



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜMÜŞ KATKILI BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN  
SOĞURMA VE YANSIMA KAPASİTELERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**ENVER ALPER DOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2020**

T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ FEN  
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜMÜŞ KATKILI BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN  
SOĞURMA VE YANSIMA KAPASİTELERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**ENVER ALPER DOĞAN**

Bu tez,  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS  
derecesi için hazırlanmıştır.

**KAHRAMANMARAŞ 2020**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Enver Alper DOĞAN tarafından hazırlanan “Gümüş Katkılı Bazı Tekstil Ürünlerinin Soğurma ve Yansıma Kapasitelerinin Araştırılması” adlı bu tez, jürimiz tarafından 16/01/2020 tarihinde oy birliği ile Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT (DANIŞMAN).....

Fizik Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur Cem HASAR (ÜYE).....

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gaziantep Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Alaaddin GÜNDEŞ (ÜYE).....

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım

Prof. Dr. Mustafa YAZICI .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Enver Alper DOĞAN



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

# GÜMÜŞ KATKILI BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN SOĞURMA VE YANSIMA KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Enver Alper DOĞAN

## ÖZET

Elektromanyetik kalkanlama elektronik bir cihazı veya bir alanı dış elektromanyetik radyasyondan korumak için gelen elektromanyetik radyasyonun şiddet veya enerjisini azaltabilmek için elektromanyetik radyasyonun önüne konulan özel bir malzemeden oluşur. Bu çalışmada, ticari olarak gümüş iplerle üretilmiş olan beş farklı kumaşın S-parametrelerini ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$  ve  $S_{12}$ ) 30 kHz-3 GHz frekans aralığında ölçmek için Mikrodalga Network Vektör Analizörü (VNA) (model N9918A) cihazı kullanıldı. Kumaş numunelerin  $S_{11}$  yansımaya kapasiteleri ile kumaşlara katılan gümüş elyaf oranları arasında sistematik bir ilişki tespit edilemedi. Ancak kumaş numunelerin  $S_{21}$  soğurma kapasiteleri ile kumaşlara katılan gümüş elyaf oranları arasında yaklaşık olarak lineer bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Ölçülen  $S_{11}$  yansımaya ve  $S_{21}$  soğurma kapasiteleri kullanılarak kumaşların soğurma etkinliği ( $SE_A$ ), yansımaya etkinliği ( $SE_R$ ) ve toplam kalkanlama etkinliği ( $SE_t$ ) değerleri hesaplandı. Belirli frekanslarda, en düşük  $SE_t$  etkinliği değeri pembe renkli kumaşta hesaplanırken, en yüksek  $SE_t$  etkinliği değeri gri renkli kumaşta hesaplandı. Bu farklılığın en önemli nedenlerinden birinin kumaşlara katılan gümüş elyaf oranı ve kumaşların üretim (örgü veya dokuma) şekillerinin olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalkanlama, soğurma, yansımaya, radyasyon, kalkan, insan sağlığı,

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak / 2020

Danışman: Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT

Sayfa sayısı: 45

# INVESTIGATION OF THE ABSORPTION AND REFLECTION CAPACITY OF SOME SILVER DOPED TEXTILE PRODUCTS

(M.Sc. THESIS)

Enver Alper DOĞAN

## ABSTRACT

The electromagnetic shielding consists of a special material that is placed in front of electromagnetic radiation in order to reduce the intensity or energy of the incoming electromagnetic radiation and to protect an electronic device or an area from external electromagnetic radiation. In this study, Microwave Network Vector Analyzer (VNA) (model N9918A) was used to measure S-parameters ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$  and  $S_{12}$ ) of five different fabrics produced commercially with silver fibres threads in the frequency range of 30 kHz-3 GHz. No systematic relationship was found between the  $S_{11}$  reflection capacity of the fabric samples and the proportion of silver fibers added to the fabrics. However, it can be said that there is an approximately linear relationship between the  $S_{21}$  absorption capacity of the fabric samples and the proportions of silver fibres added to the fabrics. The absorbance effectiveness ( $SE_A$ ), reflectivity effectiveness ( $SE_R$ ) and total shielding effectiveness values of the fabrics ( $SE_t$ ) were calculated using the measured  $S_{11}$  reflectance and  $S_{21}$  absorbance capacities. At specific frequencies, the highest  $SE_t$  effectiveness value was calculated for the grey fabric, while the lowest  $SE_t$  effectiveness value was calculated for the pink fabric. It can be said that one of the most important reasons for this difference is the silver fibre content added to the fabrics and the other is also the production type (knitting or weaving) of the fabrics.

**Keywords:** Shielding, absorption, reflection, radiation, shield, Human health.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering, January/ 2020

Supervisor: Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT

Page Numbers: 45

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimi yöneten, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmamın her aşamasında sağladığı bilimsel katkılardan dolayı üzerimde büyük emeği olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT'e teşekkür ederim. Ek olarak, S-parametrelerinin ölçümleri için laboratuvarını bize açan ve sonuçların değerlendirilmesindeki kıymetli katkıları nedeniyle Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Uğur Cem HASAR'a teşekkür ederim.

Son olarak, yüksek lisans eğitimim ve tez aşaması süresince üzerimde manevi desteklerini her daim gördüğüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Enver Alper DOĞAN

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elektromanyetik Radyasyon.....	3
1.2. Elektromanyetik Spektrum.....	3
1.2.1. Son derece düşük frekans (ELF).....	5
1.2.2. Orta frekans (IF).....	5
1.2.3. Radyo frekansı (RF).....	6
1.3. Elektrik alan ve kuvveti.....	6
1.4. Manyetik Alan ve Kuvveti.....	7
1.5. Elektromanyetik Kirlilik Kaynakları.....	9
1.6. Elektromanyetik Alanlar.....	10
1.7. Miktarlar ve Birimler.....	10
1.8. Maruziyet Kaynakları.....	11
1.9. Elektromanyetik Alanların (EMF) İnsan Sağlığı Üzerindeki Olası Etkileri.....	13
1.10. Kalkanlama Etkinliğinin Tanımı.....	14
1.11. Elektromanyetik Kalkanlama Teorisi.....	15
1.12. Soğurma Kaybı.....	16
1.13. Yansıma Kaybı.....	18
1.14. Çoklu Yansıma Düzeltme Terimi.....	19
1.15. Yakın Alan Kaynaklarının Kalkanlama Etkinliğine Etkisi.....	19



1.16. Uygulamalı (Pratik) Elektromanyetik Kalkanlama .....	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	22
3. MATERYAL VE METOD .....	26
3.1. Numunelerin Hazırlanışı .....	26
3.2. Ölçümlerin Yapılması ve Kalkanlama Etkinliğinin Hesaplanması .....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	40
KAYNAKLAR .....	41
ÖZGEÇMİŞ .....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1 Elektromanyetik spektrum.....	5
Şekil 1.2. Elektromanyetik alanların yansımaya ve iletiminin gösterimi. ....	17
Şekil 1.3. Dalga empedansı vs. düzlem dalga, elektrik alan ve manyetik alan kaynakları için kaynaktan uzaklık ( $f = 1$ MHz).....	20
Şekil 3.1. N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörü.....	26
Şekil 3.2. Numuneler .....	27
Şekil 4.1. Numunelerde özel seçilen frekanslarda en büyük kalkanlama etkinliği değerlerinin numunelere göre değişimi (seçilen frekanslar; pembe renkli kumaş 0.08103 GHz, şapka 2.277 GHz, açık kahve renkli kumaş 2.532 GHz, koyu kahve renkli kumaş 1.932GHz ve gri renkli kumaş 0.927GHz frekanslarında). Seçilen frekanslar numunelerin en büyük kalkanlama etkinliği gösterdiği frekanslardır. ....	31
Şekil 4.2. Numunelerde özel seçilen frekanslarda soğurma ve yansımaya etkinliği değerlerinin numunelere göre değişimi (seçilen frekanslar; pembe renkli kumaş 0.08103 GHz, şapka 2.277 GHz, açık kahve renkli kumaş 2.532 GHz, koyu kahve renkli kumaş 1.932GHz ve gri renkli kumaş 0.927GHz frekanslarında). Seçilen frekanslar numunelerin en büyük kalkanlama etkinliği gösterdiği frekanslardır. ....	32
Şekil 4.3. Numunelerdeki en büyük soğurma ve yansımaya etkinliği değerlerinin numunelere göre değişimi (seçilen frekanslar; pembe renkli kumaş 0.08103 GHz, şapka 2.277 GHz, açık kahve renkli kumaş 2.532 GHz, koyu kahve renkli kumaş 1.932GHz ve gri renkli kumaş 0.927GHz frekanslarında). Seçilen frekanslar numunelerin en büyük kalkanlama etkinliği gösterdiği frekanslardır. ....	33
Şekil 4.4. Pembe renkli kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması.....	34
Şekil 4.5. Şapka numunesinin soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması.....	34
Şekil 4.6. Açık kahverengi kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.7. Koyu kahverengi kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.8. Gri renkli kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 4.9. Pembe renkli kumaşın kalkanlama etkinliği grafiği.....	37

Şekil 4.10. Şapka numunesinin kalkanlama etkinliği grafiği.....	37
Şekil 4.11. Açık kahve renkli kumaşın kalkanlama etkinliğinin grafiği.....	38
Şekil 4.12. Koyu kahve renkli kumaşın kalkanlama etkinliğinin grafiği.....	38
Şekil 4.13. Gri renkli kumaşın kalkanlama etkinliği grafiği.....	39



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 1.1. Statik manyetik alan miktarları ve birimleri.....	11
Çizelge 1.2. Statik manyetik alanlara maruz kalma <sup>a</sup> limitleri.....	13
Çizelge 3.1. N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörünün Özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. Numunelerin özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. Matlab programında kullanılan yazılım kodu.....	29
Çizelge 4.1. Numunelerin S parametreleri ( $IS_{11l}$ , $IS_{21l}$ , $SE_R$ , $SE_A$ ve $SE_t$ ) ve frekans değerleri.....	30

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>RF</b>	: Radyofrekans (Radiofrequency)
<b>IR</b>	: Infrared
<b>GSM</b>	: Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)
<b>DCS</b>	: Sayısal hücreli sistem (Digital Cellular System)
<b>TV</b>	: Televizyon
<b>UMTS</b>	: Evrensel Mobil İletişim Servisi (Universal Mobile Telecommunications Service)
<b>GPS</b>	: Küresel Yer Belirleme Sistem (Global Positioning System)
<b>ELF</b>	: Son derece düşük frekans
<b>EMF</b>	: Elektromanyetik alan (Electromagnetic Field)
<b>SE</b>	: Kalkanlama etkinliği
<b>EMR</b>	: Elektromanyetik radyasyon (Electromagnetic Radiation)
<b>SE<sub>t</sub></b>	: Toplam kalkanlama etkinliği
<b>MW</b>	: Mikrodalga (Microwave)
<b>SE<sub>A</sub></b>	: Soğurma etkinliği
<b>ELF</b>	: Aşırı derece düşük frekans (Extremely Low Frequency)
<b>SE<sub>R</sub></b>	: Yansıma etkinliği
<b>SAR</b>	: Spesifik Soğurma Oranı
<b>FCC</b>	: Federal İletişim Komisyonu
<b>MRI</b>	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
<b>V</b>	: Volt
<b>A</b>	: Amper
<b>W</b>	: Watt
<b>H</b>	: Manyetik alan
<b>E</b>	: Elektrik alan
<b>EMA</b>	: Elektromanyetik alan

**ANSI** : Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü

**WHO** : Dünya Sağlık Örgütü

**ICRU** : Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi

**ICNIRP** : Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu

**OSHA** : Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (ABD)

**ABD** : Amerika Birleşik Devletleri

**Hz** : Hertz

**BTK** : Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

**$\alpha$**  : Alfa

**$\beta$**  : Beta

**$\gamma$**  : Gama

## 1. GİRİŞ

Elektromanyetik alanlara maruz kalmak yeni bir olgu değildir. Bununla birlikte 20. yüzyılda sanayi ve teknolojinin gelişmeye başlaması ile teknolojinin sürekli gelişmesi, sosyal davranışlarındaki değişiklikler insanları daha fazla yapay kaynak oluşturmaya zorlamış ve bunun sonucu olarak daha fazla doğal olmayan elektromanyetik alanlara maruz kalmışlar. Ancak bu gelişme çevredeki canlı organizmaların yaşam ve sağlıklarını tehdit eden yeni bir çevre kirliliğinin oluşmasına neden oldu. Gelişen sanayi ve teknoloji, gürültü, hava kirliliği gibi çevresel kirliliklerin aksine insanın duyu organları ile algılanamayan yeni bir çevresel kirliliğin oluşumuna neden oldu. Radyo ve televizyon vericileri, cep telefonu baz istasyonları gibi telekomünikasyon cihazları, mikro dalga fırını, cep telefonu, televizyon, bilgisayar, tablet, tıraş makinesi, saç kurutma makinesi, elektrikli süpürge gibi evde kullanılan elektronik cihazlar ile diğer sanayi ve sağlıkta kullanılan elektronik cihazların tamamı birer elektrik ve manyetik alan kaynağı gibi çevresinde elektromanyetik (EMA) alanlar oluştururlar. Dış elektrik alan olmasa bile, normal vücut fonksiyonlarının bir parçası olarak meydana gelen kimyasal reaksiyonlar nedeniyle insan vücudunda küçük elektrik akımları oluşur ve bu akımlarda değişik frekanslarda manyetik alan üretirler\*. Bunlara ek olarak içinde yaşadığımız gezegenimizde büyük bir manyetik alan kaynağıdır. Bu nedenle insanlar evde, sokakta ve işyerinde yani tüm yaşam alanlarında elektromanyetik alanlara maruz kalırlar. Bu elektromanyetik alanlar insanların doğal radyasyon maruziyetine ek olarak suni radyasyon maruziyetine neden olurlar ve bu maruziyet çeşitli rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Yani, insanların maruz kaldığı elektromanyetik dalgalar güçlerine bağlı olarak enerjilerini, fotonlar veya dalgalar aracılığı ile değişik oranlarda canlılara aktarırlar\*. Kullanılan elektronik cihazların birçok yaraları yanında sadece insanların değil aynı zamanda tüm canlılar üzerinde birçok olumsuz etkileri oluşturmuştur. İnsan sağlığını etkileyen çevre ve hava kirliliği gibi kirlleticilerin yanı sıra, insanların manyetik alan kirliliği konusunda farkındalıklarını artırarak yaşam kalitelerinin yükseltilmesi için elektromanyetik alanların kalkanlanması gereklidir. Örneğin dünyamızın kuzey ve güney kutupları arasında oluşan manyetik alan çizgileri, bir manyetik kalkan gibi davranarak dünyamıza dış uzaydan gelebilecek zararlı radyasyonların dünyamıza girmesine engel oluşturmaktadır. Elektromanyetik kalkanlama sadece insanları dış elektromanyetik alanların olumsuz etkilerinden korumak için kullanılmazlar aynı zamanda uçak gibi hassas elektronik sistemlere sahip araç ve cihazların elektronik sistemlerini dış alanların etkilerinden korumak içinde kullanılmaktadır. Bu amaçla dış elektromanyetik

alanlar ile iç elektronik sistemler arasında bir yalıtım katmanı oluşturmak için, elektronik sistemleri çevreleyen metal paneller, bir kalkan oluşturmak üzere düşük empedanslı eklemlerle birleştirilirler\*. Elektromanyetik (EMA) alanın insanlar üzerinde iki tür biyolojik etkisi vardır (Palamutcu ve Dağ, 2009). Bunlardan birincisi kısa süreli etkiler olarak bilinen stres, uykusuzluk, migren, cilt problemleri, hafıza kaybı, kilo alımı gibi şikâyetlerdir. İkincisi ise moleküller ve kimyasal bağlara, hücre yapısına etki eden uzun sürede oluşabilecek olan etkilerdir. Bunlar; lösemi, beyin tümörü, kalp rahatsızlıkları, parkinson, alzheimer, kanser, hamilelerde düşük riskinin artması ve erkeklerde %30 'a varan sperm sayısında azalmalardır (Wargo ve ark., 2012). Elektromanyetik spektrumun tamamı hem iyonize edici ve hem de iyonize olmayan radyasyondan oluşur. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon bir atom veya bir molekülden bir elektronu koparmak için yeterli enerjiye sahip olmayan elektromanyetik radyasyonun herhangi bir türünü ifade eder. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun kaynakları mikrodalga fırınları, radyo dalgaları, kablosuz telefonlar, kablosuz ağlar (Wifi), elektrik hatları ve MR (EMR cihazı) gibi cihaz ve sistemlerdir (Wargo ve ark., 2012).

Kalkanlama etkinliği, ölçüm yapılan frekans aralığına, numunelerin ebatlarına ve kullanılan malzemenin karakteristiğine bağlıdır (Kılıç ve ark., 2008). Genel olarak metal levhalar elektromanyetik alan kalkanlayıcı olarak en iyi malzemeler grubundadır. Ancak metal levhanın pahalı, hantal ve sert olması bu malzemeyi kullanılsız hale getiriyor. Bu nedenle araştırmacılar daha hafif, daha ucuz ve daha kullanışlı malzeme arayışı içine girmişlerdir. Bu tür malzemelerden biri olan kumaşlar metal levhaların aksine kolay uygulanabilir, esnek, üretimi kolay ve daha ucuz yüksek kalkanlama özelliği gösteren örme ve dokuma kumaşlardır (Perumalraj ve Dasaradan, 2009). Kalkanlama etkinliğini etkileyen temel karakteristikler ise kumaşın geometrisi, iletken özelliği, çapı, iplik yoğunluğu ve kalınlığıdır (Abdulla, 2016). Bu nedenle, kumaşlar gibi tekstil ürünleri elektromanyetik kalkanlama araştırmalarında sık kullanılan malzemelerden biridir. Bu ürünler telekomünikasyondan (Locher ve ark., 2006) tıp'a (Lawrence ve ark., 2004), tekstil endüstrisinden (Locher ve Toster, 2007), askeri ve sivil elektromanyetik kalkanlama uygulamalarına kadar (Liu ve Wang, 2012) geniş bir alandaki uygulamalarda yer almıştır.

Bu çalışmada, ticari olarak gümüş iplerle üretilmiş olan beş farklı kumaşın S parametrelerini ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$  ve  $S_{12}$ ) 30 kHz-3 GHz frekans aralığında Mikrodalga Network Vektör Analizörü (VNA) (model N9918A) cihazı ile ölçüldü.



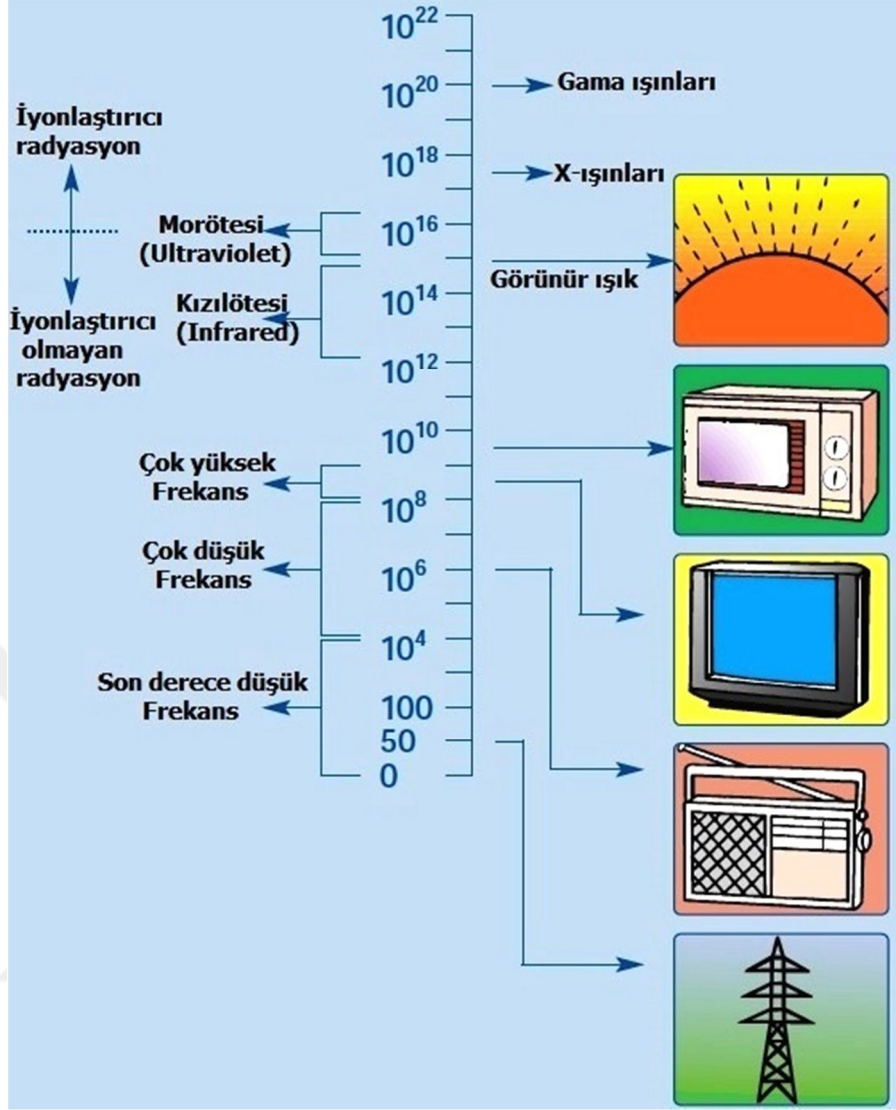
## 1.1. Elektromanyetik Radyasyon

Elektromanyetik enerjinin çeşitli tipleri kendi dalga boyu ve frekansları ile karakterize olur ve elektromanyetik spektrumdan oluşur (Wargo ve ark., 2012). RF enerjisi, radyo ve televizyon yayıncılığı, mobil iletişim, GPS cihazları, polis ve itfaiye telsiz iletişimi ve uydu haberleşmesi de dahil olmak üzere telekomünikasyon (iletişim) hizmetlerinde kullanılmaktadır. Elektromanyetik spektrumun RF kısmı, yaklaşık 3 kilohertz (3 kHz) ile 300 Giga Hertz (300 GHz) aralığındaki frekanslardan oluşur. İletişimi içermeyen RF enerjisinin kaynakları mikrodalga fırınlar, radar ve endüstriyel kullanımları içerir. Elektromanyetik spektrumun tamamı hem iyonize edici ve hem de iyonize olmayan radyasyondan oluşur. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon bir atom veya bir molekülden bir elektronu koparmak için yeterli enerjiye sahip olmayan elektromanyetik radyasyonun herhangi bir türünü ifade eder (Wargo ve ark., 2012). Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICNIRP) ve Federal İletişim Komisyonuna (FCC) göre, RF elektromanyetik alanını karakterize etmek için yaygın olarak güç yoğunluğu ( $mW/cm^2$  ya da  $W/m^2$ ) terimi kullanılmaktadır. Bu aynı zamanda RF ve elektromanyetik dalga maruziyeti için referans seviyesi pik güç yoğunluğudur (Agarwal ve ark., 2009). İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun kaynakları mikrodalga fırınları, radyo dalgaları, kablosuz telefonlar, kablosuz ağlar (Wifi), elektrik hatları ve MR (EMR cihazı) dır. İyonlaştırıcı radyasyon moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerjili yüksek frekanslı dalgaya sahiptir. İyonlaştırıcı radyasyon (DNA dahil) vücuttaki hücrelerin yapısına zarar verebilir ve insan sağlığı üzerindeki etkileri açıkça tanımlanmıştır. İyonlaştırıcı radyasyonun radon, uranyum ve diğer doğal olarak oluşan radyoaktif elementler tarafından yayınlanan X-ışınları, nükleer tıp ve bilgisayarlı tomografi "CT" taramaları için kullanılır. Araştırmalar iyonlaştırıcı radyasyonun çok düşük dozlarının bile kanser riskini arttırdığını göstermiştir. Tiroid bezi ve kemik iliği, özellikle çocuklarda, iyonize radyasyona daha duyarlıdır. Lösemi, kemik iliğinde oluşan en hassas radyasyona bağlı kanserdir ve radyasyona maruz kaldıktan sonraki birkaç yıl içerisinde görülebilir. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmadan kaynaklanan diğer kanserler akciğer, deri, tiroid, beyin, meme ve mide kanserleri sayılabilir (Wargo ve ark., 2012).

## 1.2. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik alan (EMA) terimi, uzayın belirli bir yerinde elektromanyetik enerjinin varlığını göstermek için kullanılır ve bir elektromanyetik alanın iki bileşeni

vardır. Bunlar elektrik ve manyetik alandır. Elektrik alanların şiddeti metre başına düşen gerilim (V/m) ile ölçülürken manyetik alanın ölçü birimi ise (A/m) dir. Elektrik ve manyetik alanların özellikleri farklıdır. Dolayısıyla bu alanların canlıların biyolojik yapıları üzerindeki etkileri de değişik olur. Bu alanların insanları nasıl etkilediği daha tam olarak anlaşılmış değil. Ama yapılan çalışmalar; manyetik alanların, elektrik alanlara göre daha etkili olduğunu işaret etmektedir. Örneğin elektrik alanlar duvarlardan geçemez; hatta insan derisinden bile geçerken şiddeti çok düşer. Bununla birlikte, manyetik alanlar, özel olarak üretilmiş kimi maddeler dışında, hemen hemen hiçbir engel tanımaz. Elektrik alanlar insan bedeninin yüzeyinde zayıf akımlar oluşturur; manyetik alanlarsa bedenin içine girerek bu tür zayıf akımların iç organlarda bile oluşmasına yol açarlar. Gerçekte değişken manyetik alanlar, çevrelerinde bulunan tüm iletkenlerde (insan bedenini de bir iletken olarak düşünebiliriz) akım oluştururlar. Bu akımların yönü manyetik alana diktir (Bilim ve Teknik, 2000). Elektromanyetik dalgalar dalga boyunun ve frekansın çok geniş bir spektrumunu içerir. Bunlar radyo ve TV vericisi, görünür ışık, kızıl ötesi, morötesi yayılma, X-ışınları ve  $\gamma$ -ışınlarının tamamını içine alır. Elektromanyetik dalgalar 1Hz ile  $10^{24}$  Hz frekans aralığında yayılırlar. Şekil 1.1’de elektromanyetik spektrum verilmiştir.



Şekil 1.1 Elektromanyetik spektrum

### 1.2.1. Son derece düşük frekans (ELF)

Son derece düşük frekans, 300 Hertz'in (Hz) altındaki radyasyon frekanslarını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. ELF alanları sınımlı alanlardır ve çoğu ülkede elektrik enerjisinin 50-60 Hz'de kullanımı yaygın olduğu için halk sağlığı açısından çok önemlidir.

### 1.2.2. Orta frekans (IF)

Orta Frekans, 300 Hz ve 100 kHz arasındaki radyasyon frekansını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. IF aralığından deneysel ve epidemiyolojik veriler vardır. Bu nedenle, IF aralığında akut sağlık risklerinin değerlendirilmesi halen düşük frekanslarda ve daha yüksek frekanslarda bilinen tehlikelere dayanmaktadır. IF alanlarına uzun süre maruz kalmanın olası sağlık etkilerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve değerlendirilmesi,

yeni ve gelişen teknolojiler nedeniyle bu tür alanlara maruz kalma oranının artması nedeniyle önemlidir. Bunun tipik örnekler; katot ışın tüpleri, kompakt flüoresan lambaları, radyo vericileri, uzaktan kumanda cihazları, kablosuz telefonlar, kart okuyucuları ve metal dedektörleri kullanan bilgisayar ve tv ekranlarıdır. Bütün bunlar elektro-cerrahide kullanılmaktadır.

### 1.2.3. Radyo frekansı (RF)

RF, 100 kHz ve 300 GHz arasındaki elektromanyetik spektrum arasındaki frekansları içerir. RF kaynakları tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır ve bunların örnekleri cep telefonu sistemlerinde, yayıncılıkta, tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda mevcuttur. RF kaynakları farklı frekans bantlarında kullanılır ve farklı kategorilere ayrılır.

### 1.3. Elektrik alan ve kuvveti

Alan kuvvetleri boşlukta hareket edebilir, etkileşime giren nesnelere arasında fiziksel temas olmasa bile etki oluşturabilirler. Alan kavramı, Michael Faraday (1791-1867) tarafından elektrik kuvvetleri bağlamında geliştirildi ve çok pratik değere sahiptir. Bu yaklaşımda, yüklü bir nesnenin etrafında bir elektrik alanının bulunduğu kabul edilir. İki yüklü parçacık arasında elektromanyetik kuvvet oluşur ve bu doğanın temel kuvvetlerinden biridir. Belirli bir noktada elektrik alanının olup olmadığını deneysel olarak bulmak için, ilgili noktaya yüklü küçük bir cisim,  $q_0$  deneme yükü, konulur. Bir test yükü elektrik alanına girdiğinde, üzerinde bir elektrik kuvveti etki eder. Elektrik alan birim yük başına etki eden elektrik kuvveti olarak da tanımlanabilir (Ünlü ve ark., 2010; Serway ve Beichner, 2011).

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (1.1)$$

Buradaki elektrik alan  $E$ ,  $q_0$  test yükünden farklı bir yük veya yük dağılımı tarafından üretilen alandır. Elektrik ve manyetizma yasaları akıllı telefonlar, televizyonlar, elektrikli motorlar, bilgisayarlar, yüksek enerjili hızlandırıcılar ve diğer elektronik cihazlar gibi cihazların çalışmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Daha temel olarak, katıların ve sıvıların oluşumundan sorumlu olan atomlar arası ve moleküller arası kuvvetler elektrik orijindir. Çin belgelerindeki kanıtlar, manyetizmanın M.Ö 2000'nin başlarında gözlemlendiğini göstermektedir. Eski Yunanlılar elektrik ve manyetik olayları muhtemelen M.Ö 700 gibi erken bir zamanda gözlemler. Yunanlılar, manyetik kuvvetlerini, doğal olarak oluşan taş manyetit parçalarını ( $Fe_3O_4$ ) demir tarafından çekilmesini gözlemlerinden biliyorlardı. Elektrik kelimesi Yunanca "kehribar" anlamındaki elektron'dan geliyor.

Manyetik kelimesi ise manyetitin ilk bulunduğu “Magnesia” Manisa bölgesinden gelmektedir. On dokuzuncu yüzyılın başlarına kadar bilim adamları elektrik ve manyetizma ile ilgili doğal olayların olduğunu tespit edemediler. 1819'da Hans Oersted, elektrik akımı taşıyan bir devrenin yanına yerleştirildiğinde pusula iğnesinin saptığını keşfetti.1831'de, Michael Faraday ve neredeyse aynı anda, Joseph Henry, bir telin bir mıknatısın yakın bir yerine taşınması durumunda (veya bir mıknatıs bir telin yanına taşınması halinde) telde bir elektrik akımının oluştuğunu ispatladılar.1873 yılında James Clerk Maxwell, bu gözlemleri ve diğer deneysel verileri, bugün elektromanyetizma yasalarını olarak bildiğimiz formülleri elde etmek için temel olarak kullandı. Elektromanyetizma, elektrik ve manyetizmanın birlikte çalışmasına verilen bir isimdir. Maxwell'in elektromanyetizma alanındaki katkıları önemliydi çünkü formüle ettiği yasalar tüm elektromanyetik olayların her türüne temel oluşturmaktaydı (Ünlü ve ark., 2010; Serway ve Beichner, 2011).

#### **1.4. Manyetik Alan ve Kuvveti**

Birçok bilim tarihçisi, keşfinin Arap ya da Hint kökenli olan bir manyetik iğne kullanan pusulanın, Çin'de M.Ö. 13. yüzyılın başlarında kullanıldığına inanıyorlar. Taş manyetinin ( $Fe_3O_4$ ) demir parçalarını çektiğini gözlemlenmeleri nedeniyle ilk Yunanlılar, manyetizmayı M.Ö. 800 yıllarında biliyorlardı. 1269'da Fransa'dan Pierre de Maricourt, küresel bir doğal mıknatısın yakınındaki bir iğnenin yönünün, küreyi saran ve mıknatısın kutupları olarak adlandırdığı, birbirlerine zıt çapta zıt iki noktadan geçen çizgiler oluşturduğunu buldu. Daha sonraki deneyler, her bir mıknatısın, şeklinden bağımsız olarak, elektrik yüklerinin birbirine kuvvet uygulamasına benzer şekilde diğer manyetik kutuplara kuvvet uygulayan, kuzey (N) ve güney (S) kutupları olarak adlandırılan iki kutup olduğunu gösterdi. Bu kutuplar (N-N veya S-S) birbirlerini iterler ve zıt kutuplar (N-S) birbirlerini çekerler. Kutuplar isimlerini, bir pusuladaki gibi bir mıknatısın Dünya'nın manyetik alanda hareket etme şekli nedeniyle aldılar. Şayet bir çubuk mıknatısı orta noktasından asılırsa ve yatay bir düzlemde serbestçe sallanırsa, kuzey kutbu Dünya'nın coğrafi Kuzey Kutbu'na ve güney kutbu Dünya'nın coğrafi Güney Kutbu'nu gösterene kadar döner. Dünya'nın coğrafi Kuzey Kutbu manyetik olarak güney kutbudur, oysa Dünya'nın coğrafi Güney Kutbu manyetik olarak kuzey kutbudur. Karşit manyetik kutuplar birbirlerini çektiği için, Dünya'nın coğrafi Kuzey Kutbu'na çekilen bir mıknatıstaki kutup, mıknatısın kuzey kutbu ve Dünya'nın coğrafi Güney Kutbu'nun çektiği kutup ise mıknatısın güney kutbudur. Manyetik tek kutupluluğun (kuzey veya güney kutuplarından izole edilmiş) doğada var

olabileceğini ve onları tespit etmeye çalışmanın aktif bir deneysel araştırma alanı olduğunu iddia etmek için bazı teorik temeller vardır. Aynı keşif 1802'de İtalyan bir hukukçu Gian Domenico Romagnosi tarafından rapor edilmiş, ancak onun buluşu göz ardı edilmiş veya araştırması muhtemelen bilinmeyen bir dergide yayınlanmış (Ünlü ve ark., 2010; Serway ve Beichner, 2011).

1600 yılında, William Gilbert (1540-1603) de Maricour deneylerini çeşitli materyallere genişletti. Bir pusula iğnesinin tercih edilen yönlere yöneldiğini biliyordu ve bu nedenle Dünya'nın kendisinin büyük ve kalıcı bir mıknatıs olduğunu öne sürdü. 1600 yılında, William Gilbert (1540-1603) de Maricour deneylerini çeşitli materyallere genişletti. Bir pusula iğnesinin tercih edilen yönlere yöneldiğini biliyordu ve bu nedenle Dünya'nın kendisinin büyük ve kalıcı bir mıknatıs olduğunu öne sürdü. 1750'de, deneyciler manyetik kutupların birbirlerine çekici veya itici güçler uyguladığını ve bu kuvvetlerin etkileşen kutuplar arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değiştiğini göstermek için bir burulma terazisi kullandılar. İki manyetik kutup arasındaki kuvvet, iki elektrik yükü arasındaki kuvvete benzer olmasının dışında, elektrik yükleri tek kutuplu olabilir ancak tek bir manyetik kutup asla oluşturulamaz. Bu nedenle, manyetik kutuplar her zaman çiftler halinde bulunur. Bir manyetik tek kutup oluşturmak için bugüne kadar yapılan tüm girişimler başarısız olmuştur. Kalıcı bir mıknatısın kaç kez ikiye bölündüğü önemli değildir. Çünkü ne kadar bölünürse bölünsün her bir parçanın her zaman kuzey ve güney olmak üzere iki kutbu vardır. Manyetizma ve elektrik arasındaki ilişki 1819'da Hans Christian Oersted'in bir dersin deneyleri sırasında bir teldeki elektrik akımının yakındaki bir pusula iğnesini saptırdığı tespit etmesi ile keşfedildi. 1820'lerde Faraday ve Joseph Henry (1797-1878) tarafından elektrik ve manyetizma arasındaki diğer ilişkiler bir birlerinden bağımsız olarak gösterildi. Onlar bir elektrik akımının, bir devrede bir mıknatıs hareket ettirilerek veya yakındaki bir devrede akımı değiştirerek bir devrede üretilebileceğini gösterdiler (Ünlü ve ark., 2010; Serway ve Beichner, 2011). Bu gözlemler değişken bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturduğunu göstermektedir. Yıllar sonra, Maxwell'in teorik çalışması bu olayın tersinin de doğru olduğunu göstermiştir. Yani değişken bir elektrik alan manyetik bir alan oluşturur. Elektromanyetik etkileşimler bu güne kadar tanımlanmış en küçük temel yük olan ve elektrik yükü olarak adlandırılan ve kütle kadar temel özelliğe sahip olan parçacıklar arasında oluşur. Kütleli parçacıklar nasıl yerçekimi kuvveti ile ivmeleniyorsa yüklü parçacıklarda elektriksel kuvvetler ile ivmelenirler. Cisimleri oluşturan atomları bir arada tutan ve katı cisimlerin atomlarının

birbirlerinin içlerinden geçmelerini önleyen kuvvetlerde atomlar içindeki yüklü parçacıklar arasındaki elektriksel kuvvetlerdir Manyetik kuvvetler elektrik motorlarının televizyonun görüntüleme tüplerinin mikrodalga fırınlarının hoparlörlerin, bilgisayar yazıcılarının ve disk üreticilerinin en önemli parçalarıdır. Manyetizmanın en çok bilinen şekli ise kalıcı mıknatıslardır. Bir manyetik kuvvet,

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1.2)$$

olarak yazılır. Burada, q elektrik yükünü, v hızı, B manyetik alanı temsil eder ve F manyetik kuvveti her zaman hem B'ye ve hem de hız v'ye diktir (Ünlü ve ark., 2010; Serway ve Beichner, 2011).

### 1.5. Elektromanyetik Kirlilik Kaynakları

Endüstrileşme, teknoloji ve bilimin gelişimiyle hayatımıza giren ve son yıllarda trafikten ve askeri alanlara kadar kullanılan radarların, kablosuz iletişim sistemlerinin, mikrodalga fırınların, cep telefonu baz istasyonlarının, TV ve radyo vericilerinin ve akıllı cep telefonlarının artmasıyla yoğun olarak maruz kalınan radyofrekans (RF) (10 kHz-300 GHz) radyasyon kaynaklarını aynı zamanda sağlık alanında tedavi amaçlı olarak diatermi ve MRI ünitelerinde de kullanılmaktadır. Oldukça düşük frekanslı (0-300 Hz) alanlar ise evlerde ve ofislerde kullanılan elektrikli cihazlar, trafolar ve yüksek gerilim hatlarından oluşmaktadır.

Televizyon, bilgisayar, TV ve radyo antenleri, cep telefon, sac kurutma makinesi, çamaşır makinesi, akım taşıyan kablolar, internet, elektrikli tıraş makinesi, mikrodalga fırınları, Wifi, buzdolabı, elektrikli battaniye gibi ev ve iş yerinde kullanılan elektrikli cihazların tamamı birer elektromanyetik (EMF) alan kaynaklarıdır ve çevrelerinde 1 mG (miliGauss) - 25 Gauss arasında manyetik alan oluştururlar. Bunlara ek olarak, güneş ışığı da bir elektromanyetik dalga kaynağıdır ve saniyede  $10^{12}$  defa titreşim ( $10^{12}$  Hz) yapar. RF ve mikrodalgalar saniyede  $10^9$  defa titreşim yaparlar. Tıpta röntgen cihazında kullanılan X-ışınları saniyede  $10^{18}$  defa titreşirken, nükleer tıpta kullanılan  $\gamma$ -ışınları ise saniyede  $10^{22}$  defa titreşim yapar. İnsan vücudu, besinlerin yakmasıyla oluşan ısının %60'ını vücut sıcaklığını  $37^\circ\text{C}$  sabit tutabilmek için IR radyasyonu ile çevreye yayar. Yaşadığımız sürece  $10^{12}$  Hz'den daha az titreşimli IR (Infrared, Kızılötesi) EM radyasyonu çevreye yaymaya devam ederiz (Polk ve Postow, 1996). Şimşekli havalarda atmosferin elektrik alanı  $10.000$  V/m'ye çakarken normal havada bu değer 120-150 V/m olur. Renkli televizyon ve bilgisayar monitörleri çevrelerinde 1-5 Gauss arasında manyetik alan oluştururlar. İnsan

vücudunun manyetik alanı en fazla  $10^{-6}$  Gauss mertebesinde (Seyhan, 2010; Polk ve Postow, 1996).

## 1.6. Elektromanyetik Alanlar

Elektromanyetik alan, elektrik ve manyetik alanın birlikte oluşturduğu ortak alanın adıdır. Elektromanyetik alanlar bütün uzayı geçebilen kuvvet alanları olarak tanımlanabilir. Maxwell ve Faraday elektrik yüklerinin hareketlerinden oluştuğu ve zamana bağlı olarak değişen manyetik alanın elektrik alan ve aynı şekilde elektrik alanında bir manyetik alan oluşturacağını keşfettiler ve bu keşiflerini formülleştirdiler. Formülize edilmiş olan bu denklemler (Maxwell denklemleri) elektrik ve manyetizmanın temelini oluşturmaktadır. Gauss yasası, Ampere-Maxwell yasası ve Faraday'ın indüksiyon kanunu ifade etmektedirler. Maxwell denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{ic}}{\epsilon_0} \quad (\text{elektrik alan için Gauss kanunu}) \quad (1.3)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (\text{manyetik alan için Gauss kanunu}) \quad (1.4)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left( i_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right) \quad (\text{Amper kanunu}) \quad (1.5)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{Faraday kanunu}) \quad (1.6)$$

## 1.7. Miktarlar ve Birimler

Elektrik alanlarının elektrik yükünün varlığı ile ilişkilendirilmiş olmasına rağmen, manyetik alanlar elektrik yükünün fiziksel hareketinden (elektrik akımı) kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, yükler hareket halinde olduğu zaman manyetik alanlar elektrik yüklerine fiziksel kuvvet uygulayabilir. Manyetik alan bir vektör olarak gösterilebilir ve manyetik akı yoğunluğu  $\mathbf{B}$  veya manyetik alan kuvveti  $\mathbf{H}$  olarak tanımlanabilir.  $\mathbf{B}$  ve  $\mathbf{H}$  sırasıyla tesla (T) ve metre başına amper (Am-1) cinsinden ifade edilir. Boşlukta ve havada iyi bir yaklaşıma sahip olan  $\mathbf{B}$  ve  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{H}$  ifadesiyle ilişkilidir. Burada  $\mu_0$  orantılılık sabiti boşluğun manyetik geçirgenliği olarak adlandırılır ve Henry başına metre cinsinden (Hm-1) ifade edilir ki,  $4\pi \times 10^{-7}$  sayısal değerine sahiptir. Bu nedenle, havadaki veya manyetik olmayan malzemelerdeki (biyolojik malzemeler dahil) bir manyetik alanı yeterli bir şekilde tanımlamak için,  $\mathbf{B}$  veya  $\mathbf{H}$  niceliklerinden yalnızca birinin belirtilmesi gerekir. Bir manyetik akı yoğunluğu  $B$ 'ye dik bir doğrultuda  $v$  hızıyla



hareket eden bir elektrik yüküne  $q$  etkiyen kuvvetin  $F$  büyüklüğü, aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1.7)$$

Kuvvetin yönü (Lorentz kuvveti), yükün hızının vektörel çarpımından ve manyetik akı yoğunluğundan belirlenir ve bu nedenle kuvvet her zaman elektrik yükünün akış yönüne diktir. Sonuç olarak, bir manyetik alan elektrik yükü ile etkileştiği zaman, yükün akış yönünü değiştirebilir, ancak hiçbir zaman hızında bir değişiklik yapamaz. Statik manyetik alanlar, dokulara enerji aktaramaz. Tesla cinsinden ölçülen manyetik akı yoğunluğu, manyetik alan etkileriyle ilgili olarak en uygun miktar olarak kabul edilir. Manyetik akı yoğunluğu Tesla cinsinden ölçülür ve bu manyetik alan etkileri ile ilgili olarak en alakalı miktar olarak kabul edilir. Belirli bir yüzey alanı içindeki manyetik akı, bölgenin ve manyetik akı yoğunluğunun yüzeyine dik olan bileşenin ürünüdür. Çizelge 1.1'de manyetik alan miktarlarının ve birimlerinin bir özeti verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** Statik manyetik alan miktarları ve birimleri.

Miktar	Sembol	Birim
Akım	$\mathbf{I}$	Amper (A)
Akım yoğunluğu	$\mathbf{J}$	Metrekare başına amper ( $A m^{-2}$ )
Manyetik alan kuvveti	$\mathbf{H}$	Metre başına amper ( $A m^{-1}$ )
Manyetik akı	$\Phi$	Weber (Wb yada $T m^2$ )
Manyetik akı yoğunluğu	$B$	Tesla (T)
Geçirgenlik	$\mu$	Metre başına Henry ( $H m^{-1}$ )
Boş alanın geçirgenliği	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} H m^{-1}$

İyonlaştırıcı olmayan radyasyondan korunma için kavramların, miktarların, birimlerin ve terminolojinin daha kapsamlı bir listesi ve tartışılması için okuyucuya ilgili ICNIRP yayınına atıfta bulunulur (ICNIRP, 2003a,b).

### 1.8. Maruziyet Kaynakları

Dünyanın doğal statik manyetik alanı  $\sim 50 \mu T$ 'dir ve coğrafi bölgeye bağlı olarak,  $\sim 30$  ile  $\sim 70 \mu T$  arasında değişir.  $20 \mu T$  mertebesindeki manyetik akı yoğunlukları, yüksek doğru akım iletim hatları altında üretilmektedir. Gelecekte, yeni nakil teknolojilerinin

gelişmesi nedeniyle daha büyük manyetik akı yoğunluklarına maruz kalma potansiyeli vardır. Manyetik olarak havaya kaldırmaya dayalı hızlı yolcu trenleri, motorlara göre yüksek manyetik akı yoğunlukları üretir. Bununla birlikte, hem manyetik olarak kaldırılmış trenler hem de geleneksel elektrikli trenler için, yolcu kabininin içindeki alanlar 100  $\mu$ T'nin altında kısmen düşüktür, ancak zemin seviyesinde birkaç mT'ye kadar sınırlanmış manyetik alanlar, yolcu vagonları altındaki indüktörlerden kaynaklanabilir (WHO 2006; ICNIRP 2008). Yerleşim ve iş ortamlarındaki diğer statik manyetik alan kaynakları, manyetik kelepçeler 0,5 mT'yi aşan yerel statik alanlar üreten çanta, düğme, manyetik kolye ve bilezik, manyetik kayış, manyetik oyuncak ve benzeri gibi manyetik ekler içerirler. Mesleki olmayan en yüksek manyetik alan maruziyeti vücut hakkında tanı bilgisi elde etmek ve vücuttaki cerrahi müdahalelere daha iyi rehberlik yapabilmek için kullanılan bir teknik olan, manyetik rezonans (MR) ile tanısız muayene yapılan hastalarda olur. MR nükleer manyetik rezonans olayına dayanır ve MRI ve manyetik rezonans spektroskopisinin (MRS) temelini oluşturur. MR yönteminde, manyetik akı yoğunlukları tipik olarak 0.15 ile 3 T arasındadır ve maruziyet genellikle 1 saatten daha azdır. Ancak MR süresi birkaç saat olabilir (Gowland, 2005). Bu tür işlemler sırasında, sağlık personeli, birkaç saat kadar uzun bir süre boyunca ana manyetik alan bölgesinde olabilir. Artan personel maruziyeti, acil durumlarda, tıp uzmanlarının hastaya çok yakın müdahale etmesi gerektiğinde de oluşabilir.

Ek olarak, hastaların MR sistemindeki ve dışındaki hareketleri sırasında kısa personel maruziyetleri oluşabilir. Son olarak, bu MR sistemlerinin üretimi veya bakımı ile ilgili personel de mesleki olarak yüksek statik manyetik alan maruziyeti yaşarlar. Fonksiyonel MRI, insanların beyin fonksiyonları ile ilgili yapılan akademik ve tıbbi araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 10T'nin üstünde yüksek manyetik alanlar kullanan MR sistemleri, günümüzde dünya çapında çeşitli kurumlarda araştırma yapmak için kullanılmaktadırlar ve yerel bir kurumsal inceleme kurulundan veya eşdeğer bir kuruluştan özel izin ile çalışırlar. Termonükleer reaktörler, manyetohidrokinamik sistemler ve süper iletken jeneratörler gibi yüksek enerjili teknolojilerde de güçlü alanlar oluşturur. Kabarcık odaları, parçacık hızlandırıcılar, süper iletken spektrometreler ve izotop ayırma ünitelerini kullanan araştırma tesislerinin, bu cihazlarının çevresinde yüksek manyetik akı yoğunluklu alanlar oluşur. Güçlü manyetik alanlara maruz kalmanın gerçekleştiği diğer endüstriler, iş gününün çoğu için tipik risklerin birkaç mT olduğu onlarca mT'ye kadar en yüksek maruz kalma oranlarına sahip klor veya alüminyum üretimi

gibi kalıcı mıknatısların ve manyetik malzemelerin imalatını yapan elektrolitik süreçleri içeren sektörlerdir. Çizelge 1.2’de statik manyetik alanlara maruz kalma limitleri verildi.

**Çizelge 1.2.** Statik manyetik alanlara maruz kalma<sup>a</sup> limitleri

<b>Maruziyet özellikleri</b>	<b>Manyetik akı yoğunluğu</b>
Mesleki <sup>b</sup>	-
Baş ve gövdenin maruziyeti	2T
Kol ve bacakların maruziyeti <sup>c</sup>	8T
Genel halk maruziyeti <sup>d</sup>	-
Vücudun herhangi bir bölümünün maruz kalması	400 mT

**a=** ICNIRP, bu sınırların işlevsel olarak uzaysal en yüksek maruz kalma sınırları olarak görülmesini önerir. **b=** Belirli iş uygulamaları için, ortamın kontrol edilmesi ve harekete bağlı etkileri kontrol etmek için uygun iş uygulamalarının yapılması durumunda 8 T'a kadar olan maruziyet savunulabilir. **c=** Maruz kalma sınırlarının 8 T'nin ötesine dayanması için yeterli bilgi yoktur. **d=** Potansiyel dolaylı yan etkiler nedeniyle, ICNIRP, nakledilen elektronik medikal cihazlar, ferromanyetik madde içeren implantlar ve 0,5 mT gibi daha düşük yasak seviyele neden olabilecek uçan cisimlerden kaynaklanan tehlikelerin istenmeyen zararlı şekilde maruz kalmasını önlemek için pratik politikaların uygulanmasının gerektiğini kabul etmektedir (IEC 2002).

### **1.9. Elektromanyetik Alanların (EMF) İnsan Sağlığı Üzerindeki Olası Etkileri**

Düşük frekanslı manyetik alanlar, insan vücudunda dolaşan akımları indükler. Bu akımların gücü, dış manyetik alanın şiddetine bağlıdır. Şayet bu akımlar yeterince büyükse, sinirlerin ve kasların uyarılmasına neden olabilir veya diğer biyolojik süreçleri etkileyebilir\*. Hem elektrik hem de manyetik alanlar vücuttaki gerilimleri ve akımları indükler, ancak doğrudan yüksek gerilim iletim hattının altında olursa bile indüklenen akımlar, şok ve diğer elektrik etkileri üretmek için gerekli olan eşik değerlere göre çok küçüktür. Kasların ısıtılması, radyofrekans kökenli alanların elektromanyetik alanlarının temel biyolojik etkisidir. Bununla birlikte, normal şartlarda maruz kalınan radyofrekans alanlarının seviyeleri, zarar verecek seviyede kasları ısıtabilmesi için gerekli seviyeden çok küçüktür. Radyo dalgalarının ısıtma etkisi mevcut prensiplerin temelini oluşturur. Biyolojik etkiler, bir uyarıcıya veya ortamdaki bir değişikliğe ölçülebilir bir tepkilerdir. Biyolojik etkiler, bir uyarıcıya veya ortamdaki bir değişikliğe ölçülebilir bir tepkilerdir. Oluşan her değişiklik insan sağlığı için her zaman zararlı değildir. İnsan vücudu, çevrede karşılaşılan birçok ve çeşitli etkiye uyum sağlamak için karmaşık mekanizmalara sahiptir.

Bazı kişilerin elektrik veya manyetik alanlara karşı aşırı duyarlılığı olduğu bilimsel çalışmalarda rapor edilmektedir. Elektromanyetik Aşırı Duyarlılık (EHS), çeşitli elektronik kaynaklardan EMF deneyimi olan bazı hassas bireylerde öznel iz ve belirtilerin ortaya çıktığı yeni bir olgudur. WHO'ya göre [43], dünya nüfusunun yaklaşık % 1-3'ü bu EHS sendromundan etkilenmektedir.

Son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalarda, ağrı ve acının, baş ağrısının, depresyonun, uyuşukluğun, uyku bozukluğunun ve hatta kasılmaların ve epileptik nöbetlerin elektromanyetik alan maruziyeti ile ilişkili olup olmadığını araştırılıyor. Ancak elektromanyetik aşırı duyarlılık fikrini destekleyen çok az bilimsel kanıt olduğu ve aşırı duyarlılığı açıklamak için kabul edilmiş herhangi bir biyolojik mekanizmanın olmadığı rapor edilmiştir. Çok çeşitli çevresel etkiler biyolojik etkilere neden olabilirler. Biyolojik etki, sağlık tehlikesine eşit değildir. Sağlık tehlikelerini tanımlamak ve ölçmek için özel araştırmalara ihtiyaç vardır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) uluslararası EMF projesi, düşük seviyeli elektromanyetik alanların olası tehlikeleri hakkında halkın endişelerine bilimsel olarak sağlam ve objektif cevaplar vermek üzere başlatılmıştır. Uluslararası araştırmanın odak noktası, radyofrekansları ve enerji hatlarında kanser ile elektromanyetik alanlar arasındaki muhtemel bağlantıların araştırılmasıdır (WHO).

Elektromanyetik alanların her yerde bulunan doğası, yaygın uygulamaları ve zararlı etkiler üretme kabiliyetleri dikkate alındığında, sağlık risklerinin kesin olarak araştırılması çok önemlidir. Elektromanyetik radyasyonlar frekanslarına ve dalga boylarına bağlı olarak farklı tiplere ayrılırlar. Genel olarak elektromanyetik radyasyonlar son derece düşük frekanslı (ELF) EMF (> 3Hz – 3 kHz) ve radyofrekans radyasyon (RFR) EMF (3 kHz – 300 GHz) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Elektromanyetik alanların canlı sistemlerle etkileşimi, özellikle sağlık üzerindeki etkileri ile ilgili bilimsel araştırmalar giderek artmaktadır. Hem pozitif (Garaj-Vrhovac ve ark., 2011; Koylu ve ark., 2006; Lai ve ark., 1997) hem de negatif biyolojik etkiler (Singh and Kapoor, 2014; Rösli ve ark., 2008; Lagroye ve ark., 2004; Hook ve ark., 2004; Zeni ve ark., 2007; Scüz ve ark., 2006) için kanıtlar vardır.

### **1.10. Kalkanlama Etkinliğinin Tanımı**

Kalkanlama etkinliği (SE) tipik olarak, gelen  $E_i$  elektrik alanının büyüklüğünün iletilen  $E_t$  elektrik alanının büyüklüğüne oranı olarak tanımlanır.

$$SE = \left| \frac{\bar{E}_i}{\bar{E}_t} \right| \quad \text{ve} \quad SE(dB) = 20 \log_{10} \left( \frac{E_i}{E_t} \right) \quad (1.8)$$

yukarıdaki kalkanlama etkinliğinin tanımı, elektrik alan genliklerinin oranını içerdiği için bazen elektrik alan kalkanlama etkinliği (ESE) olarak da adlandırılmaktadır. Kalkanlama etkinliği, bazen manyetik alan kalkanlama etkinliğine (MSE) atıfta bulunmak için gelen ve iletilen manyetik alanların oranları olarak da tanımlanmaktadır. Kalkanın her iki tarafındaki (örneğin hava) düzlemsel dalgalar ve aynı ortam için bu iki tanımlama eşdeğerdir (yani, ESE = MSE). Elektromanyetik kalkanın etkinliğini belirleyen birçok faktör vardır. Bu faktörler: Gelen elektromanyetik alanın frekansı, kalkan malzemesinin iletkenliği, geçirgenliği ve dielektrik sabiti gibi parametreler, kalkan kalınlığı, düzlem dalga, elektrik alan veya manyetik alan gibi elektromanyetik alan kaynağının türü, kaynaktan kalkana olan uzaklık, kalkan açıklıklarının ve giriciliklerinin neden olduğu kalkanlama bozulması ve metal kalkan yüzeyleri arasındaki bağlantının kalitesi olarak sıralanabilir (Gooch ve Daher, 2007).

### 1.11. Elektromanyetik Kalkanlama Teorisi

Elektromanyetik alanlar, klasik anlamda, bir dizi sınır koşullarına tabi olan Maxwell denklemleri tarafından kontrol edilir. Schelkunoff [5], bir iletim hattı benzetmesi kullanarak, kalkanlar aracılığıyla düzlemsel dalga zayıflama teorisini ortaya koydu. Teori daha sonra diğer yazarlar tarafından genişletildi [örneğin, 6]. Schelkunoffs formülasyonu kullanılarak (kalkan, kaynağın uzak alanına yerleştirildiği kabul edilir), düzlem dalga kalkanlama etkinliği (dB cinsinden), soğurma (A) ve yansıma kaybı (R) ile çoklu yansıma düzeltme teriminin (B) toplamı olarak yazılabilir.

$$SE=A+B+R \quad (1.9)$$

Elektromanyetik kalkanlama işlemleri, Şekil 1.2'de resimsel olarak gösterilmiştir. Bir kalkanın elektrik (E) ve manyetik (H) alanlarının yansıması ve iletiminin gerçekleştiği yerde iki sınırı vardır. Gelen alanlar "i" alt indisleri ile yansıyan alanlar "r" alt indisleri ve iletilen alanlar ise "t" alt indisleri ile gösterilmektedir. Her hava / metal arayüzünde, alanın bir kısmı yansıtılır ve alanın geri kalanı iletilir. Gücün bir kısmı kalkan içinde emilir. Yansıma, bir empedans uyumsuzluğu nedeniyle oluşur. Kalkan malzemesi içindeki enerji kayıpları nedeniyle soğurma oluşur. Sınır koşulları, teğet alanların arayüzlerde sürekli olması gereklidir, yansıma ve aktarım katsayılarının büyüklüğünü belirler. İyi bir kalkanda, gelen alanının ( $E_i$ ) büyük bir kısmı yansıtılır ve sadece küçük bir kısmı iletilir ( $E_t$ ). Bu

nedenle, ilk hava / kalkan ara yüzeyinde genellikle büyük bir yansıma kaybı (R) vardır. İletilen kısım, ikinci ekran / hava ara yüzü ile karşılaşmadan önce bir soğurma kaybı (A) yaşar. Bu alanın küçük bir kısmı ( $E_{tt}$ ) daha sonra kalkandan diğer hava ortamına iletilir. Soğurma kaybı büyükse, bu iletilen kısım, kalkanın tüm kalkanlama etkinliğini belirler (yani,  $SE = A + R$ ). Bununla birlikte, şayet soğurma kaybı küçükse, kalkan içindeki çoklu yansımalar, iletilen alana vektörel olarak eklenen ( $E_{tt}$ ) birçok önemli yüksek dereceli terimlerin (yani,  $E_{tr2t}$ ,  $E_{tr4t}$ ,  $E_{tr6t}$ , vb.) varlığı nedeniyle kalkanlama etkinliğinde bir azalmaya neden olabilir. Kalkanlama etkisindeki bu azalma, çoklu yansımalara bağlı olarak, denklem (1.9)'de negatif büyük bir B terimi olarak kendini gösterir. Denklem (1.9)'deki soğurma, yansıma ve çoklu yansıma düzeltme terimleri, gelen elektromanyetik alanın empedansına veya kalkan malzemesinin özelliklerine bağlıdır (Gooch ve Daher, 2007).

### 1.12. Soğurma Kaybı

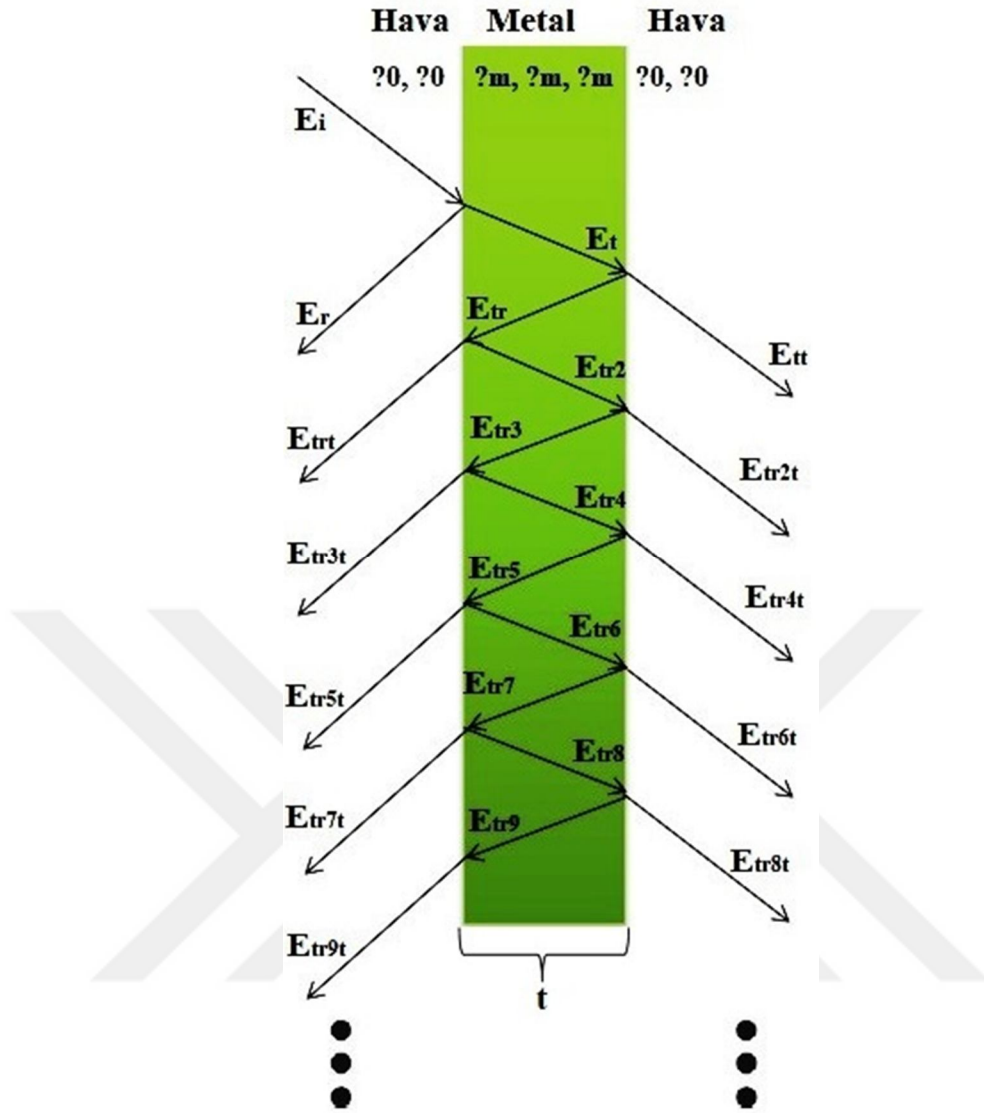
Elektromanyetik dalga kalkana nüfuz ederken soğurma kaybı oluşur. Elektrik ve manyetik alanların genliği, indüklenen akımlar ve malzemede meydana gelen omik kayıplar nedeniyle üssel olarak azalır. Metal kalkandaki alanların yayılma sabiti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\gamma_s = \sqrt{j\omega\mu_s\sigma_s} \quad (1.10)$$

burada  $\gamma_s$ = kalkanın içindeki dalganın yayılma sabiti,  $j = \sqrt{-1}$ ,  $\omega=2\pi f$  rad / s olarak radyan frekans,  $f$ =hertz olarak frekans,  $\mu_s$ = H/m cinsinden, ekran geçirgenliği ve  $\sigma_s$ = mhos / m cinsinden ekran iletkenliğidir. Yayılma sabitinin asıl kısmı, azaltma sabitidir ve azaltma sabitinin karşılığı, kabuk derinliği olarak tanımlanır. Bu nedenle, kabuk derinliği dalganın zayıflatılması için ya da başlangıç genliğinin yaklaşık % 37'sinin azaltılması için gereken mesafedir. Denklem (1.10)'ün gerçek kısmının çözülmesiyle ve sonra karşılıklı sonuçların alınması ile denklem (1.11) yazılabilir.

$$\delta_s = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_s\sigma_s}} \quad (1.11)$$

Burada  $\delta_s$  =metre olarak kabuk derinliğidir. Böylece, kalkan geçirgenliği veya iletkenliği arttırılarak kabuk derinliği azaltılır ve frekansın karekökü ile ters orantılıdır.



Şekil 1.2. Elektromanyetik alanların yansımaya ve iletiminin gösterimi.

Soğurma kaybı yukarıdaki ifadelerle göre kolayca aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$A = 20 \log_{10}(e^{t_s/\delta_s}) = 8.686 \left( \frac{t_s}{\delta_s} \right) \quad (1.12)$$

burada A= dB olarak soğurma kaybı ve  $t_s$ = metre olarak kalkan kalınlığıdır. Kalkan malzemesi parametreleri ve kalkan kalınlığı tanımlanarak ve denklem (1.11) ve (1.12) kullanarak frekansın bir fonksiyonu olarak soğurma kaybını hesaplayabilir (Gooch ve Daher, 2007).

### 1.13. Yansıma Kaybı

İki ortam (örneğin, hava ve metal kalkan) arasındaki ara yüzde yansıma kaybı, bir empedans uyumsuzluk kaybı olarak düşünülebilir ve dalga empedansının, kalkanın yalın (öz) empedansına oranı ile ilgilidir. Düzlem dalgalar için (yani, kaynağın uzak alan bölgesindeki saçılan elektromanyetik dalgalar), dalga empedansı, yayılma ortamının karakteristik empedansına eşittir. Serbest boşluğun karakteristik empedansı (ve yaklaşık olarak havanın da empedansı) aşağıdaki gibi verilir.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377\Omega \quad (1.13)$$

Burada  $\mu_0$ = boş uzayın manyetik geçirgenliği ( $=4\pi \times 10^{-7}$  H/m) ve  $\epsilon_0$ = boş uzayın elektrik geçirgenliği ( $=8.854 \times 10^{-12}$  F/m)'dir. Bu nedenle, serbest alanda yayılan düzlem dalgalar için dalga empedansı (yani, elektrik alan kuvvetinin manyetik alan kuvvetine oranı) 377 ohm'dur. Öte yandan, kalkan malzemesinin yalın (öz) empedansı (tipik olarak yüksek iletkenliğe sahip metalik bir malzemedir) boş alandaki değerden oldukça düşüktür ve aşağıdaki gibi verilir(Gooch ve Daher, 2007).

$$Z_s = \sqrt{\frac{j\omega\mu_s}{\sigma_s}} \quad (1.14)$$

burada  $Z_s$  metal kalkanın ohm olarak yalın (öz) empedansıdır. Büyük empedans uyumsuzluğu nedeniyle, gelen alanının büyük bir kısmı hava / kalkan ara yüzünde yansır ve sadece küçük bir kısım iletilir. İlk hava / kalkan ara yüzündeki iletim katsayısı aşağıdaki gibi yazılır.

$$T_1 = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_0}{Z_0 + Z_s} \quad (1.15)$$

Benzer şekilde, ikinci kalkan / hava ara yüzündeki iletim katsayısı da yazılabilir.

$$T_2 = \frac{E_t}{E_{tt}} = \frac{2Z_0}{Z_0 + Z_s} \quad (1.16)$$

Birleşik iletim katsayısı, denklem (1.15) ve (1.16)'nın çarpımı ile verilir.

$$T_{tot} = T_1 T_2 = \frac{E_{tt}}{E_i} = \frac{4Z_0 Z_s}{(Z_0 + Z_s)^2} \quad (1.17)$$

Yansıma kaybı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R = -20 \log_{10} |T_{tot}| = 20 \log_{10} \frac{|1+k|^2}{4|k|} \quad (1.18)$$



burada  $k=Z_s/Z_0$ 'dır. Kalkan malzemesinin parametreleri ve frekanslar bilindiği zaman denklem 1.13, 1.14 ve 1.18'in çözülmesiyle yansıma kaybı hesaplanabilir. Düşük empedanslı kalkanlar için,  $k$  çok küçüktür ve bu da büyük bir yansıma kaybına neden olur(Gooch ve Daher, 2007).

#### 1.14. Çoklu Yansıma Düzeltme Terimi

Çoklu yansıma düzeltme terimi, kalkan içindeki çoklu yansımalar nedeniyle düşük soğurma kaybı olan kalkanlar için kalkanlama etkinliğindeki azalmayı açıklar. Bu terim aşağıdaki gibi yazılır(Gooch ve Daher, 2007).

$$B = 20 \log_{10} \left| 1 - \frac{(k-1)^2}{(k+1)^2} e^{-\frac{2t_s}{\delta_s}} \right| \quad (1.19)$$

Bir kalkanın toplam kalkanlama etkinliği 1.9, 1.12, 1.18 ve 1.19 denklemlerinden hesaplanabilir.

#### 1.15. Yakın Alan Kaynaklarının Kalkanlama Etkinliğine Etkisi

Schelkunoff formülasyonu, kalkanın kaynağın uzak bölgesinde bulunduğunu kabul etmektedir. Bu nedenle, gelen alanının boş alan ile aynı empedansa sahip bir düzlem dalga olduğu kabul edilir ( $Z_0 = 377\Omega$ ). Kalkan bir vericinin yakınına yerleştirilmişse, R ve B denklemleri (sırasıyla, denklem 11 ve 12), boş uzay alanından farklı bir dalga empedansını ( $Z_w$ ) düzeltmek için hafifçe değiştirilmelidir. Bu nedenle, bir kalkanın yakın alan açıklaması için, denklem 11 ve 12'deki parametreler aşağıdaki denklemle verilen değiştirilmiş  $k'$  parametresi denkleme konulur (Gooch ve Daher, 2007).

$$k' = \frac{Z_s}{Z_w} \quad (1.20)$$

Elektrik alan kaynakları için, dalga empedansı tipik olarak bir elektrik dipolinünün olduğu varsayılır.

$$Z_{we} = Z_0 \frac{j/(\beta_0 r) + 1/(\beta_0 r)^2 - j/(\beta_0 r)^3}{j/(\beta_0 r) + 1/(\beta_0 r)^2} \quad (1.21)$$

burada  $\beta=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  dalga boyu ve  $r$  kaynağa olan uzaklıktır. Benzer şekilde, manyetik alan kaynakları için dalga empedansının tipik olarak bir manyetik dipolün (elektiriksel olarak küçük halka) olduğu varsayılır.

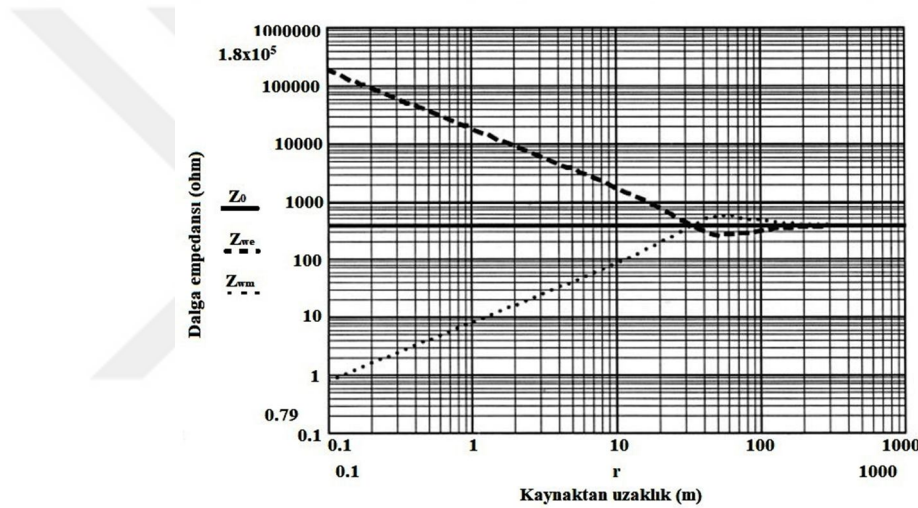
$$Z_{we} = Z_0 \frac{j/(\beta_0 r) + 1/(\beta_0 r)^2}{j/(\beta_0 r) + 1/(\beta_0 r)^2 - j/(\beta_0 r)^3} \quad (1.22)$$

Aşırı yakın alanda ( $r \ll \lambda/2\pi$ ), denklem 14 ve 15 basitleştirmek için,

$$Z_{we} \approx \frac{Z_0}{j\beta_0 r} \quad (1.23)$$

$$Z_{wm} \approx jZ_0\beta_0 r \quad (1.24)$$

Şekil 1.3 1 MHz frekansında uzak alan, elektrik ve manyetik alan kaynakları için dalga empedansına karşı mesafenin değişimini göstermektedir(Gooch ve Daher, 2007).



Şekil 1.3. Dalga empedansı vs. düzlem dalga, elektrik alan ve manyetik alan kaynakları için kaynaktan uzaklık ( $f = 1$  MHz).

### 1.16. Uygulamalı (Pratik) Elektromanyetik Kalkanlama

Alüminyum gibi yaygın olarak kullanılan metalik kalkan malzemelerinin iletkenliği çok yüksek olduğundan (tipik olarak  $10^7$  mhos/m veya daha yüksek siperişte), metalik bir bariyer teorik olarak büyük miktarda zayıflama sağlar. Kural olarak, eğer sürekli bir metal bariyer kendisini desteklemek için yeterli bir kalınlığa sahipse (örneğin 48 m veya daha fazla), teorik kalkan etkinliği radyo frekanslarında (RF) son derece yüksektir (tipik olarak 100 dB veya daha fazla bir düzende).

Bununla birlikte, pratikte, koruma bariyeri sürekli değildir, ancak metal tutturucularla birlikte tutturulmuş (bağlanmış) bağlantı yerleri kapsar. Genellikle, eklemler elektromanyetik alanların kalkandan sızmasına izin vererek genel ekranlama etkinliğini

azaltır. RF frekanslarında kontak yüzeyleri arasındaki elektriksel bağın kalitesi, büyük ölçüde, kalkanlayıcı yapının genel koruma etkinliğini belirler. Kontak yüzeyinde doğru akım (de) yolu sağlamak, yüksek koruma etkinliği için gereklidir, ancak yeterli değildir (aşlında perçinli bağlantılar, zırh kalkanlarının etkinliğine rağmen, genellikle yapıştırılmış paneller arasında çok düşük bir direnç sağlar). Daha doğrusu, kırılma yüzeyleri arasında düşük bir RF empedans yolu sağlanmalıdır. Bir uçağın kaplamasındaki bir eklem boyunca akan RF yüzey akımları, uçağın iç kısmında elektrik alanları indükler. Bu alanlar sırayla iç kablolamada akım ve gerilime neden olur (Gooch ve Daher, 2007).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), son zamanlarda çevresel sağlık kriterleri programında (WHO, 2006) statik elektrik ve manyetik alanlar hakkında bir sağlık kriterleri belgesi geliştirdi. Belge, statik alanlara maruziyetin biyolojik etkilerini bildiren bir incelemeyi içerir ve diğer yakın yayınlarla birlikte, 1994 yılında ICNIRP tarafından yayınlananların yerine geçen mevcut belgede açıklanan ilkelerle ilgili gerekçenin geliştirilmesi için bilimsel veri tabanı görevi görmektedir (ICNIRP, 1994; 2003).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aksoy 2019 yılında yapmış olduğu bir çalışmada, kalkanlama etkisini ölçmek için transmiyon tekniği kullanmış ve iletken ve saydam bir tabaka elde etmek için ise farklı metal oksitler ve metal oksitli karışımlar, sprey ve döndürmeli kaplama teknikleri ile cam üzerine püskürtülerek konulmuş. Saçılım parametrelerini ölçmek için ise deneysel bir düzenek tasarlamışlar ve optik şeffaf ölçümler spektrometre kullanılarak yapılmış. Ölçümlerde VNA (mikrodalga network analizör) kullanılarak ölçülen saçılım parametreleri yardımıyla kalkanlama etkisi değerlerini ölçmüşler (Aksoy, 2019).

Abdulla 2016 yılında yapmış olduğu bir araştırmada 5 farklı türde 29 örme ve 3 farklı türde 3 dokuma kumaş üretilmiş. Kumaşlar bakır, gümüş ve paslanmaz çelik olmak üzere 3 farklı iletken fiber konulmuş. Örme kumaşlar içerisinde en iyi sonucu milano 4mm bakır, pike 2mm bakır ve milano 6mm çelik vermiş. Pike 2mm bakır 23.15dB'lik kalkanlama etkinliği değeri ile onun en iyi örme kumaş kalkan malzemesi olduğunu kanıtlamıştır. Sonuçların doğruluğu istatistiki verilerle de desteklenmiş (Abdulla, 2016).

2014 yılında “iletken filamentli ipliklerden farklı yapısal özellikli dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin incelenmesi” başlıklı yapılan bir araştırmada farklı iletken filamentler (paslanmaz çelik, emaye kaplı bakır) kullanılarak üretilen dokuma kumaşlarda iletken çeşidi, iletken iplik kullanım miktarı ve kumaş örgü yapısı değişkenlerinin elektromanyetik kalkanlama özelliğine etkisi araştırılmış. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EMSE) ölçümleri, 10 MHz-3 GHz frekans aralığında, 12 numune üzerinde yatay ve dikey polarizasyonlarda yapılmış. Ölçüm sonuçları iletken iplik çeşidi, iletken iplik kullanım miktarı ve kumaş örgü yapısı açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilerek EMSE'ye etkisi araştırılmış ve EMSE ölçümlerinde iletken iplik çeşidinin, kullanım miktarının ve kumaş örgü yapısının EMSE değerini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiş (Göral, 2014).

2016 yılında yapılan bir araştırmada, 10 adet numunenin mikrodalga frekansı bölgesinde örgü ve dokuma kumaşların kalkanlama etkinliğinin araştırılmış. 750-2000 MHz frekans bandında elektromanyetik dalgaların şiddetini azaltmak için kalkan malzemesi üretilmiş ve kalkanlama etkinliği deneyleri yapılmış ve deneylerde bakır, gümüş ve paslanmaz çelik fiber içeren örme ve dokuma kumaşlar ile farklı desenlerde metal ağ modeli kullanılmış. Kalkanlama etkinliğinin en büyük değeri 50µm bakır özlü bezayağı dokuma kumaşında hesaplanmış (Abdulla, 2016).

2018 yılında Kayık tarafından “Düzlem malzemelerin ekranlama özelliklerinin ölçümü için tem hücre tasarımı” başlıklı yüksek lisans tezi hazırlanmış ve tezde ikili TEM hücresi metodundan farklı olarak, iletim yoluyla kalkanlama etkinliği yöntemini benimseyen tek bir TEM hücresinin eş iki parça halinde kullanılması ile ortaya çıkan Ayrık TEM hücresi (TEM-t) metodu üzerinde çalışılmış. Hem referans hem de test edilen ekran malzemesi ile birlikte yapılan ölçümler sonucunda kalkanlama etkinliği ölçümlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmış (Kayık, 2018).

2012 yılında yapılan bir çalışmada, farklı oranlarda çok duvarlı karbon nanotüpler formik asitte hazırlanan poliamid 6 çözeltilisine eklenerek dispers edilmiş ve hazırlanan çözeltilerden elektro çekim işlemi ile nanolif üretimi yapılmış. Üretilen nanoliflerin karakterizasyonu SEM görüntüleri ile ve emdirilmiş yüzeylerin elektromanyetik dalgaları kalkanlama özellikleri ise 15-3000 MHz frekans aralığında Network Analyzer cihazı ile yapılmış. Elektriksel iletkenlik özellikleri iki uç metoduyla yüzey özdirenci ölçülerek araştırılmış (Demirel, 2012).

2010 yılında Kılıç tarafından yapılan bir çalışmada, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte örme kumaşların üretimine uygun metal içeren kompozit ipliklerin üretim imkan ve kabiliyetleri araştırılmış. Sonra metal içerikli kompozit ipliklerden uygun iplik tipi seçilerek elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte kumaşlar geliştirilmiş ve kalkanlama etkinliklerinin ölçümü koaksiyel tutucu metodu ve yankısız oda metodu olmak üzere iki ayrı ölçüm metodu ile yapılmış. yankısız oda metoduna göre yapılan ölçümlere göre; belirli frekanslarda kompozit ipliklerle üretilen kumaş numunelerinden bir kısmı ile 30 dB ve üzerinde kalkanlama yapılabileceği tespit edilmiş (Kılıç, 2010).

Hulle ve Powar tarafından 2018 yılında yapılan bir çalışmada elektromanyetik kalkanlamada metal içerikli tekstil ürünlerinin öneminden bahsetmiştir. Bu tür çalışmaların elektromanyetik kalkanlama araştırmalarının başında geldiğini ifade etmişlerdir (Hulle ve Powar, 2018).

Neruda ve Vojtech tarafından 2018 yılında yüksek elektriksel iletkenliğe sahip dokuma kumaşların elektromanyetik koruyucu etkinliği: Analitik modelin tam türev ve doğrulanması başlıklı bir çalışma yapılmış. Çalışmada yüksek elektrik iletkenliğine sahip dokuma kumaşların elektromanyetik koruyucu etkinliği araştırılmış. Elektromanyetik parazit koruyucu dokuma-tekstil kompozit malzemeler, yüksek derecede elektriksel olarak iletken bir polyester karışımından ve bir poliamid baz üzerinde Au kaplanmış ipliklerden

geliştirilmiş.  $\sigma=244$  S/m'ye eşit veya daha yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip karışık ve kaplanmış ipliklerden üretilen dokuma kumaşların 0.03–1.5 GHz de mükemmel bir elektromanyetik koruyucu etkinlik değerinin 25-50 dB'de olduğunu gözlemlemişler (Neruda ve Vojtech, 2018).

Tamam ve arkadaşları 2016 yılında, yapmış oldukları bir derleme çalışmasında elektromanyetik alanların bünyemiz üzerindeki etkilerini ve korunma mekanizmalarını hakkında bilgi vermişler (Tamam ve ark., 2016).

2014 yılında yapılan bir araştırmada, cep telefonları, bilgisayarlar, mikrodalga fırınlar, televizyonlar, klimalar, fotokopi makineleri, baz istasyonları, elektronik haberleşme ağları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri savunma sistemleri, radarlar, tıbbi cihazlar ve daha pek çok elektrik-elektronik cihazlar ve sistemlerin olumsuz etkilerinin tekstil materyalleri ile azaltılabilmesi amaçlanmış (Yılmaz, 2014).

Doğan ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada, giysi, kask, baret, bebek taşıyıcısı ve benzeri eşyaların içeriğinde kullanılmak üzere hafif ve elektromanyetik dalgalara karşı kalkanlama görevi görecektir polimer kompozit yapılar geliştirilmesi hedeflenmiş ve bu amaçla, karbon, karbon-kevlar ve cam lifleri içeren kumaşlar kullanılarak kompozit yapıya sahip levhalar üretilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri yansıtmasız oda kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda karbon lifi ile üretilen yapının elektromanyetik kalkanlama değerlerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir (Doğan ve ark., 2018).

Altun ve arkadaşları 2017 yılında grafen katkılı odun-plastik nanokompozitlerinin elektromanyetik özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği karşılaştırmalı başlıklı bir çalışma yapmışlar. Çalışmada esnek, hafif, dirençli ve yüksek performanslı kalkanlama etkinliği gösteren grafen katkılı odun-plastik (OPG) nanokompozitleri üretilmiş ve üretilen kompozit malzemelerin yapısal ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EKE), yalıtkanlık sabiti, manyetik geçirgenlik gibi elektromanyetik özellikleri 8-9 GHz frekans aralığında analizi yapılmıştır. Diğer nanokompozitlerden daha fazla oranda grafen içeren OPG-4 malzemesi 8-9 GHz frekans aralığında en yüksek elektromanyetik kalkanlama etkinliği gösterdiğini ispat etmişler (Altun ve ark., 2017).

2016 yılın da Kashi ve arkadaşları tarafından grafen tabanlı biyobozunur nano kompozitlerin dielektrik özellikleri ve elektromanyetik girişim koruyucu etkililiği başlıklı

bir araştırma yapılmış. Çalışmada, GSMH birleşmesinin PLA ve PBAT'ın elektromanyetik özellikleri ve elektromanyetik girişim kalkanlama etkinliği (SE) üzerindeki etkisi araştırılmış ve iki sistem sistematik olarak karşılaştırılmış. Ek olarak, Sihvola'nın karmaşık elektriksel geçirgenlik karışımının bu nanokompozitlere uygulanabilirliği de araştırılmış. Her iki polimerin SE'si dielektrik özelliklerinin arttırılması nedeniyle GNP ilavesi ile artmış (Kashi ve ark., 2016).

2015 yılında Suche ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada GHz frekans aralığında elektromanyetik koruma için nanoyapılı kompozit katmanlar çalışılmış. Çalışmada, poli (3,4 etilendioksitiofen) -pol (stirensülfonat) (PEDOT: PSS), poliyanilin, grafen nanoplateletler, karbon nanotüpler, Cu nanopartiküller ve poli (vinil alkol) dahil olmak üzere çeşitli malzeme kombinasyonları kullanılmış. Grafen nanoplateletler, poliyanin PEDOT: PSS ve Poli (vinil alkol) içeren boya benzeri nanokompozit katmanlar, ticari ürünlere benzer veya hatta daha iyi olan oldukça etkili elektromanyetik kalkanlama yapabileceğini rapor etmişler (Suche ve ark., 2015).

2017 yılında Mondal ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Nano yapıda karbon bazlı etilen metil akrilat nanokompozitlerinin düşük perkülasyon eşiği ve elektromanyetik koruyucu etkinliğini araştırmışlar. Önerilen kompozitler, düşük bir sızma eşiğine (ağırlıkça% 8.6) ve diğer pahalı karbon dolgu maddelerine kıyasla X-bandı frekansında ağırlıkça %20 K-CB için 33.9 dB'lik yüksek EMI koruma değeri sağlamış (Mondal ve ark., 2017).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Numunelerin Hazırlanışı

Bu çalışmada ticari olarak üretilmiş farklı oranlarda gümüş elyaf katkılı 4 farklı kumaş ile bir şapkanın soğurma  $IS_{21}$  ve yansıma kapasiteleri  $IS_{11}$  30 kHz ile 3GHz frekans aralığında N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörü kullanılarak ölçüldü. Ölçümler Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünün Mikrodalga ve Anten laboratuvarında yapıldı. Ölçümlere başlamadan önce taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörünün koaksiyel kablo ölçüm düzeneğine kadar kalibrasyonu yapıldı. Ölçüm için kumaş numuneler kesilerek koaksiyel kablo içindeki bakır silindirin dışına sarıldı ve son olarak koaksiyel kablo içine konuldu ve kablonun uçları birleştirildi. Ölçümler için kullanılan N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörü fotoğrafı şekil 3.1’de, numunelerin fotoğrafını şekil 3.2’de, Çizelge 3.1’de N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörünün özellikleri ve Çizelge 3.2’de ise numunelerin özellikleri verildi.



Şekil 3.1. N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörü





Şekil 3.2. Numuneler

**Çizelge 3.1.** N9918A FieldFox Taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörünün Özellikleri

<b>Kablo ve Anten Analizörü (CAT), Vektör Network Analizörü (VNA)</b>	
1	Frekans aralığı 30 kHz`den 26.5 GHz`e
2	Dinamik aralık: 9 GHz`e kadar 100 dB, 18 GHz`e kadar 90dB
3	CAT: geri dönüş kaybı, geçiş kaybı ve arıza mesafesi ölçümleri
4	VNA: S11, S21, S22, S12, genlik ve faz
<b>Spektrum Analizör</b>	
1	5 kHz`den 26.5 GHz`e
2	± 0.6 dB genlik hassasiyeti, tam bant, maksimum tempo ile çalışabildiği aralık - 10/+55 °C (14 / 131 °F)
3	Dinamik aralık: ≥ 105 dB
4	Tam bant iz sürme üretici
<b>Bağımsız Kaynak, Vektör Voltmetre (VVM), Güç ölçümleri</b>	
1	RF kaynağı: 30 kHz`den 26.5 GHz`e, CW, CW eşleme ve izleme
2	VVM: 30 kHz`den 26.5 GHz`e, faz karşılaştırma ve elektriksel uzunluk
3	USB sensör ile güç ölçümü, 9 kHz`den 24 GHz`e (Sensöre bağlı olarak değişir.)
4	Dahili güç ölçer: 5 kHz`den 26.5 GHz`e

**Çizelge 3.2.** Numunelerin özellikleri

Kumaşlar	Bileşim	Örme tipi	Ürün kodu	Ağırlık	İşlevleri
Pembe	%60 gümüş elyaf + 40% polyester	Örme	AR-S03	100g/m <sup>2</sup>	iletken, antistatik, anti-radyasyon, antibakteriyel
Şapka	%50 gümüş + %50 metal elyaf	Dokuma	S071	200g/m <sup>2</sup>	iletken, antistatik, anti-radyasyon, antibakteriyel
Açık kahve	%100 Gümüş elyaf	Örme	YSILVER32#	33g/m <sup>2</sup>	iletken, antistatik, anti-radyasyon, antibakteriyel
Koyu kahve	%100 Gümüş elyaf	Örme	1666266	33g/m <sup>2</sup>	iletken, antistatik, anti-radyasyon, antibakteriyel
Gri	%100 Gümüş elyaf	Örme	3007059	100g/m <sup>2</sup>	iletken, antistatik, anti-radyasyon, antibakteriyel,

### 3.2. Ölçümlerin Yapılması ve Kalkanlama Etkinliğinin Hesaplanması

Ticari olarak üretilmiş ve elektromanyetik kalkanlama özelliği olan 4 adet kumaş ve 1 adet şapka numunesinin  $|S_{11}|$  ve  $|S_{21}|$  gibi S parametreleri, Şekil 3.1’de verilen N9918A FieldFox taşınabilir mikrodalga vektör network analizörü yardımı ile ölçüldü. Ölçüm sonuçları, denklem 3.1-3’de verilen formüller ve çizelge 3.3’de verilen yazılım kullanılarak Matlab programında kalkanlama etkinliği ile (Shielding effectiveness, SE) ile 30 kHz ile 3 GHz frekans aralığında grafikler çizildi (Şekil 4.1-5). Çizilen grafiklerden numunelerin kalkanlama etkinliği değerleri tespit edildi.

$$SE_T = SE_A + SE_R \quad (3.1)$$

$$SE_A = -10\log_{10}[(|S_{21}|)^2 / (1 - (|S_{11}|)^2)] \quad (3.2)$$

$$SE_R = -10\log_{10}[(1 - (|S_{11}|)^2)] \quad (3.3)$$

burada  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinliğini değerleri,  $IS_{11}$  yansımaya katsayısını,  $IS_{21}$  iletim katsayısını,  $SE_R$  yansımaya kayıplarını ve  $SE_A$  soğurma (iletim) kayıplarını göstermektedir.

**Çizelge 3.3.** Matlab programında kullanılan yazılım kodu

```
clc;clear all
load DB.mat
SEa=-10*log10([(S21).^2./(1-(S11).^2)]);
SEr=-10*log10([1-(S11).^2]);
SEt=SEa+SEr;
plot(Frequency,SEt)
xlabel('Frequency');
ylabel('SEt');
grid on
```

Yansımaya ( $IS_{11}$ ) ve soğurma ( $IS_{21}$ ) parametrelerinin değerleri aşağıdaki denklemle desibelle (dB) çevrildi.

$$dB = 20\log_{10}N \quad (3.4)$$

dB desibel sayısı ve N genlik oranı ( $N= IS_{11}$  ve  $IS_{21}$ ) değerleridir.

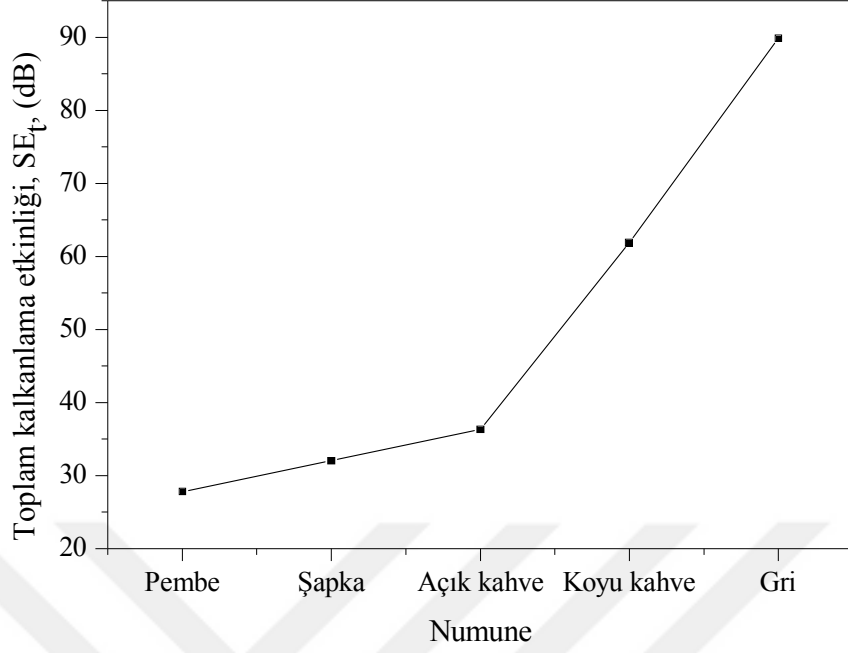
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ticari olarak iletken gümüş elyaf katkılanarak üretilmiş olan 4 farklı kumaş ile bir şapkanın elektromanyetik kalkanlama etkinliği 30 kHz ile 3 GHz frekans aralığında N9918A model FieldFox taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörü ile ölçüldü. Kalkanlama etkinliği (SE) numunelerin (kullanılan malzemelerin) gelen elektromanyetik dalgayı azaltma başarısını ifade eder ve desibel (dB) olarak verilir. Numunelerin yansımaya katsayısı ( $IS_{11}$ ), iletim katsayısı ( $IS_{21}$ ), yansımaya kayıpları ( $SE_R$ ), soğurma (iletim) kayıpları ( $SE_A$ ) ve toplam kalkanlama etkinliği ( $SE_t$ ) değerleri ile en büyük kalkanlama etkinliğinin frekans değerleri Çizelge 4.1’de verildi.

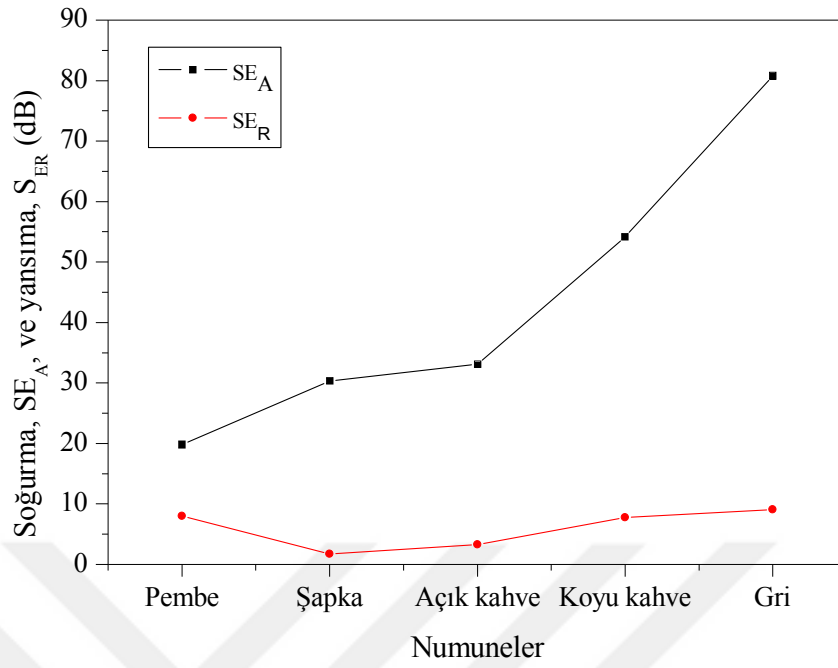
**Çizelge 4.1.** Numunelerin S parametreleri ( $IS_{11}$ ,  $IS_{21}$ ,  $SE_R$ ,  $SE_A$  ve  $SE_t$ ) ve frekans değerleri

Numuneler (Kumaşalar)	$IS_{11}$ (dB)	$IS_{21}$ (dB)	$SE_R$ (dB)	$SE_A$ (dB)	$SE_t$ (dB)	Frekans (GHz)
Pembe	0,7526	27,7838	7,9829	19,8010	27,7838	0,08103
Şapka	4,8638	32,0352	1,7154	30,3198	32,0352	2,277
Açık kahve	2,7493	36,3832	3,2879	33,0953	36,3832	2,532
Koyu kahve	0,8011	61,8908	7,7356	54,1553	61,8908	1,932
Gri	0,5751	89,8769	9,0646	80,8123	89,8769	0,927

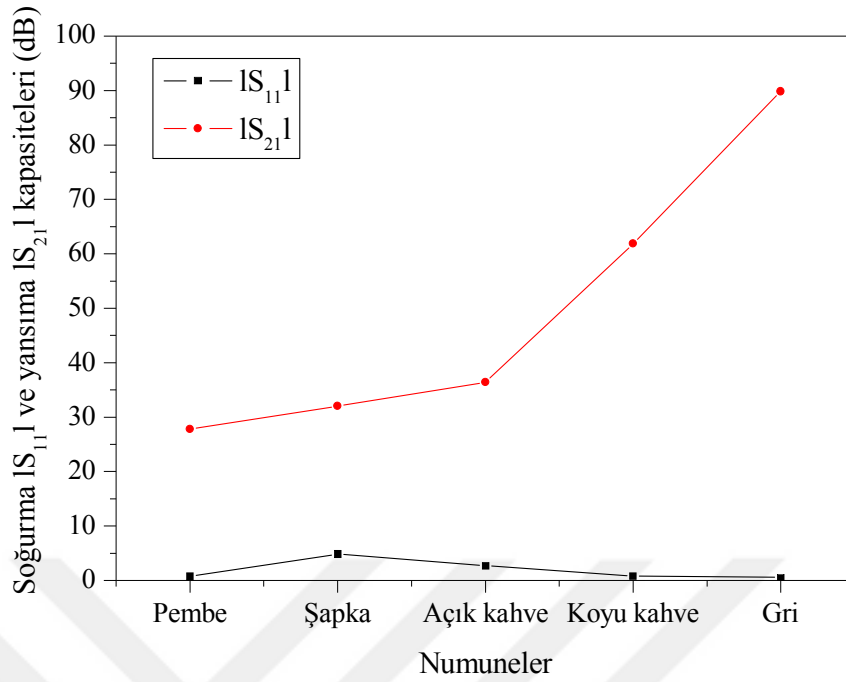
Çizelge 4.1 görüldüğü gibi, numunelerin yansımaya ( $IS_{11}$ ) ve soğurma parametreleri ( $IS_{21}$ ) incelendiğinde  $IS_{11}$  yansımaya parametresinin kumaşlardaki gümüş elyaf katkı miktarları arasında sistematik bir ilişki yokken,  $IS_{21}$  parametresi ile kumaşlara gümüş elyaf katkı miktarları arasında sistematik bir ilişki olduğu görülmektedir. Çünkü kumaşlara katılan gümüş elyaf miktarı artarken  $IS_{21}$  değerleri de artmaktadır. Yansımaya etkinliği ( $SE_R$ ), soğurma etkinliği ( $SE_A$ ) ve toplam kalkanlama ( $SE_t$ ) etkinlikleri ile kumaşlara katılan gümüş elyaf miktarı arasında lineer bir ilişki olduğu görüldü. Bu ilişki açık olarak Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Numunelerde özel seçilen frekanslarda en büyük kalkanlama etkinliği değerlerinin numunelere göre değişimi (seçilen frekanslar; pembe renkli kumaş 0.08103 GHz, şapka 2.277 GHz, açık kahve renkli kumaş 2.532 GHz, koyu kahve renkli kumaş 1.932GHz ve gri renkli kumaş 0.927GHz frekanslarında). Seçilen frekanslar numunelerin en büyük kalkanlama etkinliği gösterdiği frekanslardır.

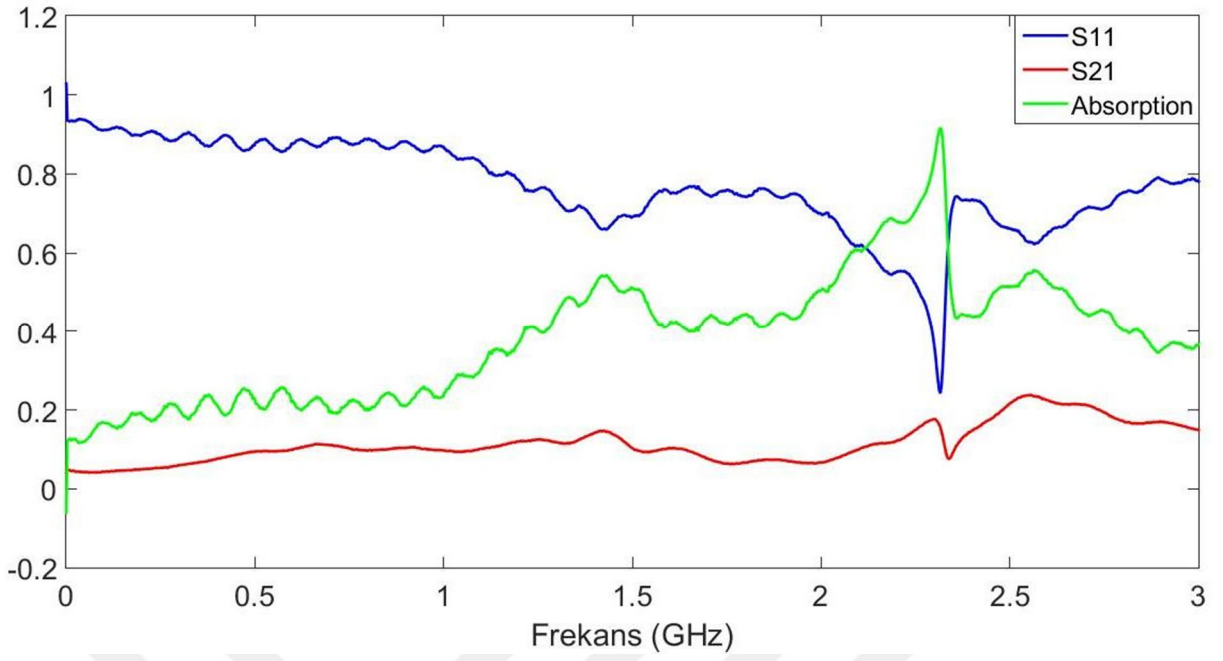


Şekil 4.2. Numunelerde özel seçilen frekanslarda soğurma ve yansımada etkinliği değerlerinin numunelere göre değişimi (seçilen frekanslar; pembe renkli kumaş 0.08103 GHz, şapka 2.277 GHz, açık kahve renkli kumaş 2.532 GHz, koyu kahve renkli kumaş 1.932GHz ve gri renkli kumaş 0.927GHz frekanslarında). Seçilen frekanslar numunelerin en büyük kalkanlama etkinliği gösterdiği frekanslardır.

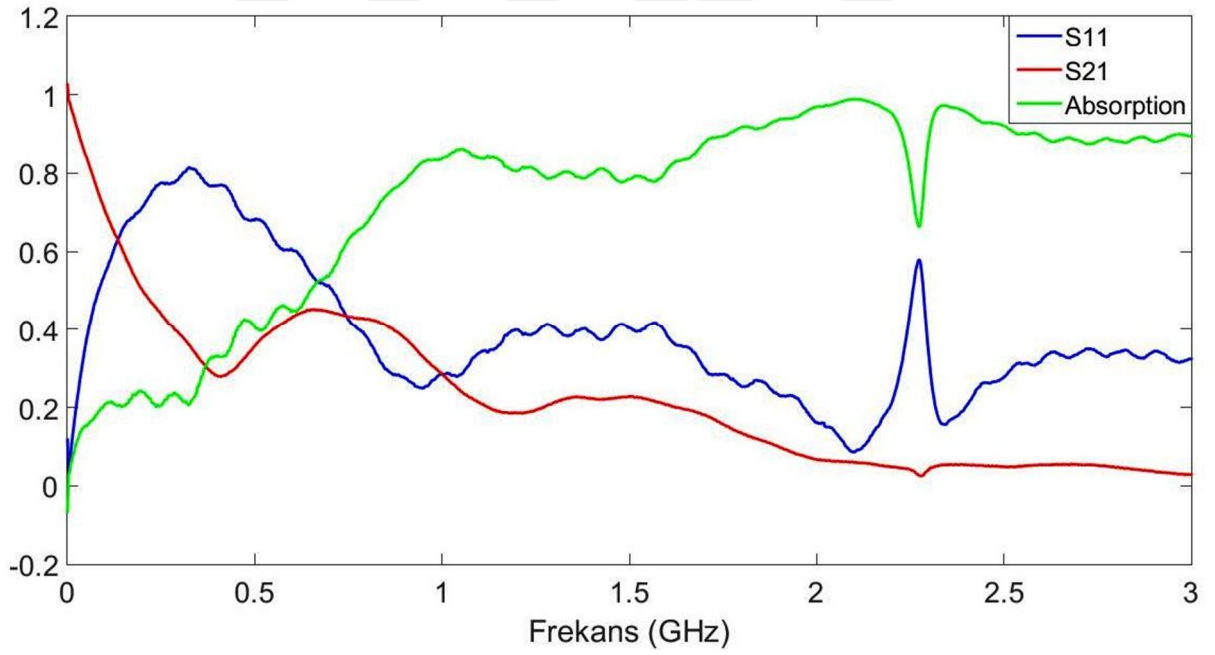


Şekil 4.3. Numunelerdeki en büyük soğurma ve yansıma etkinliği değerlerinin numunelere göre değişimi (seçilen frekanslar; pembe renkli kumaş 0.08103 GHz, şapka 2.277 GHz, açık kahve renkli kumaş 2.532 GHz, koyu kahve renkli kumaş 1.932GHz ve gri renkli kumaş 0.927GHz frekanslarında). Seçilen frekanslar numunelerin en büyük kalkanlama etkinliği gösterdiği frekanslardır.

Şekil 4.1-3'den görüldüğü gibi, belirli frekanslarda, numunelerde  $SE_A$  soğurma etkinliği değerleri ile  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinliğinin değerleri aynı değişimi gösterirken,  $SE_R$  yansıma etkinliğinin değerleri ile  $IS_{11l}$  soğurma parametresi genel olarak sifıra yaklaşma eğilimindedir.. Şekil 4.1'den gümüş elyaf oranının yüksek olduğu numunelerde  $SE_R$  yansıma etkinliği değerinin diğerlerine göre daha küçük olduğu da söylenebilir. Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi  $S_{21}$  soğurma parametresi ile  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinliğinin değerleri aynı olduğu için üst üste binmiştir. Numunelerin soğurma ( $IS_{21l}$ ) ve yansıma ( $IS_{11l}$ ) parametreleri ile soğurma etkinliği ( $SE_A$ ) değerlerinin karşılaştırılması şekil 4.4-8'de verildi.

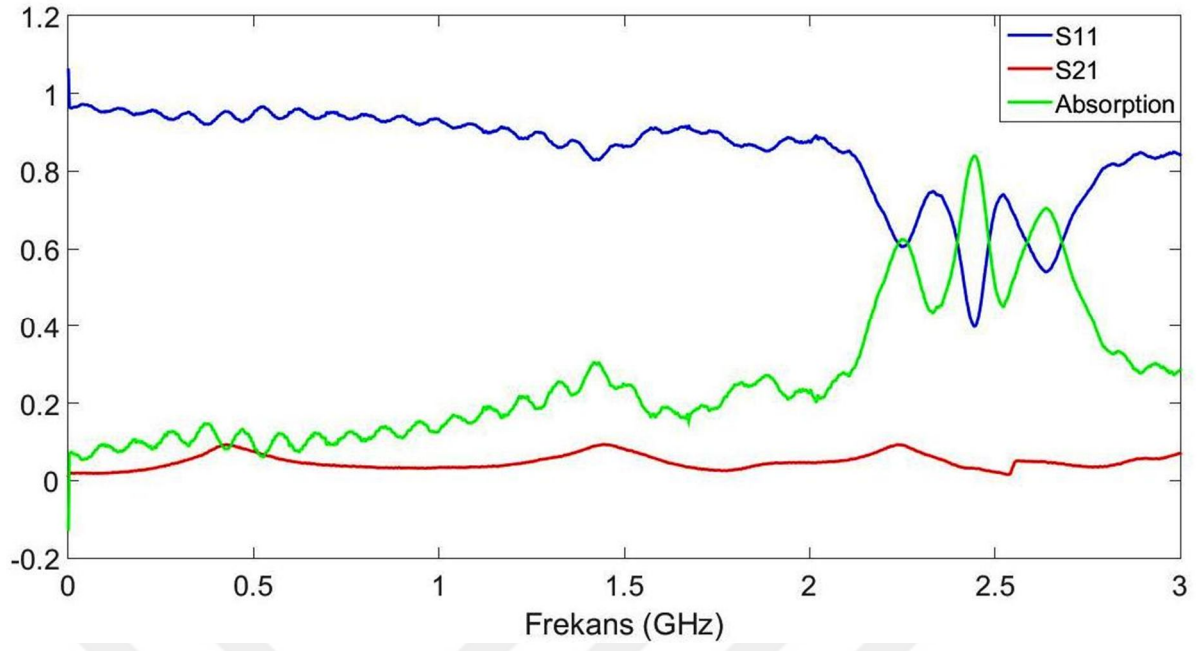


Şekil 4.4. Pembe renkli kumaşın soğurma ve yansıma parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması

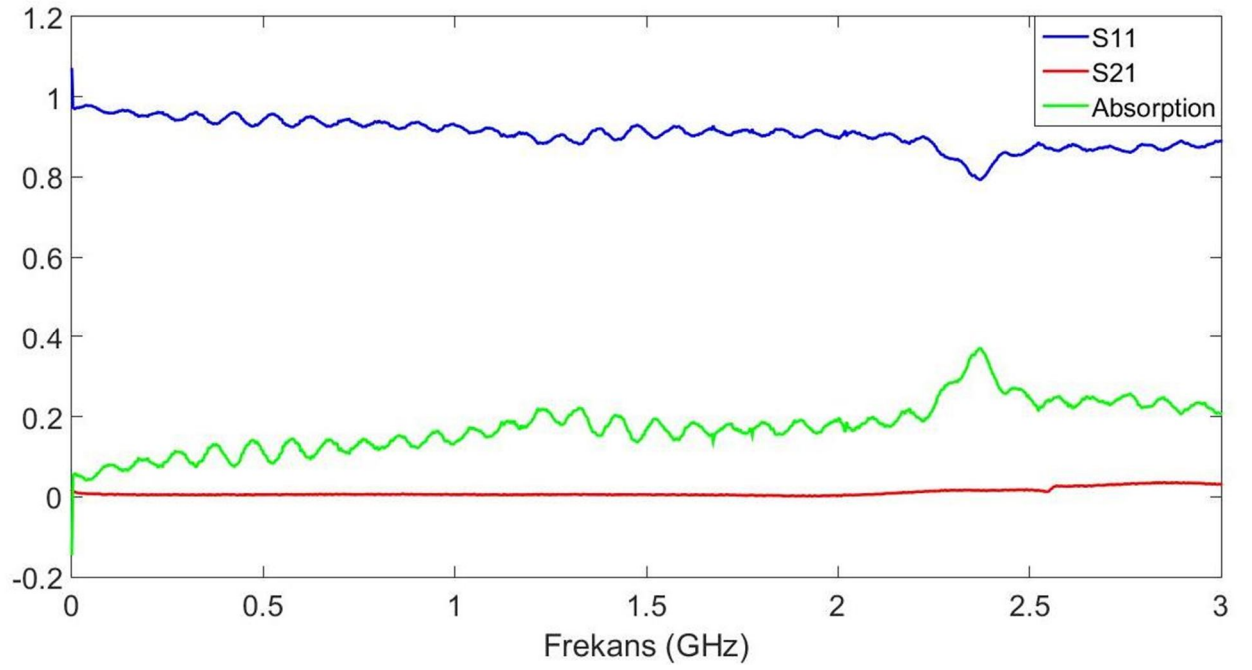


Şekil 4.5. Şapka numunesinin soğurma ve yansıma parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması

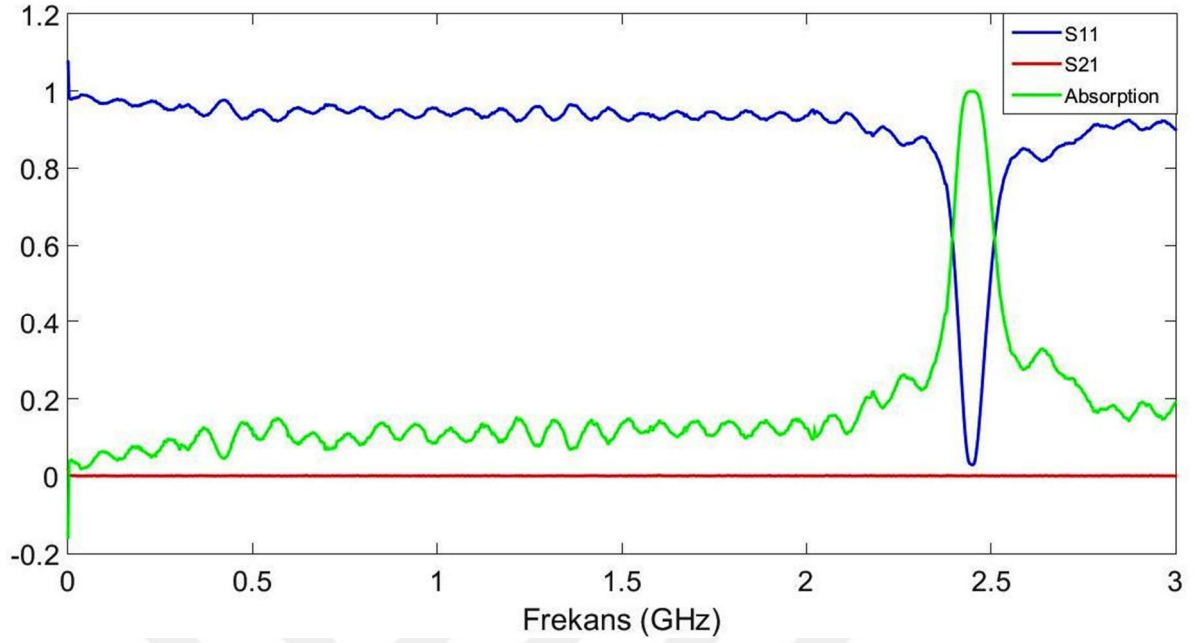




Şekil 4.6. Açık kahverengi kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması

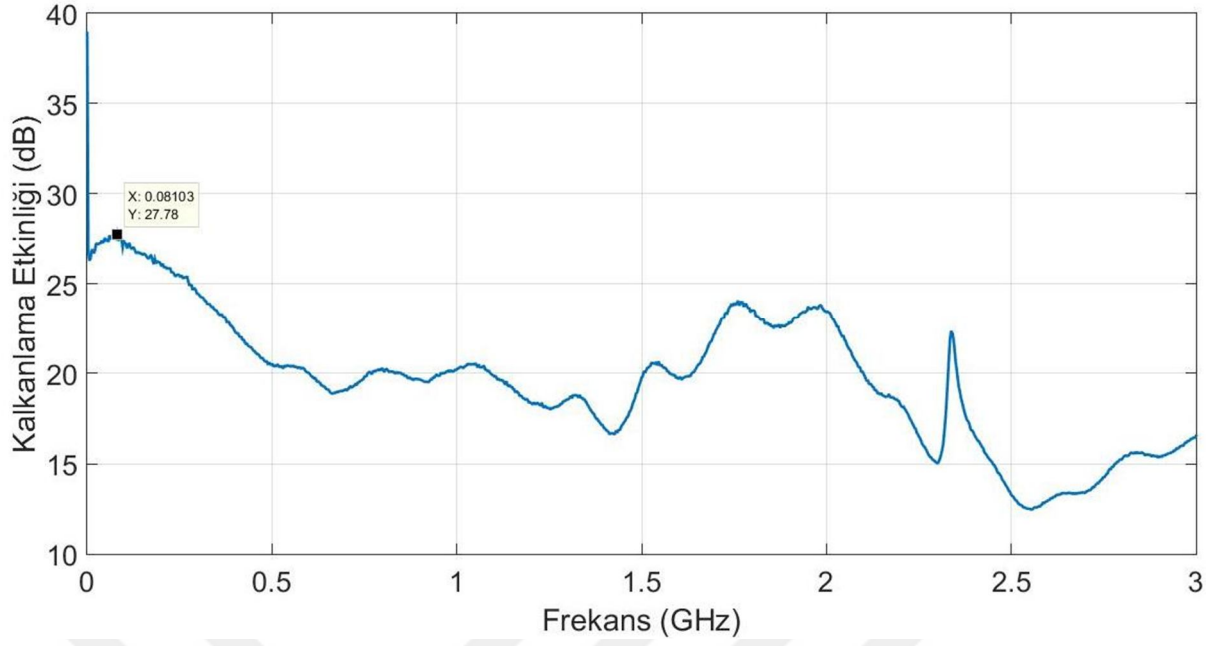


Şekil 4.7. Koyu kahverengi kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması

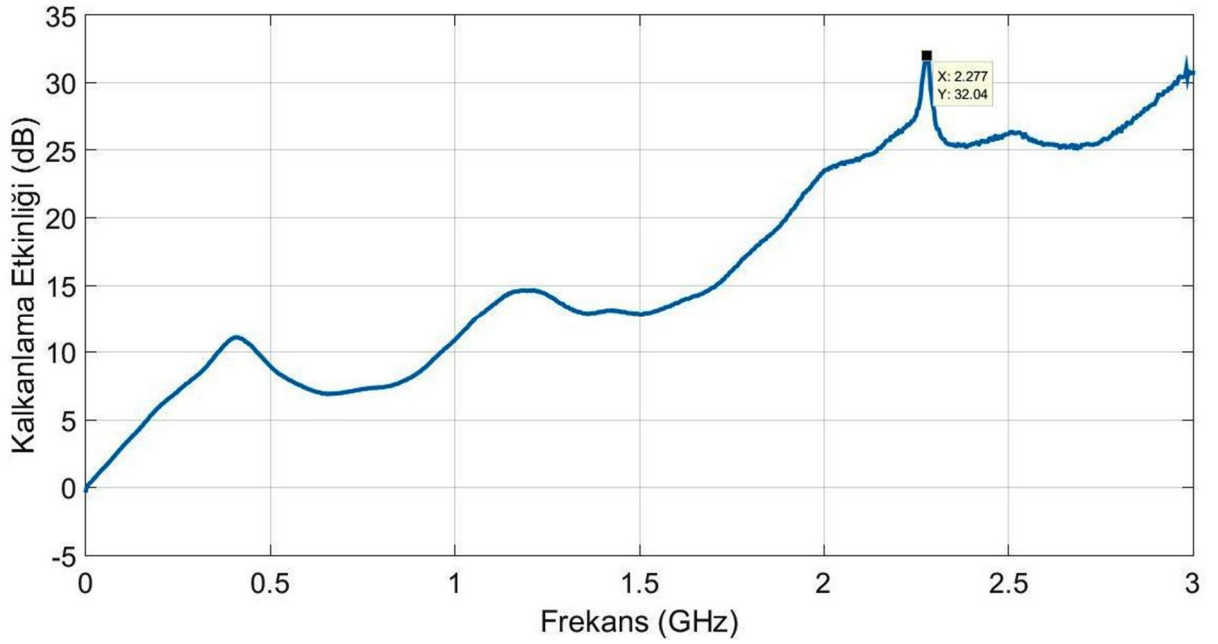


Şekil 4.8. Gri renkli kumaşın soğurma ve yansımaya parametreleri ile soğurma etkinliğinin karşılaştırılması

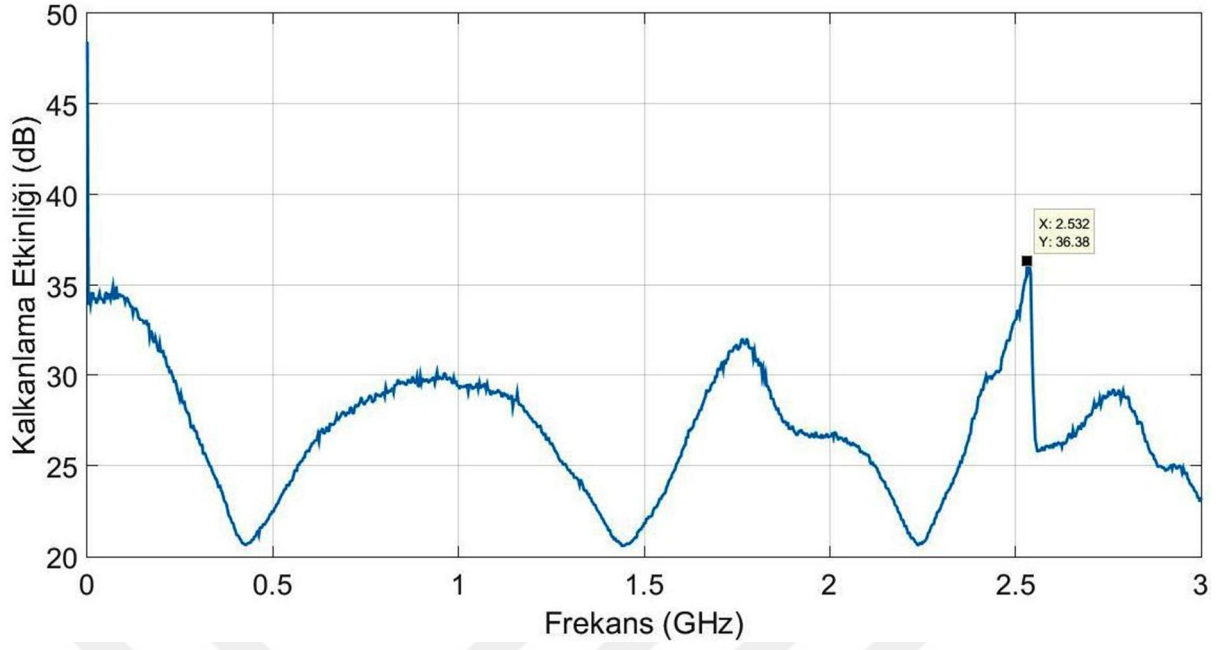
Şekil 4.4-8'den görüldüğü gibi, belirli frekanslarda, şapka numunesi hariç,  $S_{11}$  yansımaya parametresi,  $|S_{21}|$  soğurma parametresi ve  $SE_A$  soğurma etkinliği arasındaki artış ve azalmalar uyumludur. Şapka numunesindeki  $|S_{11}|$  ve  $|S_{21}|$  parametreleri ile  $SE_A$  soğurma etkinliği arasındaki değişim diğer kumaş numunelerinden farklı olmasına rağmen,  $|S_{11}|$  yansımaya parametresindeki artış ile  $SE_A$  soğurma etkinliği arasındaki azalma ve bunlara bağlı olarak  $|S_{21}|$  soğurma parametresindeki değişim de uyumludur. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'den görüldüğü gibi, numunelerin küçük kalkanlama etkinliği (27.7800 dB) pembe renkli kumaşta ölçülürken, en büyük kalkanlama etkinliği (89.8800 dB) ise gri renkli kumaşta ölçülmüştür. Bunun nedeni pembe renkli kumaşın yapısının %60 gümüş elyaf ve %40 polyesterden ve gri renkli kumaşın ise %100 gümüş elyaftan üretilmiş olması olabilir. Çizelge 3.2 ve Çizelge 4.1 incelendiğinde, numunelerin özelliklerinin aynı olması şartıyla, gümüş elyaf oranının fazla olduğu kumaşların gümüş elyaf oranı düşük olan kumaşlardan daha fazla kalkanlama etkinliği gösterdiği söylenebilir. Numunelerin 30 kHz ile 3GHz frekansları arasında göstermiş olduğu toplam kalkanlama etkinliği grafikleri Şekil 4.9-13'de verildi.



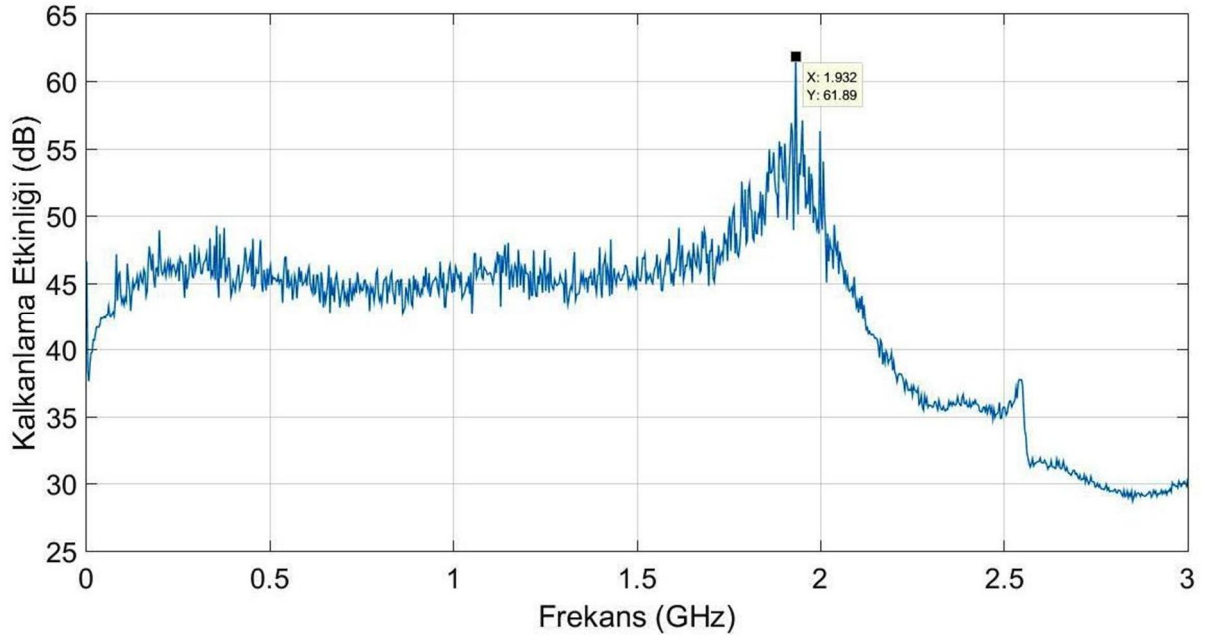
Şekil 4.9. Pembe renkli kumaşın kalkanlama etkinliği grafiği



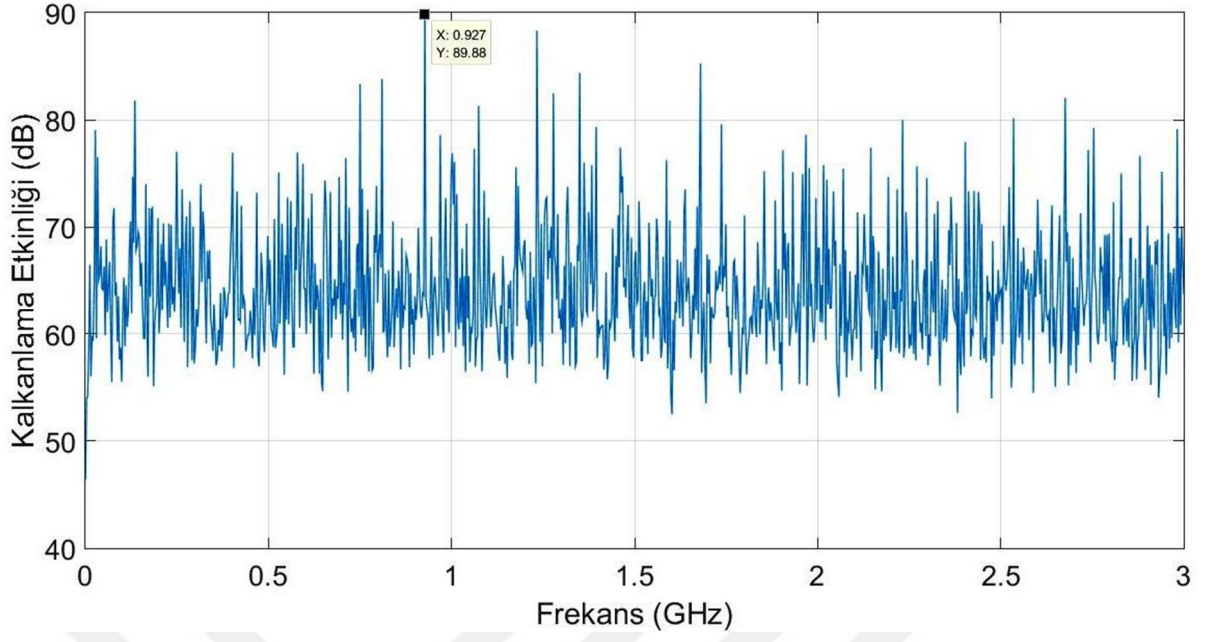
Şekil 4.10. Şapka numunesinin kalkanlama etkinliği grafiği



Şekil 4.11. Açık kahve renkli kumaşın kalkanlama etkinliğinin grafiği



Şekil 4.12. Koyu kahve renkli kumaşın kalkanlama etkinliğinin grafiği



Şekil 4.13. Gri renkli kumaşın kalkanlama etkinliği grafiği

Şekil 4.9-13 ve Çizelge 3.2'den görüldüğü gibi, numunelerin diğer özelliklerinin de aynı olması kaydı ile numunelerin toplam kalkanlama etkinliği gümüş elyaf oranının artması ile artmıştır. Bu sonuca göre, yaklaşık olarak, kalkanlama etkinliğinin kumaşlara katılan gümüş elyaf oranı ile doğru orantılı olarak değiştii söylenebilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ticari olarak çeşitli oranlarda gümüş elyaf katkılanılarak üretilmiş bir şapka ile 4 farklı kumaşın elektromanyetik kalkanlama etkinliği N9918A model FieldFox taşınabilir Mikrodalga Vektör Network Analizörü ile 30 kHz ile 3 GHz frekans aralığında ölçüldü. Ölçüm sonucunda; belirli frekanslarda, incelenen gümüş katkılı kumaşların içerisinde en küçük  $IS_{11}$  yansımaya kapasitesine sahip numune gri renkli kumaş iken, en büyük  $IS_{11}$  yansımaya kapasitesine sahip numune şapka numunesidir. Benzer olarak, en büyük  $IS_{21}$  soğurma kapasitesine sahip numune (%100 gümüş elyaf ekli) gri renkli kumaş iken, en küçük  $IS_{21}$  soğurma kapasitesine sahip numune pembe renkli kumaş numunesidir. Bunlarla birlikte, en büyük  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinliği değeri gri renkli kumaş numune için hesaplanırken, en küçük  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinliği değeri pembe renkli kumaş numunede hesaplandı. Kalkanlama etkinliği (SE), genel olarak, numunelerin gelen elektromanyetik dalgayı azaltma başarısı olarak tanımlanırsa, gelen elektromanyetik dalgaları en fazla gri renkli kumaşın, en az ise pembe renkli kumaşın azalttığı söylenebilir.

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1-3 ile Şekil 4.9-13'den görüldüğü gibi, belirli frekanslarda, kumaş numunelerin  $IS_{11}$  yansımaya kapasiteleri ile kumaşlara katılan gümüş elyaf oranları arasında sistematik bir ilişki tespit edilemedi. Ancak numunelerin  $IS_{21}$  soğurma kapasitesi,  $SE_A$  soğurma etkinliği ve  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinlikleri ile kumaşlara katılan gümüş elyaf oranları arasında yaklaşık olarak lineer bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın ölçüm yöntemi nedeniyle pratikte uygulanabilirliğinin olmadığı söylenebilir. Çünkü numuneler içerisinde kendi kalınlıklarında konulmamış, bunun yerine aynı kalınlıkta koaksiyel kablo dışına sarılarak yerleştirildi. Bu nedenle, numunelerin  $IS_{11}$  yansımaya ve  $IS_{21}$  soğurma kapasitesi,  $SE_R$  yansımaya ve  $SE_A$  soğurma etkinlikleri ve  $SE_t$  toplam kalkanlama etkinlikleri sadece numuneler arasında karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; numunelerin kalkanlama etkinliğinin yaklaşık olarak numunelere katılan gümüş elyaf oranı ile doğru orantılı olduğunu söylenebilir. Bunlara ek olarak, kumaşların üretim şekillerinin de (dokuma veya örme şeklinin) kalkanlama etkinliğini etkilediği söylenebilir. Kalkanlama etkinliği daha yüksek kumaşların üretilmesi, kumaşlar üretilirken daha fazla gümüş elyaf oranının katılması ve gümüş ipler arasında mikroskobik düzeyde bile olsa boşluk kalmayacak şekilde üretilmesi ile sağlanabilir. Daha sonraki çalışmalarda yüzde olarak belirli oranlarda artan gümüş ya da bakır gibi iletken iplerle kumaş üretilerek kalkanlama etkinliğinin iletken katkısı ile değişimi daha iyi yorumlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy M.A., 2019. İletken Metal Oksit Kaplı Cam Yüzeylerde Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliğinin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektromanyetik Alanlar Ve Mikrodalga Tekniği Bilim Dalı, Yüksek lisan Tezi, p.55.
- Abdulla R., 2016. Farklı Yapı ve Özelliklerdeki Dokuma ve Örgü Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Etkinliğinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, p.105.
- Abdulla K.F.G., 2016. Mikrodalga Frekansı Bölgesinde Örgü ve Dokuma Kumaşların Ekranlama Etkinliğinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, p.60.
- Altun M., Karteri İ., Güneş M., Alma M.H., 2017. Grafen katkılı odun-plastik nanokompozitlerinin elektromanyetik özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği karşılaştırmalı çalışması, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(1), 38-47.
- Bilim ve Teknik Dergisi, Ocak 2000.
- Doğan S., Kayacan O., Gören A., 2018. Elektromanyetik kalkanlama özellikli polimer kompozit yapıların geliştirilmesi, Tekstil ve Mühendis Journal of Textiles and Engineer 25 (109), 44. DOI: 10.7216/1300759920182510906
- Demirel N., 2012. Elektro Çekim Yöntemiyle Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğine Sahip Nanolif Üretimi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, p.179.
- Gooch J.W., Daher J.K., 2007. Electromagnetic Shielding and Corrosion Protection for Aerospace Vehicles, Print ISBN: 978-0-387-46094-9; <http://sci-hub.tw/10.1007/978-0-387-46096-3>.
- Göral V., 2014. İletken Filamentli İpliklerden Farklı Yapısal Özellikli Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü El Sanatları Eğitimi Ana Bilim Dalı Dokuma - Örgü Eğitimi Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, p.163.
- Garaj-Vrhovac V., Gajski G., S. Pazanin et al., 2011. Assessment of cytogenetic damage and oxidative stress in personnel occupationally exposed to the pulsed microwave radiation of marine radar equipment, International Journal of Hygiene and Environmental Health 214 (1), 59-65.
- Gowland PA., 2005. Present and future magnetic resonance sources of exposure to static fields. Prog Biophys Mol Biol 87, 175-183.
- Hulle A and Powar A., 2018. Textiles as EMI Shields, Journal of Textile Science and Engineering 8 (2), 1-3.

- ICNIRP, 1994. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys* 66,100–106.
- Hook G.J., Spitz D.R., Simet J.E., al., 2004. Evaluation of parameters of oxidative stress after in vitro exposure to FMCW- and CDMA-modulated radiofrequency radiation fields, *Radiation Research* 162(5), 497-504.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. 2003a. Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0 –100 kHz). In: Bernhardt JH, Matthes R, McKinlay A, Vecchia P, Veyret B, eds. Review of the scientific evidence and health consequences. Munich: ICNIRP.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2008. ICNIRP Statement on EMF-Emitting New Technologies, *Health Physics* 94(4),376-392.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. 2003b.Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. *Health Phys* 84, 383–387.
- Kayık S., 2018. Düzlem Malzemelerin Ekranlama Özelliklerinin Ölçümü İçin Tem Hücre Tasarımı, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, p.100.
- Koylu H., Mollaoglu H., Ozguner F., Naziroglu M., and Delibas N., 2006. Melatonin modulates 900 MHz microwave-induced lipid peroxidation changes in rat brain, *Toxicology and Industrial Health* 22, 211-216.
- Kılıç G., 2010. Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Özellikte Antistatik Örme Kumaşların Üretimi için Farklı Kompozit İpliklerin Geliştirilmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, p.2015.
- Kashi, S., Gupta, R. K., Baum, T., Kao, N., Bhattacharya, S.N. 2016. Dielectric Properties and Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Graphene-Based Biodegradable Nanocomposites, *Materials and Design* 109, 68-78.
- Kılıç, G., Örtlek, H.G., Saraçoğlu, Ö.G., 2008. Elektromanyetik Radyasyona Karşı koruyucu tekstillerin ekranlama etkinliği (SE) ölçüm yöntemleri. *The Journal of Textile and Engineer*, 15(72), 7-15.
- Lai H. and Singh N.P., 1997. Melatonin and a spin-trap compound block radio-frequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells, *Bioelectromagnetics*, 18(6), 446–454.
- Lagroye I., Hook G.J., Wettring B.A., et al., 2004. Measurements of alkali-labile DNA damage and protein-DNA cross links after 2450 MHz microwave and low-dose gamma irradiation in vitro,” *Radiation Research* 161(2), 201-214.
- Lawrence M., Kirstein T., Keller T., 2004. Textile Electrodes for Transcutaneous Electrical Stimulation, EMPA conference talk, Dubendorf (Switzerland).



- Liu, Z., Wang, X.C., 2012. Influence of fabric weave type on the effectiveness of electromagnetic shielding woven fabric. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 26. 1848-1856.
- Locher I., Klemm M., Kirstein T., Troster G., 2006. Design and Characterization of Purely Textile Patch Antennas, *Transactions on Advanced Packaging* 29, No 4.
- Locher I., Troster G., 2007. Fundamental Building Blocks for circuit on Textiles, *IEEE Transactions on advanced packaging* 30, 3.
- Mondal S., Ganguly S., Das P., Khastgir D., Das N.C., 2017. Low Percolation Threshold and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Nano-Structured Sarbon Based Ethylene Methyl Acrylate Nanocomposites, *Composites Part B* 119, 41-56.
- Matthes R, McKinlay AF, Bernhardt JH, Vecchia P, Veyret B, 2003. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0–100kHz). eds. Oberschleissheim, Germany: ICNIRP; Publication 13/2003.
- Neruda M. and Vojtech L., 2018. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Woven Fabrics with High Electrical Conductivity: Complete Derivation and Verification of Analytical Model *Materials* 11, 1657. doi:10.3390/ma11091657.
- Palamutcu S., Dağ N., 2009. Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 3(1), 87-101.
- Polk C, Postow E., 1996. *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*. p. 1-23, 337-345, 435-533, Second Edition, CRC Press, Florida, USA.
- Perumalraj R., Dasaradan B.S., 2009. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper Core Yarn Knitted Fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34, 149-154.
- Röösli M., Egger M., Pfluger D., and Minder C., 2008. Cardiovascular mortality and exposure to extremely low frequency magnetic fields: a cohort study of Swiss railway workers, *Environmental Health* 7, 35.
- Suchea M., Tudose IV., Tzagkarakis G., Kenanakis G., Katharakis M., Drakakis E., Koudoumas E., 2015. Nanostructured Composite Layers for Electromagnetic Shielding in the GHz Frequency Range, *Applied Surface Science* 352, 151–154.
- Serway R.A. ve Beichner R.J., 2011. FİZİK-2 Elektrik ve Manyetizma, p.632. ISBN No: 9789758624089.
- Schüz J., Jacobsen R., Olsen J.H., Boice J.D.Jr., McLaughlin J.K., and Johansen C., 2006. Cellular telephone use and cancer risk: update of a nationwide Danish cohort, *Journal of the National Cancer Institute* 98 (23), 1707-1713.
- Singh S., and Kapoor N., 2014. Health implications of electromagnetic fields, mechanisms of action, and Research Needs Hindawi Publishing Corporation *Advances in Biology* 2014, Article ID 198609, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/198609>.

- Seyhan N., 2010. Elektromanyetik Kirlilik ve Sağlığımız, (Arch Neuropsychiatr) Noropsikiyatri Arşivi Dergisi 47, 158-161.
- Ünlü, H., Hortaçsu M.O., Postancuoğlu N., Aktürk S., 2010. Young ve Freedman Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziki, 12. Baskı, Cilt 2, Pearson Education Yayıncılık Ltd. Şti.
- Tamam C., Evrensel M., Tamam Y., 2016. Elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri, Bilimsel Tamamlayıcı Tıp, Regülasyon ve Nöralterapi Dergisi 10(3), 19-25.
- Yılmaz R., 2014. Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler, Electronic Journal of Vocational Colleges 136-150.
- Zeni O., di Pietro R., d'Ambrosio G., et al., (2007). Formation of reactive oxygen species in L929 cells after exposure to 900MHz RF radiation with and without co-exposure to 3- chloro-4-(dichloromethyl)-5- hydroxy-2(5H)-furanone," Radiation Research 167(3), 306-311.
- WHO, (2006). Environmental Health Criteria (series; e.g. monograph No. 238). [www.who.int/ipcs/publications/ehc/en/index.html](http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/en/index.html)
- Wargo J., Taylor H.S., Alderman N., Wargo L., Bradley J.M., Addiss S., 2012, Environment and Human Health, INC., 1191 Ridge Road, North Haven, CT 06473 ([www.ehhi.org](http://www.ehhi.org)).
- \*<https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : Enver Alper DOĞAN  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 1992-Nevşehir  
Telefon : 05310106723  
e-posta : [e.alperdogan@icloud.com](mailto:e.alperdogan@icloud.com)

### Eğitim

Derce	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	KSÜ/ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2020
Lisans	KSÜ/Tekstil Mühendisliği	2016
Lise	Özel Altınyıldız Koleji	2010

### İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2018-	Kara Kuvvetleri Komutanlığı	TK.K

### Bildiriler

1-Ömer SÖĞÜT, Enver Alper DOĞAN, Uğur Cem HASAR, Bazı Tekstil Ürünlerinin Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin Ölçülmesi, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi 27-29 Aralık 2019 Samsun/Türkiye.