) | Isı<br>Kapasitesi<br>(kJ/K/kg ) | Kan Akışı<br>(W/K/m <sup>3</sup> ) | Metabol<br>izma<br>Hızı<br>(W/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------|-------|-------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
| İlik                 | 5.371605      | 1     | 0.068468          | 1030                           | 0.624       | 2.7                             | 32000                              | 5700                                           |
| Yağ Doku             | 5.349368      | 1     | 0.078385          | 1100                           | 0.201       | 2.5                             | 1700                               | 300                                            |
| Kemikler             | 11.780735     | 1     | 0.275193          | 1850                           | 0.410       | 1.3                             | 3400                               | 610                                            |
| Beyaz Madde          | 37.010921     | 1     | 0.914969          | 1030                           | 0.502       | 3.6                             | 17280                              | 7100                                           |
| Grimadde             | 50.078876     | 1     | 1.391190          | 1030                           | 0.502       | 3.7                             | 40000                              | 7100                                           |
| Deri                 | 38.871857     | 1     | 1.184768          | 1100                           | 0.293       | 3.5                             | 9100                               | 1620                                           |
| Göz                  | 53.567787     | 1     | 1.601727          | 1010                           | 0.624       | 4.178                           | 10300                              | 14250                                          |
| İskeletkas           | 55.335312     | 1     | 1.437796          | 1040                           | 0.460       | 3.6                             | 2700                               | 480                                            |
| Kan                  | 59.372261     | 1     | 2.043690          | 1000                           | 0.505       | 3.9                             | 0                                  | 0                                              |
| Nöronalkumaş         | 46.113232     | 1     | 1.708732          | 1030                           | 0.624       | 3.5                             | 40000                              | 7100                                           |
| Lens                 | 45.352734     | 1     | 1.147332          | 1050                           | 0.624       | 3.0                             | 0                                  | 0                                              |
| Sinir Optik          | 30.866894     | 1     | 0.842816          | 1030                           | 0.624       | 3.5                             | 40000                              | 7100                                           |
| Kıkırdaklar          | 40.215481     | 1     | 1.286782          | 1030                           | 0.624       | 3.5                             | 9000                               | 1600                                           |
| Mukoza Zarı          | 43.850479     | 1     | 1.232065          | 1100                           | 0.624       | 3.3                             | 9000                               | 1600                                           |
| Hava                 | 1.000000      | 1     | 0.000000          | 1.3                            | 0.025       | 1.005                           | 0                                  | 0                                              |
| Akciğer              | 20.945705     | 1     | 0.637096          | 1020                           | 0.624       | 3.6                             | 9500                               | 1700                                           |
| Bağırsak             | 55.147705     | 1     | 1.576100          | 1020                           | 0.624       | 3.7                             | 53000                              | 9500                                           |
| Böbrek               | 54.426064     | 1     | 1.949712          | 1020                           | 0.499       | 3.9                             | 270000                             | 48000                                          |
| Karaciğer            | 44.210804     | 1     | 1.289116          | 1020                           | 0.469       | 3.6                             | 68000                              | 12000                                          |
| Bezler               | 58.142151     | 1     | 1.500878          | 1020                           | 0.624       | 3.6                             | 360000                             | 64000                                          |
| Dalak                | 53.847534     | 1     | 1.779962          | 1020                           | 0.543       | 3.7                             | 82000                              | 15000                                          |
| Karın                | 63.226818     | 1     | 1.697995          | 1020                           | 0.624       | 3.6                             | 29000                              | 5200                                           |
| Pankreas             | 63.226818     | 1     | 1.697995          | 1020                           | 0.624       | 3.5                             | 41000                              | 7300                                           |
| Mesane               | 18.341116     | 1     | 0.535134          | 1010                           | 0.624       | 3.3                             | 9000                               | 1600                                           |
| Safra Kesesi         | 58.213646     | 1     | 1.642106          | 1020                           | 0.624       | 3.9                             | 0                                  | 0                                              |
| Bağırsak İçindekiler | 55.902672     | 1     | 2.695574          | 1020                           | 0.624       | 4.2                             | 0                                  | 0                                              |
| Ventriküller Sağ     | 56.322693     | 1     | 1.771246          | 1000                           | 0.493       | 4.2                             | 0                                  | 0                                              |
| Ventriküller Sol     | 56.322693     | 1     | 1.771246          | 1000                           | 0.493       | 4.2                             | 0                                  | 0                                              |
| Ön Avlu Sağ          | 56.322693     | 1     | 1.771246          | 1000                           | 0.493       | 3.7                             | 54000                              | 9600                                           |
| Ön Avlu Sol          | 56.322693     | 1     | 1.771246          | 1000                           | 0.493       | 3.7                             | 54000                              | 9600                                           |
| KanV                 | 59.372261     | 1     | 2.043690          | 1000                           | 0.493       | 3.9                             | 0                                  | 0                                              |
| KanA                 | 59.372261     | 1     | 2.043690          | 1000                           | 0.493       | 3.9                             | 0                                  | 0                                              |

**EK-3. 2.4 GHz Frekansındaki Doku Özellikleri****Çizelge 7.3. 2.4 GHz frekansındaki doku özellikleri**

| Doku                    | $\epsilon$ | $\mu$ | $\sigma$<br>(S/m) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | K<br>(W/mK) | Isı<br>Kapasitesi<br>(kJ/K/kg ) | Kan Akışı<br>(W/K/m <sup>3</sup> ) | Metaboliz<br>ma Hızı<br>(W/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|------------|-------|-------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| İlik                    | 5.296872   | 1     | 0.095031          | 1030                           | 0.624       | 2.7                             | 32000                              | 5700                                        |
| Yağ Dokusu              | 5.280096   | 1     | 0.104517          | 1100                           | 0.201       | 2.5                             | 1700                               | 300                                         |
| Kemikler                | 11.381223  | 1     | 0.394277          | 1850                           | 0.410       | 1.3                             | 3400                               | 610                                         |
| Beyaz Madde             | 36.166599  | 1     | 1.215008          | 1030                           | 0.502       | 3.6                             | 17280                              | 7100                                        |
| Grimadde                | 48.911255  | 1     | 1.807664          | 1030                           | 0.502       | 3.7                             | 40000                              | 7100                                        |
| Deri                    | 38.006660  | 1     | 1.464073          | 1100                           | 0.293       | 3.5                             | 9100                               | 1620                                        |
| Göz                     | 52.627628  | 1     | 2.033048          | 1010                           | 0.624       | 4.178                           | 10300                              | 14250                                       |
| İskelet Kas             | 54.417614  | 1     | 1.882011          | 1040                           | 0.460       | 3.6                             | 2700                               | 480                                         |
| Kan                     | 58.263756  | 1     | 2.544997          | 1000                           | 0.505       | 3.9                             | 0                                  | 0                                           |
| Nöronalkumaş            | 44.803696  | 1     | 2.101270          | 1030                           | 0.624       | 3.5                             | 40000                              | 7100                                        |
| Lens                    | 44.625317  | 1     | 1.504036          | 1050                           | 0.624       | 3.0                             | 0                                  | 0                                           |
| Sinir Optik             | 30.145145  | 1     | 1.088474          | 1030                           | 0.624       | 3.5                             | 40000                              | 7100                                        |
| Kıkırdaklar             | 38.771160  | 1     | 1.755682          | 1030                           | 0.624       | 3.5                             | 9000                               | 1600                                        |
| Mukoza Zarı             | 42.852562  | 1     | 1.591928          | 1100                           | 0.624       | 3.3                             | 9000                               | 1600                                        |
| Hava                    | 1          | 1     | 0                 | 1.3                            | 0.025       | 1.005                           | 0                                  | 0                                           |
| Akciğer                 | 20.476801  | 1     | 0.804128          | 1020                           | 0.624       | 3.6                             | 9500                               | 1700                                        |
| Bağırsak                | 53.878193  | 1     | 2.038204          | 1020                           | 0.624       | 3.7                             | 53000                              | 9500                                        |
| Böbrek                  | 52.742668  | 1     | 2.429709          | 1020                           | 0.499       | 3.9                             | 270000                             | 48000                                       |
| Karaciğer               | 43.034443  | 1     | 1.686411          | 1020                           | 0.469       | 3.6                             | 68000                              | 12000                                       |
| Bezler                  | 57.200367  | 1     | 1.967798          | 1020                           | 0.624       | 3.6                             | 360000                             | 64000                                       |
| Dalak                   | 52.449310  | 1     | 2.238070          | 1020                           | 0.543       | 3.7                             | 82000                              | 15000                                       |
| Karın                   | 62.158325  | 1     | 2.210518          | 1020                           | 0.624       | 3.6                             | 29000                              | 5200                                        |
| Pankreas                | 62.158325  | 1     | 2.210518          | 1020                           | 0.624       | 3.5                             | 41000                              | 7300                                        |
| Mesane                  | 18.000759  | 1     | 0.685294          | 1010                           | 0.624       | 3.3                             | 9000                               | 1600                                        |
| Safra Kesesi            | 57.633728  | 1     | 2.059032          | 1020                           | 0.624       | 3.9                             | 0                                  | 0                                           |
| Bağırsak<br>İçindekiler | 54.424351  | 1     | 3.172779          | 1020                           | 0.624       | 4.2                             | 0                                  | 0                                           |
| Ventriküller Sağ        | 54.814018  | 1     | 2.256186          | 1000                           | 0.493       | 4.2                             | 0                                  | 0                                           |
| Ventriküller Sol        | 54.814018  | 1     | 2.256186          | 1000                           | 0.493       | 4.2                             | 0                                  | 0                                           |
| Ön Avlu Sağ             | 54.814018  | 1     | 2.256186          | 1000                           | 0.493       | 3.7                             | 54000                              | 9600                                        |
| Ön Avlusol              | 54.814018  | 1     | 2.256186          | 1000                           | 0.493       | 3.7                             | 54000                              | 9600                                        |
| KanV                    | 58.263756  | 1     | 2.544997          | 1000                           | 0.493       | 3.9                             | 0                                  | 0                                           |
| KanA                    | 58.263756  | 1     | 2.544997          | 1000                           | 0.493       | 3.9                             | 0                                  | 0                                           |
| Fetüs Baş<br>Dokusu     | 54.52      | 1     | 0.896             | 1000                           | 0.40        | 3.00                            | 2E+03                              | 4E+02                                       |
| Fetüs Derisi            | 63.11      | 1     | 1.156             | 1100                           | 0.30        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Fetüs Gövdesi           | 54.52      | 1     | 0.896             | 1000                           | 0.40        | 3.00                            | 2E+03                              | 4E+02                                       |
| Fetüs Kolları           | 54.52      | 1     | 0.896             | 1000                           | 0.40        | 3.00                            | 2E+03                              | 4E+02                                       |



|                             |       |   |       |      |      |      |       |       |
|-----------------------------|-------|---|-------|------|------|------|-------|-------|
| Fetüs Bacakları             | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Beyin                 | 60.15 | 1 | 1.007 | 1045 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 4E+03 |
| Fetüs Gözleri               | 64.81 | 1 | 1.368 | 1000 | 0.60 | 3.90 | 0     | 0     |
| Fetüs Göz Lensleri          | 62.75 | 1 | 1.069 | 1090 | 0.40 | 3.60 | 0     | 0     |
| Fetüs Omurilik              | 52.23 | 1 | 0.921 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Fetüs Akciğerleri           | 43.02 | 1 | 0.893 | 1020 | 0.60 | 3.60 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Kalbi                 | 68.19 | 1 | 1.400 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 5E+04 | 1E+04 |
| Fetüs Böbrekleri            | 66.83 | 1 | 1.586 | 1050 | 0.50 | 3.90 | 3E+05 | 5E+04 |
| Fetüs Karaciğeri            | 60.39 | 1 | 1.103 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 7E+04 | 1E+04 |
| Fetüs Mide                  | 70.00 | 1 | 1.277 | 1050 | 0.60 | 3.60 | 3E+04 | 5E+03 |
| Fetüs Safra Kesesi          | 67.07 | 1 | 1.425 | 1050 | 0.60 | 3.90 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Kafatası              | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Fetüs Beyin Omurilik Sıvısı | 71.57 | 1 | 2.516 | 1000 | 0.60 | 4.20 | 0     | 0     |
| Fetüs Omurgası              | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |

**EK-4. 2.45 GHz Frekansındaki Doku Özellikleri****Çizelge 7.4. 2.45 GHz frekansındaki doku özellikleri**

| Doku                      | $\epsilon$ | $\mu$ | $\sigma$<br>(S/m) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | K<br>(W/mK) | Isı<br>Kapasitesi<br>(kJ/K/kg ) | Kan Akışı<br>(W/K/m <sup>3</sup> ) | Metaboliz<br>ma Hızı<br>(W/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|------------|-------|-------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| Adrenaller                | 57.99      | 1     | 1.068             | 1025                           | 0.40        | 3.60                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Kan                       | 58.26      | 1     | 2.544             | 1050                           | 0.50        | 3.80                            | 1E+06                              | 0                                           |
| Kemik Kortikal            | 11.38      | 1     | 0.394             | 2000                           | 0.40        | 1.30                            | 3E+03                              | 6E+02                                       |
| Kemik Medüller<br>Boşluğu | 18.54      | 1     | 0.805             | 1000                           | 0.20        | 2.70                            | 3E+04                              | 6E+03                                       |
| Kemik Spongioz            | 18.54      | 1     | 0.805             | 1200                           | 0.40        | 1.30                            | 3E+03                              | 6E+02                                       |
| Beyin                     | 44.80      | 1     | 2.101             | 1045                           | 0.50        | 3.70                            | 4E+04                              | 7E+03                                       |
| Meme Bezi Dokusu          | 57.20      | 1     | 1.967             | 1040                           | 0.60        | 3.60                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Bronşlar                  | 39.73      | 1     | 1.448             | 1060                           | 0.50        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kıkırdak                  | 38.77      | 1     | 1.755             | 1100                           | 0.60        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kolon İçeriği             | 38.09      | 1     | 1.080             | 1060                           | 0.60        | 3.60                            | 0                                  | 0                                           |
| Kolon Duvarı              | 38.09      | 1     | 1.080             | 1060                           | 0.60        | 3.60                            | 5E+04                              | 9E+03                                       |
| Göz Ampülü                | 66.24      | 1     | 3.457             | 1010                           | 0.60        | 3.90                            | 0                                  | 0                                           |
| Göz Lensi                 | 33.97      | 1     | 1.086             | 1090                           | 0.40        | 3.70                            | 0                                  | 0                                           |
| Yağ                       | 10.82      | 1     | 0.267             | 900                            | 0.20        | 2.50                            | 2E+03                              | 3E+02                                       |
| Safra Kesesi İçeriği      | 57.63      | 1     | 2.059             | 1010                           | 0.60        | 3.90                            | 0                                  | 0                                           |
| Safra Kesesi              | 57.63      | 1     | 2.059             | 1050                           | 0.60        | 3.90                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kalp                      | 58.26      | 1     | 2.544             | 1080                           | 0.50        | 3.70                            | 5E+04                              | 1E+04                                       |
| Böbrek Korteksi           | 52.74      | 1     | 2.429             | 1050                           | 0.50        | 3.90                            | 3E+05                              | 5E+04                                       |
| Böbrek Medullası          | 52.74      | 1     | 2.429             | 1040                           | 0.50        | 3.90                            | 3E+05                              | 5E+04                                       |
| Böbrek Pelvisi            | 52.74      | 1     | 2.429             | 1050                           | 0.50        | 3.90                            | 3E+05                              | 5E+04                                       |
| Karaciğer                 | 43.03      | 1     | 1.686             | 1050                           | 0.50        | 3.60                            | 7E+04                              | 1E+04                                       |
| Akciğer                   | 20.47      | 1     | 0.804             | 800                            | 0.60        | 3.60                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Lenfatik Düğümler         | 77.99      | 1     | 0.965             | 1030                           | 0.40        | 3.10                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Mukoza                    | 52.72      | 1     | 1.738             | 1070                           | 0.30        | 3.10                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Kas                       | 52.72      | 1     | 1.738             | 1080                           | 0.50        | 3.50                            | 3E+03                              | 5E+02                                       |
| Yemek Borusu              | 62.15      | 1     | 2.210             | 1040                           | 0.50        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Yumurtalıklar             | 44.70      | 1     | 2.264             | 1048                           | 0.50        | 3.60                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Pankreas                  | 57.20      | 1     | 1.967             | 1060                           | 0.60        | 3.50                            | 4E+04                              | 7E+03                                       |
| Hipofiz Bezi              | 57.20      | 1     | 1.967             | 1050                           | 0.60        | 3.80                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Prostat                   | 57.55      | 1     | 2.167             | 1045                           | 0.50        | 3.80                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Penis                     | 42.53      | 1     | 1.435             | 1100                           | 0.30        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| Tükürük Bezleri           | 10.82      | 1     | 0.267             | 1040                           | 0.60        | 3.10                            | 4E+05                              | 6E+04                                       |
| Deri                      | 38.00      | 1     | 1.464             | 1100                           | 0.30        | 3.50                            | 9E+03                              | 2E+03                                       |
| İnce Bağırsak İçeriği     | 54.42      | 1     | 3.173             | 1030                           | 0.60        | 3.60                            | 0                                  | 0                                           |
| İnce Bağırsak Duvarı      | 54.42      | 1     | 3.173             | 1030                           | 0.60        | 4.20                            | 5E+04                              | 9E+03                                       |

|                        |       |   |       |      |      |      |       |       |
|------------------------|-------|---|-------|------|------|------|-------|-------|
| Sinir                  | 30.14 | 1 | 1.088 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Dalak                  | 52.44 | 1 | 2.238 | 1050 | 0.50 | 3.70 | 8E+04 | 2E+04 |
| Mide İçeriği           | 52.72 | 1 | 1.738 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 0     | 0     |
| Mide Duvarı            | 52.72 | 1 | 1.738 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 3E+04 | 5E+03 |
| Dişler                 | 11.38 | 1 | 0.394 | 2200 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Testisler              | 57.55 | 1 | 2.167 | 1050 | 0.50 | 3.70 | 4E+05 | 6E+04 |
| İnce Bağırsak          | 54.42 | 1 | 3.173 | 1050 | 0.60 | 3.70 | 5E+04 | 9E+03 |
| Timus                  | 50.71 | 1 | 0.939 | 1025 | 0.40 | 3.70 | 4E+05 | 6E+04 |
| Tiroid                 | 57.20 | 1 | 1.967 | 1050 | 0.50 | 3.50 | 4E+05 | 6E+04 |
| Dil                    | 52.62 | 1 | 1.802 | 1080 | 0.50 | 3.50 | 3E+03 | 5E+02 |
| Soluk Borusu           | 39.73 | 1 | 1.448 | 1100 | 0.50 | 3.60 | 9E+03 | 2E+03 |
| Üreter                 | 42.53 | 1 | 1.435 | 1060 | 0.50 | 3.40 | 9E+03 | 2E+03 |
| İdrar Kesesi İçeriği   | 49.95 | 1 | 1.75  | 1010 | 0.50 | 4.20 | 0     | 0     |
| İdrar Kesesi Duvarı    | 49.95 | 1 | 1.75  | 1040 | 0.60 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| Rahim Serviksi         | 57.81 | 1 | 2.246 | 1080 | 0.50 | 3.60 | 3E+03 | 5E+02 |
| Gövde İçindeki Hava    | 1     | 1 | 0     | 0    | 0.02 | 1.00 | 0     | 0     |
| Mukoza Ön Burun        | 52.72 | 1 | 1.738 | 1070 | 0.30 | 3.10 | 9E+03 | 2E+03 |
| Mukoza Posterior Nazal | 52.72 | 1 | 1.738 | 1070 | 0.30 | 3.10 | 9E+03 | 2E+03 |
| Kemik Ortalaması       | 18.54 | 1 | 0.805 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Böbrek Ortalaması      | 52.74 | 1 | 2.429 | 1050 | 0.50 | 3.90 | 3E+05 | 5E+04 |
| KanV                   | 58.26 | 1 | 2.544 | 1050 | 0.50 | 3.80 | 1E+06 | 0     |
| Beyin Omurilik Sıvısı  | 66.24 | 1 | 3.457 | 1010 | 0.60 | 4.20 | 0     | 0     |
| Beyin Gri Maddesi      | 48.91 | 1 | 1.807 | 1050 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Beyin Beyaz Maddesi    | 36.16 | 1 | 1.214 | 1040 | 0.50 | 3.60 | 2E+04 | 7E+03 |
| Beyincik               | 44.80 | 1 | 2.101 | 1045 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| KanA                   | 58.26 | 1 | 2.544 | 1050 | 0.50 | 3.80 | 1E+06 | 0     |
| Plasenta               | 58.26 | 1 | 2.544 | 1050 | 0.60 | 3.80 | 4E+05 | 6E+04 |
| Göbek Bağı             | 62.95 | 1 | 1.153 | 1100 | 0.30 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| Amniyotik Sıvı         | 68.90 | 1 | 1.636 | 1010 | 0.50 | 4.20 | 0     | 0     |
| Fetüs Baş Dokusu       | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Derisi           | 63.11 | 1 | 1.156 | 1100 | 0.30 | 3.50 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Gövdesi          | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Kolları          | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Bacakları        | 54.52 | 1 | 0.896 | 1000 | 0.40 | 3.00 | 2E+03 | 4E+02 |
| Fetüs Beyin            | 60.15 | 1 | 1.007 | 1045 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 4E+03 |
| Fetüs Gözleri          | 64.81 | 1 | 1.368 | 1000 | 0.60 | 3.90 | 0     | 0     |
| Fetüs Göz Lensleri     | 62.75 | 1 | 1.069 | 1090 | 0.40 | 3.60 | 0     | 0     |
| Fetüs Omurilik         | 52.23 | 1 | 0.921 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 4E+04 | 7E+03 |
| Fetüs Akciğerleri      | 43.02 | 1 | 0.893 | 1020 | 0.60 | 3.60 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Kalbi            | 68.19 | 1 | 1.400 | 1080 | 0.50 | 3.70 | 5E+04 | 1E+04 |

|                                |       |   |       |      |      |      |       |       |
|--------------------------------|-------|---|-------|------|------|------|-------|-------|
| Fetüs Böbrekleri               | 66.83 | 1 | 1.586 | 1050 | 0.50 | 3.90 | 3E+05 | 5E+04 |
| Fetüs Karaciğeri               | 60.39 | 1 | 1.103 | 1050 | 0.50 | 3.60 | 7E+04 | 1E+04 |
| Fetüs Mide                     | 70.00 | 1 | 1.277 | 1050 | 0.60 | 3.60 | 3E+04 | 5E+03 |
| Fetüs Safra Kesesi             | 67.07 | 1 | 1.425 | 1050 | 0.60 | 3.90 | 9E+03 | 2E+03 |
| Fetüs Kafatası                 | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |
| Fetüs Beyin Omurilik<br>SIVISI | 71.57 | 1 | 2.516 | 1000 | 0.60 | 4.20 | 0     | 0     |
| Fetüs Omurgası                 | 12.45 | 1 | 0.143 | 1850 | 0.40 | 1.30 | 3E+03 | 6E+02 |



## ÖZGEÇMİŞ

**EDA YAVUZ DİRİK**

### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

|                            |                                                                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yüksek Lisans<br>2018-2022 | Akdeniz Üniversitesi<br>Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik<br>Mühendisliği, Antalya   |
| Lisans<br>2011-2015        | Selçuk Üniversitesi<br>Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik<br>Mühendisliği Bölümü, Konya |

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

|                                        |                                                                      |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Büro Personeli<br>2021-Devam Ediyor    | İçişleri Bakanlığı / Kastamonu Valiliği<br>İl Yazı İşleri Müdürlüğü  |
| Büro Personeli<br>2017-2021            | İçişleri Bakanlığı / Antalya Valiliği<br>İl Yazı İşleri Müdürlüğü    |
| Proje Yöneticisi/Mühendis<br>2016-2017 | Dorel Tasarım Mühendislik San. Ve Tic. Ltd. Şti<br>Survey Departmanı |