



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**İLETKEN ELYAF TAKVİYELİ DOKUSUZ  
(NONWOVEN) TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ELEKTRİK  
İLETKENLİĞİ VE ELEKTROMANYETİK  
KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

---

**ABDULKADİR PARS**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. İsmail USTA

**İSTANBUL, 2016**

---


# MARMARA ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Abdulkadir PARS' ın “İletken Elyaf Takviyeli Dokusuz (Nonwoven) Tekstil Yüzeylerinin Elektrik İletkenliği ve Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı tez çalışması, 30.12.2016 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

### Jüri Üyeleri


Prof. Dr. İsmail USTA (Danışman)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA) 

Doç. Dr. Metin YÜKSEK (Üye)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA) 

Yrd. Doç. Dr. Vedat ÖZYAZGAN (Üye)

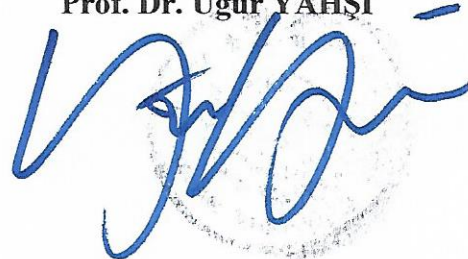
İstanbul Aydın Üniversitesi ..... (İMZA) 

### ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02-01-2017 tarih ve 2017/01-02 sayılı kararı ile Abdulkadir PARS' ın Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Tekstil Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

**Prof. Dr. Uğur YAHSİ**



## TEŞEKKÜR

Eğitimim ve hayat ile mücadelede her zaman desteğini görmüş olduğum aileme teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yakın ilgisini esirgemeyen, bana yol gösteren, kıymetli bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Prof. Dr. İsmail USTA saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımı yapmamda ve yüksek lisans tezimi bitirmem hususunda desteklerini esirgemeyen Marmara üniversitesi mensubu olan çok değer verdiğim ve saygı duyduğum öğretim üyesi hocalarım teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışma aşamasında beni destekleyen, laboratuvar çalışmalarım da benden yardım ve desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa Sabri ÖZEN' e ve Doç. Dr. Erhan SANCAK' a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam için gerekli olan Dokusuz tekstil yüzeylerinin üretimini yapabilmem için bana AR-GE merkezlerinin her türlü imkânlarını kullanımına açan İTA İSTANBUL TEKSTİL ARAŞTIRMA GELİŞTİRME ve Eğitim A.Ş yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam Marmara Üniversitesi BAPKO birimi tarafından **FEN-C-YLP-110915-0438** numaralı proje ile desteklenmiştir.

Aralık, 2016

Abdulkadir PAR

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
<b>ÖNSÖZ</b>	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>SEMBOLLER</b>	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>x</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>xi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Giriş ve Amaç	1
1.2. Elektromagnetik Alanlar	2
1.2.1. Elektromagnetik Alan Temelleri	3
1.2.1.1. Elektrik Yüğü	3
1.2.1.2. Elektrik Alan	3
1.2.1.3. Manyetik Alan	4
1.3. Elektromanyetik Dalga	4
1.3.1. Elektromagnetik Dalganın Uzayda Yayınımı	5
1.3.2. Elektromanyetizmanın Temel Denklemleri	5
1.3.2.1. Gauss Yasası	6
1.3.2.2. Faraday Yasası	8
1.3.2.3. Maxwell Denklemleri	9
1.4. Elektromagnetik Spektrum	10
1.4.1. Dalga İle İlgili Tanımlamalar	11
1.4.2. Güneşin Elektromagnetik Spektrum	12
1.5. Elektromagnetik Radyasyonun Canlılara Etkileri	14
1.5.1. Elektromagnetik Sınır Değerler	17
1.6. Elektromagnetik Dalgaların Kalkanlama Etkinliği (EMKE)	19
1.6.1. Kalkanlama Etkinliği (SE)	20
1.6.1.1. Soğurma Kaybı	21

1.6.1.2. Yansıma Kaybı	21
1.6.1.3. Çoklu Yansıma Düzeltme Faktörü	22
1.7. Elektromagnetik Dalga Engellenmesinde Kullanılan Tekstil Yapıları	24
1.8. Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Olan Tekstil Yapılarının Kullanım Alanları	26
1.9. Literatür Araştırması	28
1.9.1. Paslanmaz Çelik ve İğneleme Tekniğiyle Üretilmiş Dokunmamış Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi	28
1.9.2. Polipropilen ve Karbon Liflerle İğneleme Tekniği İle Üretilmiş Dokunmamış Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkilerinin İncelenmesi	29
1.9.3. Karbon Lif İçeren Nonwoven Kumaşlarda Mikrodalga Absorplama Özelliklerinin İncelenmesi	30
1.9.4. İğneleme Tekniğiyle Üretilmiş Dokunmamış Kumaş Kalınlığının Elektromanyetik Kalkanlama Üzerine Etkileri	30
1.9.5. Gümüş Kaplı Poliamid Liflerden İğneleme Tekniğiyle Üretilen Nonwoven Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi	30
1.9.6. Farklı Ölçüm Teknikleriyle Çeşitli İletken Tekstillere Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliklerinin Kıyaslanması	31
1.9.7. Farklı Oranlarda Taraklama ve İğneleme Tekniğiyle İletken Çelik Liflerden Üretilen Nonwoven Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi	32
1.9.8. Kontinü Karbon Lif Kullanılan Karbonmatriks ve Polimer Matriks Kompozitlerin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği	33
1.9.9. Koaksiyonel ve Free Space Ölçüm Tekniğiyle İletken Tek Jarse Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliklerinin Kıyaslanması	33
1.9.10. Paslanmaz Çelik Kompozit Kumaşların Matematiksel Modeli ve Elektromagnetik Kalkanlama Etkinliği	34
1.9.11. Paslanmaz Çelik/Bambu Karışımı İletken Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinlikleri ve İşlevleri	34

1.9.12.	SS/PET Karışımı Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği	35
1.9.13.	Karbon Siyah\Sisal Poliamid\Polipropilen Kompozitlerinin Elektrik İletkenliği ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği	36
1.9.14.	Dörtgen Hücreli Elektromanyetik Kalkanlama Kumaşın Elektromanyetik Etkinliğinin Tahmini Modeli	36
1.9.15.	İnşaat Materyallerinin Kalkanlama Etkinliği analizleri	37
1.9.16.	Tekstil Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Ölçümünde Yenilikçi Bir Test Aparatı	37
1.9.17.	Pamuk\Metal Katlı Hibrid İplikler İçeren Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği	38
1.9.18.	Giyim İçin Kullanılan Tekstüre Çelik İplik Esaslı Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlanması	39
1.9.19.	Çok Fonksiyonlu Metal Kompozit Örme Kumaşların Üretimi Ve İncelenmesi	40
1.9.20.	Tekstillerin Elektromagnetik Kalkanlama Etkisini Değerlendirmek İçin Bir Yeni Metod ve Cihaz	40
1.9.21.	Elektrolez Gümüş Kaplanan Cam Dikişli Kumaşlara Elektromagnetik Kalkanlama Uygulamaları	41
1.9.22.	Geri Dönüştürülmüş Tekstillerin ve Bakır Tellerin Tasalanmış Dokusuz Yüzeylerin Elektromagnetik Kalkanlama Etkinlikleri	42
<b>2.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>43</b>
2.1.	Araştırma Yöntemi	43
2.2.	Deneysel Çalışma	43
2.2.1.	Kullanılan İletken Lifler, Poliester (PES) ve Melt Poliester Elyafi	43
2.2.2.	Dokusuz Kumaş Yüzeyi Üretimi	44
2.2.3.	Katmanlı Kompozit Yapı Üretimi	45
2.3.	Kalkanlama Etkinliği (Emke) Ve Soğurma-Yansıtma Miktarları Ölçümleri ve Soğurma-Yansıtma Miktarları Ölçümleri	47
2.3.1.	Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMKE)	47
2.3.2.	Soğurma-Yansıtma Miktarları Ölçümleri	48
2.4.	Katmanlı Kompozit Yapıların Yapısal Analiz Testleri	50

2.4.1. Kopma Mukavemeti Testi	50
2.4.2. Kalınlık Testi	51
2.4.3. İletkenlik Ölçümü	51
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>52</b>
3.1. Katmanlı Kompozit Yapıların Kalkanlama Etkinliği (Emke) Ve Soğurma- Geri Yansıtma Miktarları	52
3.2. Katmanlı Kompozit Yapıların Kopma Mukavemetleri	56
3.3. Katmanlı Kompozit Yapıların İletkenlikleri	56
<b>4. SONUÇLAR</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>67</b>

## ÖZET

### İLETKEN ELYAF TAKVİYELİ DOKUSUZ (NONWOVEN) TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİ VE ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında, iletken özelliğe sahip dokusuz tekstil kumaşları üretmek için İletken lif olarak gümüş kaplı poliamid lifler kullanılmıştır. İletken lifler ile poliester (PES) ve melt poliester lifleri tarak makinesinde karışım yapılarak tülbentler üretilmiştir. Üretilen tülbentler iğneleme makinesinde iğnelenmek suretiyle dokusuz tekstil yüzeyler üretilmiştir. Sıcak pres makinesinde sıcaklık ve basınç altında melt poliester eritmek suretiyle tabakalı kompozit yapıların üretimi yapılmıştır. Çalışmanın kapsamında; Elektromanyetik kalkanlama etkinliği üzerine, oluşturulan katmanlı yapıların etkisi incelenmiştir.

Üretilen tabakalı kompozit yapıların fiziksel ve yapısal özellikleri analiz edilmiştir. Tabakalı kompozit yapıların Elektromagnetik Kalkanlama Etkinlikleri (EMKE) ölçümleri ASTM-D4935-10 standardına göre 15-3000 MHz frekans aralığında ölçülmüş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Elektromagnetik kalkanlama mekanizmasını meydana getiren geri yansıma ve soğurma miktarları hesaplanarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Katmanlı kompozit yapıların mukavemet testi ASTM D5035-06 numaralı standartta belirtildiği gibi şerit yöntemine göre yapılmıştır.

Aralık, 2016

Abdulkadir PARS

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECTIVENESS ON NONWOVEN TEXTILE SURFACES SUPPORTED CONDUCTIVE FIBERS**

In this study, to produce that have a conductive property nonwoven Textile fabric were used silver plated polyamide fiber as a conductive fiber. Conductive fibers, polyester fibers and melt polyester fiber were mixed together to form webs. By needling to webs, Nonwoven textile surfaces were produced with webs in the needling machine. Laminated composite structures production prepared by melting polyester in hot press machine under temperature and pressure. Within scope of work; The effect of layered structures on electromagnetic shielding has been investigated. The physical and structural properties of the layered composite structures produced were analyzed. Measurements of electromagnetic shielding activities were measured and evaluated in the frequency range of 15-3000 MHz according to ASTM-D4935-10 standart. The reflection and absorption which cause the electromagnetic shielding mechanism to occur are evaluated. The strength test of the layered composite structures was carried out in accordance with strip method as specified in ASTM D5035-06 standart.

## SEMBOLLER

<b>c</b>	: Işık Hızı (m/s)
<b>d</b>	: Malzeme Eni (m)
<b>e</b>	: Taşıyıcı Yük Miktarı
<b>B</b>	: Manyetik Akı Yoğunluğu (weber/m <sup>2</sup> )
<b>Bm</b>	: Manyetik Alan Genliği
<b>H</b>	: Manyetik Alan (Amper/metre)
<b>h</b>	: Planck Sabiti (keVs)
<b>m</b>	: kütle (gram)
<b>n</b>	: Yük Yoğunluğu
<b>ne</b>	: Alınan verilen Elektron Sayısı
<b>q</b>	: ElektrikselYük (coloumb)
<b>r</b>	: Uzaklık (m)
<b>Re</b>	: Direnç ( $\Omega$ )
$\phi$	: Manyetik Akı (weber)
$\gamma$	: Kütle Çekim Sabiti
$\sigma$	: Elektriksel İletkenlik (1/ $\Omega$ cm)
$\sigma$	: Öz iletkenlik (S/cm)
$\kappa$	: Boltzman Sabiti
$\beta$	: Malzeme İncelme Katsayısı
$\psi$	: Doğrusal Yük Yoğunluğu (C/m)
<b>E</b>	: Elektrik Alan (N/C veya Volt/metre)
<b>Em</b>	: Elektrik Alan Genliği
<b>F</b>	: Kuvvet (Newton)
<b>f</b>	: Frekans
<b>fa</b>	: Atlama Frekansı
<b>i</b>	: Akım (Ampere)
<b>J</b>	: Akım Yoğunluğu (amper/m <sup>2</sup> )
<b>k</b>	: Dalga Sayısı
<b>kx</b>	: Anilin/ Oksidant Oranı
<b>l</b>	: Uzunluk (metre)

<b>M</b>	: Mol/ Litre
<b>Nd</b>	: Zincir Uzunluğu (m)
<b>P</b>	: Güç (Watt)
<b>p</b>	: Bağlı Faz Hızı (m/s)
<b>R(a)</b>	: Atlama Mesafesi (m)
<b>t</b>	: Zaman (s)
<b>ds</b>	: Diferansiyel kesit alanı (m <sup>2</sup> )
<b>S'</b>	: Poyting Vektörü(W/m <sup>2</sup> )
<b>v</b>	: Yükün Hızı (m/s)
<b>V</b>	: Potansiyel (volt)
<b>u</b>	: Taşıyıcının Hareketliliği (m <sup>2</sup> /Vs)
<b>U</b>	: Enerji (joule)
<b>w</b>	: Elektrod Eni (m)
<b>Z</b>	: Empedans (Ohm)
<b>φ</b>	: Elektrik Alan Akı Yoğunluğu (Coloumb/m <sup>2</sup> )
<b>ρ</b>	: Yük yoğunluğu (Coloumb/m <sup>3</sup> )
<b>ε</b>	: Elektriksel Geçirgenlik Katsayısı (Farad/m veya C <sup>2</sup> /Nm <sup>2</sup> )
<b>μ</b>	: Manyetik Geçirgenlik Katsayısı (Henry/m)
<b>λ</b>	: Dalga Boyu
<b>v</b>	: Faz Hızı (m/s)
<b>ω</b>	: Açısal Hız (rad/sn)
<b>η</b>	: Kırılma İndisi
<b>∇·</b>	: Diverjans Operatörü (1/m)
<b>∇×</b>	: Rotasyon Operatörü (1/m)
<b>δ</b>	: Deri Kalınlığı
<b>τ</b>	: Malzeme Kalınlığı (cm)
<b>χ</b>	: Yüzey Öz Direnci (Ω/sq yada Ω m)
<b>α</b>	: Dalga Fonksiyonu Düşüşü

## **KISALTMALAR**

**ESD:** Elektrostatik Boşalma

**ICE:** Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

**FCC:** Federal İletişim Komisyonu

**EHF:** Ekstrem Yüksek Frekans

**ÖSO:** Özgül Soğrulma Oranı

**EMI:** Elektromagnetik Karışma

**SE:** Kalkanlama Etkinliği

**SHF:** Süper Yüksek Frekans

**VLF:** Çok Alçak Frekans

**LF:** Alçak Frekans

**MF:** Orta Frekans

**EMR:** Elektromagnetik Radyasyon

**RFR:** Radyo Frekans Radyasyonu

**RF:** Radyo Frekansı

**ILO:** Uluslararası Çalışma Örgütü

**WHO:** Dünya Sağlık Örgütü

**EMC:** Elektromagnetik Uyumluluk

**EMSE:** Elektromagnetik Kalkanlama Etkinliği

**KTSYMÇM:** Kırmızı, Turuncu, Sarı, Yeşil, Mavi, Çivit Mavi, Mor

**EMKE:** Elektromagnetik Kalkanlama Etkinliği

**VHF:** Çok Yüksek Frekans

**UHF:** Ultra Yüksek Frekans

# ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 1.1. Elektrik Alan Şiddeti (küresel koordinatlarda)	3
Şekil 1.2. Elektromanyetik Dalga'nın Oluşumu ve Yayınımı	4
Şekil 1.3. Bir Dalga'nın Şematik Gösterimi	11
Şekil 1.4. Elektromanyetik Spektrumda Önemli Frekanslar	13
Şekil 1.5. EMI Kalkanlamanın Grafıksel Olarak Gösterimi	19
Şekil 1.6. Tekstil Yapılarının İletken Hale Getirilmesi İçin Kullanılan Değişik Yöntemlerin Şematik Gösterimi	25
Şekil 1.7. Kalkanlama Materyali Olarak Tekstillerin Günlük Hayatta Kullanımına Örnekler	28
Şekil 2.1. Tarak Makinesi	43
Şekil 2.2. Dokusuz Tekstil İğneleme Makinesi	45
Şekil 2.3. Sıcak Pres Makinesi	45
Şekil 2.4. Üretilen Katmanlı Kompozit Yapıların Kesit Görünüşleri	46
Şekil 2.5. Elektromanyetik Kalkanlama Etkinlik Ölçüm Test Düzenegi	48
Şekil 2.6. (a) Referans numunesi (b) Yükleme numunesi (c) Referans numunesinin kumaş tutucudaki görünüşü (d) Yük numunesinin kumaş tutucudaki görüntüsü	48
Şekil 2.7. Elektromagnetik Kalkanlama Mekanizmasının Şematik Olarak Gösterimi	49
Şekil 2.8. Instron 4411 Mukavemet Test Cihazı	50
Şekil 2.9. Kalınlık Ölçüm Test Cihazı	51
Şekil 2.10. İki Uç Tekniğiyle İletkenlik Ölçümü	51
Şekil 3.1. Sekiz Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMKE) Üzerine Etkileri	52
Şekil 3.2. Sekiz Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Geri Yansıma-Soğurma Miktarları Üzerine Üzerine Etkileri	53
Şekil 3.3. Üç Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMKE) Üzerine Etkileri	54
Şekil 3.4. Üç Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Geri Yansıma-Soğurma Miktarları Üzerine Üzerine Etkileri	55
Şekil 3.5. Sekiz Katmanlı Kompozit Yapıların Mukavemet ve Uzama Performansları	56
Şekil 3.6. Üç Katmanlı Kompozit Yapıların Mukavemet ve Uzama Performansları	57

# TABLO LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
<b>Tablo 1.1.</b> Maxwell Denklemleri	4
<b>Tablo 1.2.</b> Frekans Spektrumundaki Genel Frekans Bantları	13
<b>Tablo 1.3.</b> Başlıca Elektromagnetik Tayf Bantları Ve Yaklaşık Sayısal Değerleri	14
<b>Tablo 1.4.</b> Kontrolsüz Etkilenme İçin Sınır Değerler	18
<b>Tablo 1.5.</b> Türkiye De Kontrolsüz Etkilenme İçin Sınır Değerler	19
<b>Tablo 1.6.</b> İletken Tekstil Yapılarının Oluşum Yöntemlerine Göre İletkenlik	25
<b>Tablo 2.1.</b> Geri Kazanılmış Poliester (PES) Ve Melt Poliester Lif Özellikleri	44
<b>Tablo 2.2.</b> Gümüş Kaplı Poliamid Lif Özellikleri	44
<b>Tablo 2.3.</b> Makine Üretim Parametreleri	44
<b>Tablo 2.4.</b> Sıcak Pres Makinesi Çalışma Parametreleri	46
<b>Tablo 2.5.</b> Üretilen Katmanlı Kompozit Yapıların Özellikleri	46
<b>Tablo 2.6.</b> Genel Kullanım İçin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Cetveli	50
<b>Tablo 3.1.</b> Katmanlı Kompozit Yapıların İletkenlik Değerleri	57

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

### 1.1. GİRİŞ ve AMAÇ

İnsanların gereksinimleri ve teknolojik ihtiyaçları birçok farklılık göstermesi sebebiyle tekstil yapılarından estetik ve konfor özellikleriyle beraber elektromanyetik dalgalara karşı koruma gibi fonksiyonel özelliklerde beklenmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber gelişen cep telefonu başta olmak üzere, ev ve iş yerlerindeki bilgisayar ve elektrikli diğer eşyalar gibi birçok elektronik aletin; yüksek gerilim hatlarının ve radarların, kızıl ötesi ışın ve radyasyon yaydığı bilindiğine göre, hayatın her alanında bir şekilde elektromanyetik dalgaların yarattığı kirliliğe maruz kalınmaktadır.

Elektromanyetik kirlilik canlıların dengesini bozmaktadır. Elektromanyetik dalgalar bu dengeyi bozarken vücuttaki dokuları ısıtarak ve kimyasal değişimlere yol açarak zarar vermektedir. Bu kirlilik gözle görülemeysi, etkisinin çoğu zaman doğrudan hissedilemeysi ve uzun zaman sonra birikerek görülmesi nedeniyle insanlar tarafından yeterince önemsenmemektedir. Halbuki bu etkileşim sonucu ortaya çıkan etkiler göz ardı edilmeyecek boyuttadır.

Birleşmiş Milletler Telekomünikasyon Ajansının kayıtlarından alınan veriler incelendiğinde 2010 yılında dünyada cep telefonu kullanan kişi sayısı 4.6 milyar olduğu görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) dan alınan istatistik veriler incelendiğinde 2010 yılında Türkiye de 65 milyon cep telefonu abonesi vardır. Cep telefonlarının yaygın olarak kullanılması nedeniyle, elektromanyetik dalgalar ve bu dalgaların etkisi üzerine en fazla tartışma yapılan ve tehlikesi araştırılan kaynak cep telefonlarıdır.

WHO ve BM gibi pek çok uluslar arası kuruluş elektromanyetik yayılma ve cep telefonlarıyla ilgili çalışmalarını destekleyerek zararlı etkilerini kesin olarak belirlemeye çalışmaktadır.

INTERPHONE çalışmasıyla 13 ülkede cep telefonu-beyin tümörü ilişkisini incelemesi yapılmış ve 7 yıl sürmüştür. 10 yıl ve daha fazla süreyle cep telefonu kullanan binlerce denek incelenmiş ve cep telefonu kullananlarda beyin tümörü oluşumunun, cep telefonu kullanmayanlara göre 1.5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir [1,2].

Elektromanyetik dalga bir canlı organizmaya etki yaptığında, DNA ve RNA'nın hücre yenilemesini engellemektedir. Ayrıca elektromanyetik dalgalara maruz kalanlarda, depresyon, lösemi, santral sinir sistemi kanserleri, melanom ve akciğer kanseri gibi bazı hastalıkların olasılıklarının arttığına ilişkin bulgular tespit edilmiştir [3,4].

Özel tasarlanmış tekstil yapıları farklı frekans aralıklarında ve farklı koruma etkinlik alanlarında (dB) %99'dan daha yüksek değerlerde koruma ile elektromanyetik dalgaları engelleme sağlayabilmektedir.

Elektromanyetik kalkanlama özelliği yapının iletkenliği, manyetik geçirgenliği ve kompleks dielektirik içeriğinin maksimize edilmesi sonucu maksimum olur. Bu yüzden kalkanlama özelliği olan tekstil yapılarının eldesi için öncelikle o yapının iletken olması ya da iletken hale getirilmesi gerekmektedir [5].

## **1.2. ELEKTROMANYETİK ALANLAR**

Elektromanyetik teori, elektrik ve magnetik kökenli etkileşimleri birleştirerek elektromanyetik etkileşme adının verildiği ve bu etkileşmeyi içeren olayları inceleyen ve 1894 de James Clerk MAXWELL in geliştirdiği bilim dalıdır. 19. Yüzyıla değin ayrı bir bilim dalı olan optik, ışığın bir elektromanyetik dalga olduğu kanıtlanınca, elektromanyetik teorisinin kapsamına girmiştir [6].

Elektromanyetik alanlar elektrik mühendisliğinin temel konularından birisidir. Maxwell denklemlerinden faydalanarak çeşitli teorik ve deneysel çalışmaların neticesinde birçok uygulama alanları ortaya çıkmıştır [7].

### **1.2.1. Elektromanyetik Alanın Temelleri**

#### **1.2.1.1 Elektrik Yükü**

Bir elektronun yükü  $e=1.602 \times 10^{-16}$  As (Amper x Saniye) (veya Coulomb, C) olarak tanımlanır. Elektriksel yüke sahip her doğal elementin çok sayıda elektrik vardır. Noktasal bir Q yükü, boyutsuz bir yük ile tanımlanır [8,9].

Üç boyutlu bir uzayda noktasal yüklerin bir doğru üzerindeki dağılımı “çizgisel yük”, üç boyutlu bir uzayda bir yüzey üzerinde noktasal yüklerin dağılımı “yüzeysel yük” ve üç boyutlu bir uzay içerisinde noktasal yüklerin bir hacim içerisindeki dağılımı ise “hacimsel yük” veya hacim yükü olarak adlandırılır.

### 1.2.1.2. Elektrik Alan

Elektrik alan şiddeti  $\vec{E}$  eşitlik (1.1) bağıntısı ile ifade edilir.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \text{ [V/m]} \quad (1.1)$$

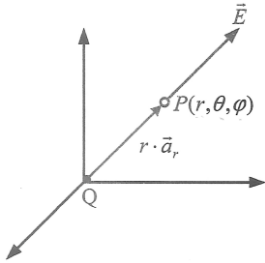
Burada  $\vec{F}$ , bir birim yük ile pozitif bir (+Q) test yükü tarafından oluşturulan kuvvettir. F birimi olarak Newton [N] tercih edilir.

$$[F] = \frac{AsxV}{m} = 1N \text{ [Newton]} \quad (1.2)$$

Küresel koordinat sisteminin merkezindeki bir Q yükü için, herhangi bir P noktasındaki elektrik alan şiddeti, eşitlik (1.3) de gösterildiği gibi yazılır.

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \times \vec{a}_r \text{ [V/m]} \quad (1.3)$$

Burada  $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ [F/m]}$ , boşluğun dielektrik sabitidir.



**Şekil 1.1.** Elektrik Alan Şiddeti (küresel koordinatlarda)

### 1.2.1.3. Manyetik Alan

Bir yük hareketi bir elektrik akımını oluşturur ve böylece bir manyetik alan meydana gelir. Manyetik alanın yönü ile arasındaki ilişki sağ-el kuralı ile açıklanır. Manyetik akı yoğunluğu B, F kuvvetinin birim manyetik kutup şiddetine ( $Q_m$ ) oranı olarak tanımlanır [3].

$$B = \frac{F}{Q_m} \text{ [N/Am veya T]} \quad (1.4)$$

Burada,  $Q_m = I x L$ , (Akım x Mesafe) dir.

Manyetik alan şiddeti  $\vec{H}$  [A/m], yalnız hareketli yüklere bağlı olup ortamdan bağımsızdır.

$\vec{B}$  ve  $\vec{H}$  arasında şöyle bir ilişki bulunur.

$$\vec{H} = \mu \vec{H}[T] \quad (1.5)$$

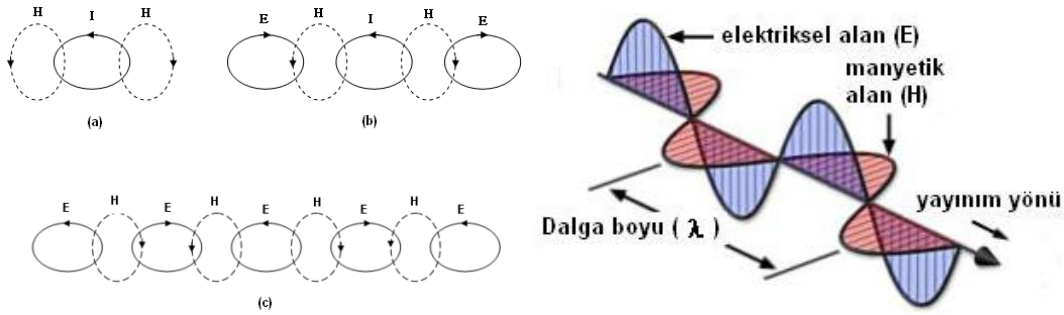
Burada,  $\mu = \mu_0 \mu_r$  ortamın manyetik geçirgenliğidir.  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  [H/m] olup boşluğun manyetik geçirgenliğidir.  $\mu_0$  ortamın bağıl manyetik geçirgenlik sabiti olarak tanımlanır.

Bir yüzeyde oluşan manyetik akı eşitlik  $\Phi$  (1.6) bağıntısı ile ifade edilir.

$$\Phi = \int_S \vec{b} \times d\vec{S} \quad [\text{Weber}] \quad (1.6)$$

### 1.3. ELEKTROMANYETİK DALGA

Elektromanyetik dalga birbirine dik konumlu Magnetik ve Elektriksel alanların oluşturduğu bir dalga türüdür. Elektromanyetik dalganın oluşum biçimi en belirgin bir şekilde şu şekilde açıklanabilir. Şekil 1.2 (a) da görüldüğü gibi halka şeklindeki bir iletkenin içinden değişken I akımının geçtiğini düşünelim. Bu akım H harfi ile gösterilmiş olan halka biçimli devinen bir magnetik alan yaratır. Halkalar magnetik alanın akı çizgileridir. Anlatım kolaylığı için bu çizgilerden sadece ikisi gösterilmiştir. I akımına bağlı olarak değişen H magnetik alanı, şekil 1.2 (b) de görüldüğü gibi kendisine dik konumlu değişken E elektriksel alanı yaratır. E alanındaki değişim şekil 1.2 (c) de görüldüğü gibi yeni H alanları yaratır ve bu hal sürekli devam eder [9,10].



**Şekil 1.2.** Elektromanyetik Dalganın Oluşumu ve Yayınımı

İletken yapıdan geçen akım değişimi, genel olarak sinüzodial ise H ve E alanlarının değişimi Şekil 1.2 de gösterildiği gibi birbirine dik iki sinüs dalga şeklindedir [10,11].

Elektromanyetik dalga, manyetik ve elektrik alanları ileten enerji dir. Elektromanyetik dalganın E ve H alanları şekil 1.2 de gösterildiği gibi tek bileşenlidir. Dalganın yayılma yönü E-H düzlemine dik doğrultudadır [10].

Elektromanyetik dalgaların dalga boyu ve dolayısı ile frekansları farklı olduğu halde, yayılım hızları aynıdır. Bu hız boşlukta ışık hızına eşittir.

Işık hızı:  $c = 300\,000\text{ km/sn}$  dir [10,12-16].

Elektromanyetik dalganın dalga boyu ( $\lambda$ ), frekansı ( $f$ ), ve hızı arasındaki bağıntı:

$$\lambda f = c$$

bu bağıntı fizik kurallarına göre kısaca şöyle bulunur:

Uzaklık = Hız x Zaman olduğu bilinmektedir.

Bu formülü elektromanyetik dalgaya uygulayalım:

Uzunluk ( $\lambda$ ) dalga boyu olarak alınır, zaman olarak da “T” periyot zamanını almak gerekir, c ışık hızıdır.

Değerler yerine koyulur ise;

$$\lambda = c \times T \text{ olur.}$$

$T = 1/f$  olduğu bilinmektedir. Bağlantıyı “f” frekansına göre yazalım;

$$\lambda = c \times 1/f \text{ veya } \lambda \times f = c \text{ şeklini alır.}$$

Bu bağıntıda “f” Hertz, “c” m/sn cinsinden yazılırsa, “ $\lambda$ ” nın birimi de “metre” olur [7].

### 1.3.1. Elektromanyetik Dalganın Uzayda Yayılımı

Radio yayını veya telsiz haberleşmesinde uç elemanlar olan antenler arasındaki bağlantı elektromanyetik dalgalar aracılığı ile kurulmaktadır. Verici anten tarafından uzaya yayılan elektromanyetik dalgalar çeşitli yollardan alıcı antene ulaşarak, verici antendeki işaret akımının biraz daha zayıf kopyasını alıcı antende oluşturmaktadır.

Yani arada üç evreli bir bağ kurulmaktadır. Elektromanyetik dalganın verici anten tarafından uzaya yayılması, Uzayda yayılım (propagasyon), Alıcı anten tarafından alınması.

### 1.3.2. Elektromanyetizmanın Temel Denklemleri

Elektromanyetik dalga teorisinin temelini atan James Clerk Maxwell' in elde ettiği, elektrik ve manyetik özellikleri ve bu alanların madde etkileşimini ifade eden dört adet denklem vardır, bütün elektromanyetik olayların incelenmesinde başlangıç noktasını

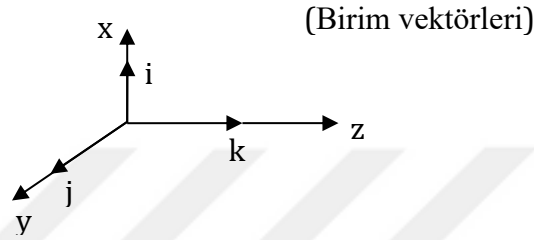
oluşturur. Sırasıyla bu dört denklem, elektrik yükler ve elektrik alan tarafından oluşturulan (Gauss Yasası), manyetik alan kaynağının, yüklerin ve değişken elektrik alanı manyetik alan ürettiğini (Maxwell- Ampere yasası) ve değişken manyetik alan tarafından elektrik alan ürettiğini (Faraday' ın yasası) gösterir. Maxwell'in topladığı bu dört denklemin her birini ayrı ayrı incelemeden önce, denklemlerin oluşturulması sırasında kullanılacak teoremler ve işlemler incelenecektir [17,18];

Aşağıdaki bağıntılardaki işaretlerin anlamları:

(x) : Vektörel çarpım

(.) : Skala Çarpım

$$\nabla = i \frac{d}{dx} + j \frac{d}{dy} + k \frac{d}{dz}$$



**Diverjans:** Diverjans İngilizce de ıraksama anlamına gelir.  $\vec{\nabla} \cdot \vec{V}$  ile gösterilir.  $\vec{\nabla} \cdot \vec{V}$ , bir noktadaki  $\vec{V}$  vektör çizgilerinin ne kadar ıraksadığının bir ölçüsüdür.

**Diverjans Teoremi ( Gauss Teoremi ) :** Diverjansın hacim integrali, bu hacmi saran yüzeyde aldığı değere eşittir.

$$\int_{\text{hacim}} (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) \cdot dV = \oint_{\text{yüzey}} \vec{V} \cdot d\vec{S} \quad (1.7)$$

**Rotasyonel:** Rotasyonel  $\vec{\nabla} \times \vec{V}$  ile gösterilir ve  $\vec{V}$  vektörünün bir nokta etrafında dolanış miktarının ölçüsüdür. Rotasyonel vektörel bir fonksiyona bağlı olan vektörel bir fonksiyondur.

$$\vec{\nabla} \times \vec{V} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ V_x & V_y & V_z \end{vmatrix} \text{ ile hesaplanır.}$$

**Stokes Teoremi:** Rotasyonel'in bir yüzey parçası üzerindeki integrali, bu yüzeyi çevreleyen eğri üzerinde aldığı değere eşittir [17,18].

$$\int_{\text{yüzey}} (\vec{\nabla} \times \vec{V}) \cdot d\vec{S} = \oint_{\text{eğri}} \vec{V} \cdot d\vec{l} \quad (1.8)$$

### 1.3.2.1. Gauss yasası

**Elektrik alan için;** Bu denklemde elektrik alanın kaynağının yük yoğunluğu olduğu belirtilmektedir. Bir yüzey parçası üzerindeki  $\vec{E}$  alanının akısı  $\phi$  (yani  $\int \vec{E} \cdot d\vec{S}$ ), o yüzeyi

kesen çizgilerin sayısı ile yani o yüzey içerisindeki toplam yük ile doğru orantılıdır. Bir yükü çevreleyen kapalı bir yüzeyden geçen akı  $\frac{q}{\epsilon_0}$  olur.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1.9)$$

E= elektrik alan N/C

dS= Sonsuz küçük S yüzeyinin diferansiyel vektör elemanı birimi m<sup>2</sup>

q= Elektrik yükü birimi coulomb

$\epsilon_0$  = Boşluğun elektriksel geçirgenlik katsayısı

$$\epsilon_0: 8,854 \times 10^{-12} = \frac{1}{36 \times 10^9} \text{ farad /metre}$$

**$\vec{E}$  nin Diverjansı :** Gauss kanununda verilen (1.69) ifadesine Diverjans teoremi uygulanırsa;

$$\int_{\text{yüzey}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_{\text{hacim}} (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) \cdot dV = \frac{q}{\epsilon_0} \text{ olur.} \quad (1.10)$$

Burada  $q = \int \rho \cdot dV$  olduğundan

$$\int (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) \cdot dV = \frac{\int \rho \cdot dV}{\epsilon_0} \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \text{ bulunur. [8]} \quad (1.11)$$

Bu denklemin fiziksel anlamı; Elektrik yükleri arasındaki etkileşme kuvveti, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters, yüklerin çarpımıyla doğru orantılıdır. Yükler, bir iletkenin dış yüzeyinde yer alırlar.

**Manyetik Alan için;** Bu denklem manyetik yükün olmadığını belirtmektedir. Yani herhangi bir kapalı yüzeydeki manyetik alanın akısı sıfırdır.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (1.12)$$

B= Manyetik akı yoğunluğudur. Birimi Tesla veya weber/m<sup>2</sup>

dS= sonsuz küçük S yüzeyinin diferansiyel vektör elemanı birimi m<sup>2</sup>

Bu ifade için skaler çarpım;

$$\nabla \cdot \vec{B} = \frac{dB_x}{dx} + \frac{dB_y}{dy} + \frac{dB_z}{dz}$$

Buna göre diverjans teoremi alınırsa denklemin diferansiyel ifadesi;

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \text{ olur.} \quad (1.13)$$

Bu iki bağıntının fiziksel anlamı; Elektrik alan çizgileri pozitif yükten ıraksar; manyetik alan çizgileri akım çevresinde dolar. Elektrik alan çizgileri pozitif yükten başlar, negatif yükte biter. Manyetik alan çizgileri hiçbir yerden başlamaz veya bitmez. Ya kapalı bir

eğri oluşturur ya da sonsuza giderler.  $\vec{E}$  alanının tersine  $\vec{B}$  alanı için noktasal bir kaynak yoktur. Yani elektrik yükün manyetik karşılığı yoktur.  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$  ifadesinin fiziksel anlamı da budur [17,18].

### 1.3.2.2. Faraday Yasası

Elektrik alanın vektörel kaynağını, süre değişimiyle değişen manyetik akı olduğu bu denklemlerde göstermektedir. Elektrik alanın dolaşımının kapalı eğrisi üzerinde, bu eğrinin sardığı alan üzerindeki manyetik akının süreyle değişimine eşittir. Faraday kanununa göre, sabit bir manyetik alan içinde hareket ettirilen iletken çerçevede indüklenen gerilim  $E = -\frac{d\phi}{dt}$  ile verilir.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (1.14)$$

İse Faraday kanununun integral ifadesidir.

$-\frac{d\phi_B}{dt}$  manyetik akının zamanla değişimini veren ifadedir.

$d\vec{l}$  = yüzeyi çevreleyen  $C$  kontürünün teğetsel diferansiyel vektör elemanı birimi metre

Manyetik ve elektrik alanların zamana göre değişimleri vektörel çarpıma göre bağıntıları şu şekilde hesaplanır;

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{d}{dx} & \frac{d}{dy} & \frac{d}{dz} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}$$

Bu bir determinant gösterimi olup açılarak yazılırsa;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = i \left( \frac{dE_z}{dy} - \frac{dE_y}{dz} \right) + j \left( \frac{dE_x}{dz} - \frac{dE_z}{dx} \right) + k \left( \frac{dE_y}{dx} - \frac{dE_x}{dy} \right)$$

Stokes teoremine göre denklemin diferansiyel ifadesi;

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int (\vec{\nabla} \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \cdot \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{olur.} \quad (1.15)$$

Buradaki (-) işareti Lenz kanununun bir ifadesidir. Lenz kanununda olduğu gibi; “kendini meydana getiren nedene indüksiyon akımının yönü zıttır”. Bu yasadaki eksi işaretin anlamı budur. Buna göre manyetik alanın değişimi elektrik alan meydana getirir [6,7].

Manyetik alan sabitse  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$  olur.

### 1.3.2.3. Maxwell denklemleri

Yukarıda ayrı ayrı incelenen dört denklem maxwell denklemlerini oluşturur. Bunlar elektromanyetik dalga denklemlerinin temelini oluşturur. Aslında maxwell denklemleri görüldüğü üzere zamana göre değişen elektrik alan ile bir manyetik alan; zamana göre değişen manyetik alan ile bir elektrik alanı yaratma esasına dayanmaktadır. Şimdi bunlar bir arada yazılacak olursa;

**Tablo 1.1.** Maxwell denklemleri

Eşitlik	Yasanın Adı	Fiziksel Anlamı	
$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	1.Maxwell kanunu (Elektrik alanda Gauss yasası)	Elektrik yükleri arasındaki etkileşme kuvveti, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters, yüklerin çarpımıyla doğru orantılıdır. Yükler, bir iletkenin dış yüzeyinde yer alırlar.	1.16
$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	2.Maxwell kanunu (Magnetik alanda Gauss yasası)	Magnetik yükler yoktur. Tek kutuplu bir mıknatıs elde edilemez.	1.17
$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	1.Maxwell kanunu (Faraday'ın indüksiyon yasası)	Kapalı bir iletken halkadan geçen magnetik akım değişirse halkada indüksiyon akımı oluşur.	1.18
$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{J} + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	1.Maxwell kanunu (Amper yasası)	Akım taşıyan tel etrafında magnetik alan oluşur. Işık hızı ortamın elektromagnetik özeşikleriyle değişir.	1.19

Maxwell elektrik alanın değişimi nedeniyle boşlukta yer değiştirme akımının oluştuğunu fark etmiştir. Yalnız boşlukta  $\rho$  yük yoğunluğunun ve  $J$  akım yoğunluğunun sıfır olduğunu göz önüne alarak;

1.denklem  $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$

4.denklem  $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

haline gelirken 2. ve 3. denklem aynı kalmıştır.

#### 1.4. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Spektrum kelimesi, "enerji dağılım" olarak tanımlanabilir. Planck tarafından foton enerjisi için yapılan tanımla frekansı bilinen her fotonun enerjisi, foton frekansı ile Planck sabitinin çarpılması yoluyla belirlenebilir. Foton, ışığı oluşturan taneciklerin adıdır yani foton, ışığın en küçük parçasıdır ve parçacık özelliği gösterir. (Işık üzerine tarih boyunca şiddetli tartışmalar yaşanmıştır ve konu ışığın tanecik yapıda mı yoksa dalga yapısında mı olduğu hakkındadır [19].

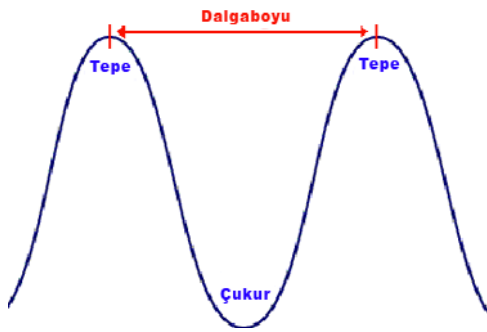
Elektromanyetik dalganın yayılması için her hangi bir ortama duymadılarında dolayı, ses dalgalarından farklılık göstermektedir. Elektromanyetik spektrum, görünür bölge, gök kuşağında olan turuncu ve kırmızı, mor ve mavi renge kadar olan bütün renkleri içermektedir. Bu renkler hepsi ışığın farklı dalga boylarına denk gelmektedir [20-25].

Herhangi bir madde ortamına elektromanyetik dalgaların iletiminde ihtiyaç yoktur. Elektromanyetik dalgalar bakır ve fiber optik kablolarda buna ek olarak uzay ve hava boşluğunda yayılarak haberleşme için kullanılmaktadır. Elektronların hareketliliği elektromanyetik yayılmaya neden olur. Bir saniyede yapılan titreşim sayısı frekans dır ve birim olarak Hertz (Hz) olarak isimlendirilir. İki adet dalgaların tepeleri arasındaki mesafe dalga boyu olarak isimlendirilir. Dalga boyu küçüldükçe frekans artar. Elektromanyetik spektrum, dalga boyu uzun olandan (enerjisi düşük radyo dalgası) dalga boyu kısa olana (yüksek frekans, enerjisi yüksek gama ışınları) bir aralıktan ibarettir. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi yayılma, görünür ışıklar, mor ötesi ışınlar, x ışınları ve gama ışınları elektromanyetik spetruda bölgelerine ayrılır. Elektronları hareket ettiren kuvvetleri uygulayan elektromanyetik alanlar ve fotonlar dır. mElektron geçişi için sarf edilen enerjinin korunması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı, her bir atom ve moleköl

belirli frekans kapsamında yayılırlar. Belli bir frekans ve dalga boyunda atomlar ve moleküller elektromanyetik spektrum da absorplama yapar. Işığın sahip olduğu diğer bütün frekansları ve dalga boyları yansıtılır. Görünür bölgedeki her bir renge karşılık gelen bir dalga boyu vardır. Görünür ışıkları tanımlamak için dalga boyları kullanılan en temel birimdir. Dalga boyu elektromanyetik yayılmayla ters orantılıdır. Görünür kısımdaki benzer şekilde elektromanyetik spektrum daki diğer kısımlar farklı ve önemli bileşenlerden oluşmaktadır. AM radyo dalgaları FM bandı radyo dalgalarından daha büyük dalga boyuna ve daha düşük frekans dan oluşmaktadır. Yüksek frekanslı radyo dalgalarıyla radar görüntülemesi yapılmaktadır. Mikro dalga yayılması neticesinde mikro dalga fırınlarda ısınma sağlanmaktadır. İnsanlar kızıl ötesi dalgaları yaptıkları termal yayılma (ısı) yoluyla anlamaktadır. X ışınlarının, deri ve madde den geçebilme yeteneği olanduğunda dolayı, tıp alanının da ve endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Elektromanyetik spektrum keşfedilmiş ve akabinde çok fazla ilerleme olmuştur [26,27].

#### 1.4.1. Dalga İlgili Tanımlamalar

Yüzeyi durgun olan bir göl üzerine taş atıldığı düşünülür ise; taş çarpmasıyla göl yüzeyinde su kabarıklıkları ve bu kabarıklıklar arasında çöküntüler görülecektir. Bu periyodik kabarma ve çöküntülere dalga denmektedir [28].



Şekil 1.3. Bir Dalganın Şematik Gösterimi

**Dalga boyu:** Dalga şeklinde hareket edildiğinde, iki tepe noktası veya çukur noktası arasındaki mesafe dir veya bir elektromanyetik dalganın salınım esnasında alınan yoldur. Mesafe birimleri dalga boyu için kullanılmaktadır.

**Dalga periyodu:** İki dalga tepesi veya çukurlarının belirli bir referans noktadan geçme süresine denir.

**Frekans:** Elektromanyetik dalgaların bir saniye de yaptığı salınım miktarına denir. Hertz (Hz) frekans birimidir.

**Hız:** dalga boyu ile frekansın çarpımına eşittir.

Frekans ile dalga boyunun birbiri ile ilişkisi:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = \text{Hız}$$

$$\lambda = \text{Dalga boyu}$$

$$f = \text{frekans}$$

Elektromanyetik yayılma ışık hızın da (C) olmaktadır

$$C = \lambda \cdot f$$

$$C = \text{Işık hızı}$$

$$\lambda = \text{Dalga boyu}$$

$$f = \text{frekans}$$

#### **1.4.2. Güneşin Elektromanyetik Spektrumu**

Güneş, değişik dalga boylarına sahip ışınlar yaymaktadır. Yayımlanan dalgaların boyları sıralı görünümü güneş spektrumu dur. Yaygın olarak bilinen adı elektromanyetik güneş spekturumu dur. Aşağıda ifade edilen gruplara ayrılmaktadır [29,30].

1- Gama Işınları

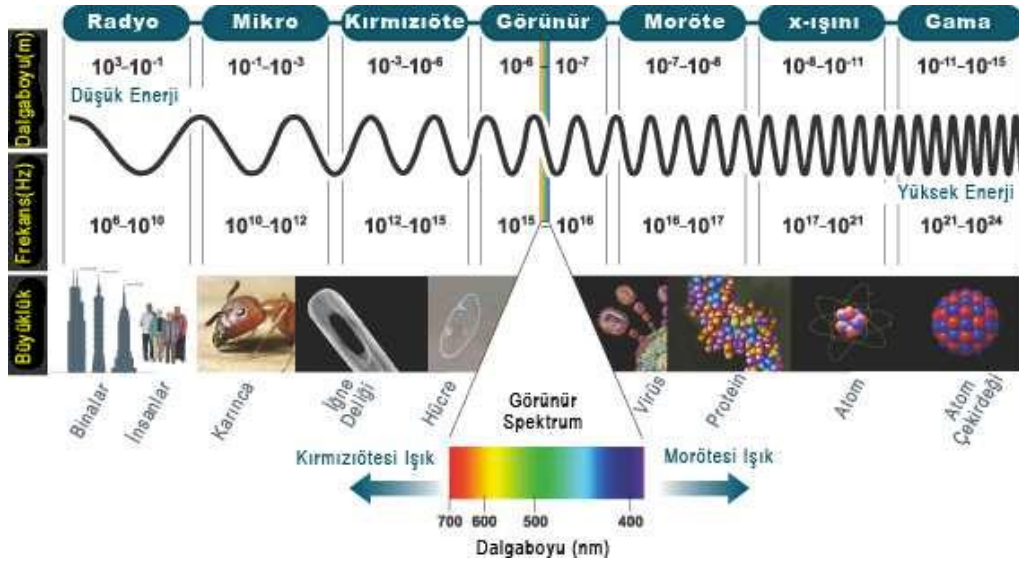
2- X- Işınları

3- Ultraviyole Işık

4- Görünür (Visible) Işık

5- Kızıl Ötesi (Infrared) Işık

6- Radyo Dalgaları'dır.



Şekil 1.4. Elektromanyetik Spektrumda Önemli Frekanslar

Tablo 1.2. Frekans Spektrumundaki Genel Frekans Bandları [29,31,32].

Frekans Bandı	Belirtim	Kullanım	Yayıma Şekli
3 – 30 KHz	Çok Alçak Frekans Very Low Frequency (VLF)	Dünya çapında ve uzun mesafe çok darband haberleşmesi. Denizaltı haberleşmesi	Dünya-İyonosfer Dalga Klavuzu
30 – 300 KHz	Alçak Frekans Low frequency (LF)	Uzun mesafe darband haberleşmesi ve broadcast yayın	Yer Dalgası ve Gökyüzü Dalgası (Yer-İyonosfer Yansımaları)
300 – 3000 KHz	Orta Frekans Medium Frequency (MF)	Orta ve uzun mesafe broadcast yayın ve darband haberleşme	Yer Dalgası ve Gökyüzü Dalgası
3 – 30 MHz	Yüksek frekans High Frequency (HF)	Dünya çapında darband haberleşmesi ve broadcast yayın	Gökyüzü Dalgası
30 – 300 MHz	Çok Yüksek Frekans Very High Frequency (VHF)	Kısa mesafe ve mobil darband haberleşmesi, ses ve görüntü yayını	Görsel ufuk içinde Uzak Dalgaları (görüş hattı) ve biraz ötesi
300 – 3000 MHz	Ultra Yüksek Frekans Ultra High Frequency (UHF)	Kısa mesafe ve mobil haberleşme, görüntü yayını, darband ve genişband karasal linkler	Görüş hattı içinde uzak dalgaları ve çok az ötesi
3 – 30 GHz	Süper Yüksek Frekans Super High Frequency (SHF)	Genişband karasal linkler, uydu haberleşmesi	Boşluk dalgası, yalnızca görüş hattı, yağmur zayıflaması önemlidir
30 GHz Üstü	Ekstrem Yüksek Frekans Extremely High Frequency (EHF)	Genişband karasal linkler, uydu haberleşmesi	Boşluk dalgası, yalnızca görüş hattı, yağmur ve gaz içinde zayıflaması çok önemlidir.

**Tablo 1.3.** Başlıca elektromagnetik tayf bantları ve yaklaşık sayısal değerleri

Fotonun bölgesi	Dalga boyu	Frekans (Hz)	Foton Enerjisi
Radyo Dalgası	1km	$3 \times 10^5$	1 neV
Mikrodalga	1 cm	$3 \times 10^{10}$	120 $\mu$ eV
Kızılötesi	10 $\mu$ m	$3 \times 10^{13}$	120 meV
Görünür	550 nm	$5 \times 10^{14}$	2 eV
Ültraviyole	100 nm	$3 \times 10^{15}$	12 eV
X-ışını	0.05 nm	$6 \times 10^{18}$	25 keV
Gama ışını	0.00005 nm	$6 \times 10^{21}$	25 MeV

## 1.5. ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN CANLILARA ETKİLERİ

Günümüzde, bilimsel çalışmaların bir ürünü olan teknolojinin bilinen ve bilinmeyen zararları da vardır. Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler doğrultusunda, endüstriye ve ticari olarak hayatımıza giren teknolojik ürünlerin miktarı artmıştır. Bu teknolojik ürünlere televizyon radyo vericileri, bilgisayar, cep telefonu ve baz istasyonu vb. örnek verilebilir. Bu cihazlar yaymış oldukları radyasyon neticesinde insan sağlığı üzerine olumsuz etki riski vardır [33-35].

Bugün dünyada milyonlarca cep telefonu kullanılmaktadır ve özellikle cep telefonlarının kullanıldığı frekanstaki elektromanyetik dalganın 1993 yılında Belçika' lı bilimciler tarafından insan geninde hasara yol açtığı gösterilmiştir. 1990' lı yılların ikinci yarısında Fransa' da yapılan bir araştırmada; kadın ve erkek olmak üzere her iki cinste de beyin tümörü sayısının %31 artmış olmasının görünmesi teknolojinin bize sunduğu kaynakları sınırsız ve sorumsuzca kullanamayacağımıza ilişkin önemli göstergelerden yalnızca bir kaçıdır. Ayrıca, gazete, dergi ve televizyonlarda cep telefonları hakkında çeşitli haberler ortaya atılmıştır. Cep telefonlarının öncelikle Kanser, Beyin tümörü, Parkinson, Alzheimer, genetik yapının değişimi, vücut ısısının artması, yorgunluk, uykusuzluk, bağışıklık sisteminin zayıflaması, hafıza kaybı, deride yanma hissi gibi hastalıklara yol açtığı söylenmiştir [36].

Cep telefonunun insanların DNA sı ve genetik yapısı üzerine yaptığı etkiler bilimsel olarak araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar, avrupa da 7 ve diğer kıtalar da olanlar ile 12 araştırma merkezinde yapılmıştır. Yapılan çalışmalar da maruz bırakılan elektromanyetik

alan yoğunluğu, günümüz de hayatımızın bir parçası olan cep telefonları ile aynı şiddette olmalıdır.

Bu proje araştırması kapsamında elede edilen sonuçlar doğrultusunda, cep telefonlarının yaymış olduğu dalgalar insan hücreleri üzerine doğrudan kanser yapma etkilerine sahiptir. Bu etki DNA zinciri üzerinde kırılmalara sebebiyet vermektedir ki hatta DNA zinciri üzerinde bozulmalara sebebiyet verebilmektedir. Bu bozulma neticesinde bilinen bazı genlerin sahip olduğu kabiliyelerinde değişikliklere sebebiyet verebilmektedir [33,34,37-39].

Ayrıca, yapılan bilimsel çalışmalar göstermiştir ki cep telefonları beyin fonksiyonlarına zarar vermiş olduğu görülmüştür. Yapılan bir diğer çalışmada, cep telefonlarının yaymış olduğu dalgaların etkileri fareler üzerinde ki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçları göstermiştir ki farelerin beyin fonksiyonları üzerine yıkıcı etkiler yapmıştır.

Cep telefonlarının uzun süre kullanılması neticesinde beyin üzerinde tümör oluşumuna neden olduğu bilim insanları tarafından öngörülmektedir. Beyin üzerinde oluşan tümörlü hücreler cep telefonunun konuşma esnasında başa temas eden kısımda olmaktadır. Beyin tümörü oluşumunun riski artmasına, ne kadar yoğun kalırsak okadar fazlardır. Cep telefonu ile konuşma süresi arttıkça risk daha da artmaktadır. 1500 kişi üzerinde yapılan araştırmanın sonuçları göstermektedir ki, cep telefonu kullanımına bağlı olarak tümör oluşumu 1.5 kat artmıştır [40,41].

Cep telefonu kullanımının sayısız olumsuz etkiler içinde cinsel yaşama ve üretkenlik üzerine zararları vardır. Bu zararlı etkileri göstermek için, bilim adamları tarafından 221 erkek denek üzerinde 13 aylık süreyle takip edilmiştir. Araştırmacı bilim adamları, bu deneklere cep telefonu kullanıp kullanmadıkları, kullanıyorlar ise kullandıkları süre ve cep telefonlarını üzerinde nerede taşıdıkları sorulmuştur. Araştırma kapsamında belirlenen süre içerisinde, cep telefonu kullanan ve kullanmayan deneklerin sperm yapıları ve üreme sistemleri üzerine inceleme yapılmıştır. Araştırma sonuçları cep telefonu kullanan erkeklerin üreme sistemlerine zarar verdiği tespit edilmiştir. Cep telefonu kullanan deneklerin sperm oranında %30 azalma olduğu görülmüştür [35,42,43].

Yapılan başka bir çalışmada da cep telefonlarından çıkan radyasyonun uykuyu kaçırıp, başağrısı ve depresyona yol açtığı belirlenmiş. İsveç' teki Krolinska Enstitüsü ve Uppsala

üniversitesi ile ABD Michigan' daki Wayne State üniversitesi tarafından yapılan araştırmanın bugüne dek bu alanda yapılan en kapsamlı araştırma olduğu belirtilmiştir. İngiltere' de hükümet ve iletişim endüstrisinin birlikte yürüttüğü 6 yıllık araştırmanın sonucunda, kısa sürede cep telefonu kullanımının kansere yol açma ihtimali olmadığını belirtmiştir. Cep telefonu kullanımı ve baz istasyonlarının uzun dönemde kansere yol açma ihtimalinin “ göz ardı edilemeyeceğini “ de belirtmiştir. Söz konusu 6 yıllık program sırasında cep telefonları ve baz istasyonlarının sağlıkla ilgili etkileriyle ilgili 23 araştırma yapılmıştır. Araştırma ekibi, cep telefonu kullananlar arasında beyin ve kulak ( akustik nöroma ) kanserine yakalanmada küçük bir artış görüldüğünü kaydetmiştir [41].

İngiltere Ulusal Radyolojik Koruma Kurulu, cep telefonlarının 8 yaşından küçük çocuklarda beyin riskini arttırdığını belirtmiştir. Araştırmalar, cep telefonlarının sık kullanılmasının beyin ve kulakta tümör oluşuma yol açtığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, AB ülkelerinde yapılan araştırmalar, cep telefonu sinyallerinin DNA' ya zarar verebileceğini, İsveç' te uzun süreli bir araştırmada, 10 yıl cep telefonu kullananlarda işitme duyusu sinirlerinde büyüme görülmüş, Hollanda' da cep telefonu sinyallerine maruz kalmanın hafıza ve reaksiyon zamanlaması gibi bilinçsel fonksiyonları etkilediğini ve Almanya' da baz istasyonu yakınında kanser vakalarının arttığı saptanmıştır [44-46]. Cep telefonlarının canlılar üzerinde etkisinin olmadığını ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur. 1995-1996 yılları arasında fareler üzerinde 2450 MHz ile yapılan deneylerde 4 saatlik süre sonunda elektromanyetik enerjinin DNA bozulmasına yol açtığı açıklanmıştır ( Lai and Singh,1995,1996 ). 1997' de benzer deneyde Prof. Lai ve Singh' in elde ettikleri sonuçlara ulaşamamış. 2002 yılında yapılan deneylerde yine DNA bozulmasının gözlenmediğini açıklamışlardır. 18 ile 80 yaşları arasında değişen kadın ve erkek toplam 900 kişilik bir grupta 1994-1998 yılları arasında gerçekleştirilen ve 4 yıl süren çalışmalarda cep telefonu kullanmanın kısa dönemde beyin tümörü oluşumuna yada tümörün büyümesine etkisinin olmadığı sonucunu elde etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, fareler üzerinde yapılan deneylerde 836 MHz FDMA ve 848 MHz CDMA işaretlerinin lenf ve beyin kanserini arttırıcı etkilerine rastlanmamıştır. Yine cep telefonlarının fareler üzerinde göğüs kanseriyle ilk denemede kanser arttırıcı etki gözlenirken, ikinci denemede olumsuz etki gözlenmemiştir.

Şimdiye kadar ki yapılan çalışmalar, Radyo-frekanslarının insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında kafa karıştırıcı sonuçlar üretmiştir. Bu yüzden, Radyo frekanslarının

(RF) biyolojik etkilerinin anlaşılması en azından klinik olarak önemlidir. RF alanlarının insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkinliği halen karakterize edilememiştir, bundan dolayı hayvansal ve hücresele testlere dayanan laboratuvar çalışmalarından çıkan temel bilgiler çok önemlidir. Çalışmalar içerisinde *Bacillus* genusu türleri üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Mikrodalgaya radyasyonunun *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis* hücre süspansiyonlarındaki canlı sayısında önemli bir oranda azalmaya ve hücrelerden açığa çıkan DNA ve protein miktarında önemli bir miktarda artışa neden olduğu bulunmuştur. Bir başka çalışmada, 800Hz ve 1KHz frekansların bakteriel kültüre maruz bırakılması sonucunda *Bacillus subtilis* mutant FJ7 straininin büyümesinde artış olduğu bulunmuştur. Diğer çalışmada farklı koşullar altında ve farklı güç seviyelerinde mikrodalgaların, *Bacillus* spp, *B. cereus* CCRC 14655, *B. coagulans* CCRC10606, *B. licheniformis* CCRC14693 ve *B. subtilis* CCRC14199' un sporları üzerinde etkisi incelenmiş ve uygulama sonunda, mikrodalgaya en fazla toleransı *B. licheniformis* bakterisinin sporlarının gösterdiği bulunmuştur. Bir başka çalışmada ise, mikrodalgaların *Bacillus subtilis* sporlarının moleküler ve yapısal komponentleri üzerine etkisini araştırmışlar. İnceleme sonunda, spor korteksinde daralmaya neden olduğu görülmüştür. Yukarıda değinilmiş olan bilgiler ışığında bu çalışmada, Cep telefonu/Radyo frekanslarının ( 1000 MHz-1850 MHz ) sporlu bir bakteri olan *Bacillus cereus*' un spor morfolojisi, spor oluşum saati ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır [47].

Elektromagnetik radyasyonun (EMR) madde ile etkileşmesinde ışığın kuantum özelliği fazla göz önüne alınmaz. Çoğunlukla dalgalı yönü dikkate alınarak inceleme yapılır. Dalga ve kuantum kavramları aynı anda uygulanmadığı sürece bir karışıklık oluşmaz.

### **1.5.1. Elektromanyetik Sınır Değerler**

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standartlar ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler vardır. Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection-Uluslararası iyonlaştırıcı olmayan radyasyondan korunma komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, dünya sağlık örgütü (WHO) ve dünya çalışma örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma

kuruluşudur. ICNIRP kılavuzunda yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan Disiplinlerarası bir ekip tarafından yürütülmüştür [38,39,48-50].

Amerika Birleşik Devletlerinde bu sınır değerler FCC-Federal Komünikasyon tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE-elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü ve ANSI-Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir.

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

Buna göre genel yaşam alanlarında, GSM900 ve DCS1800 sistemleri için kontrolsüz etkilenme için sınır değerler Tablo 1.4 de verilmiştir.

**Tablo 1.4.** Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

900 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	---
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	---
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m <sup>2</sup>	6,0 W/m <sup>2</sup>
1800 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	58,33 V/m	---
Manyetik Alan Şiddeti	0,157 A/m	---
Güç Yoğunluğu	9,0 W/m <sup>2</sup>	10,0 W/m <sup>2</sup>

İngiltere de sınır değerler: 900 MHz de  $5,7 \text{ W/m}^2$  ( $46,4 \text{ V/m}$ ) ve 1800 MHz de  $10,0 \text{ W/m}^2$  ( $61,4 \text{ V/m}$ ) dir.

İsviçre genel olarak ICNIRP standartlarını kabul etmekle birlikte tek bir baz istasyonu anteni için sınır değeri 900 MHz de  $0,042 \text{ W/m}^2$  ( $4,0 \text{ V/m}$ ) ve 1800 MHz de  $0,095 \text{ W/m}^2$  ( $6,0 \text{ V/m}$ ) olarak belirlemiştir.

İtalya günde 4 saatin altında maruz kalınan durumlar için sınır değer olarak  $1,0 \text{ W/m}^2$  ( $19,4 \text{ V/m}$ ), 4 saatin üstü için  $0,1 \text{ W/m}^2$  ( $6,1 \text{ V/m}$ ) olarak belirlemiştir. Ayrıca, İtalya da yerel yönetimlere bu sınır değerleri düşürme yetkisi de verilmiştir.

Rusya da sınır değerler 900 MHz de  $0,024 \text{ W/m}^2$  ( $3,0 \text{ V/m}$ ) dir.

Çin de sınır değerler 900 MHz de  $0,066 \text{ W/m}^2$  ( $5,0 \text{ V/m}$ ) dir.

Türkiye de 900-1800 MHz uyulması gereken sınır değerler Tablo 1.5 de verilmiştir.

**Tablo 1.5.** Türkiye de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç Yoğunluğu	0,28 W/m <sup>2</sup>	4,5 W/m <sup>2</sup>	0,56 W/m <sup>2</sup>	9,0 W/m <sup>2</sup>

## 1.6. ELEKTROMANYETİK DALGA KALKANLAMA ETKİNLİĞİ (EMSE)

Elektromanyetik uyumluluk (EMC) bilimin bir alanıdır ve mühendislik bilimi elektrik ve elektronik sistemlerin/ekipmanların tasarımı ve kullanımı ile ilgilenir. Bir şekilde bu sistem ve ekipmanların elektromanyetik karışmanın belirli miktarlarına karşı koymaları sağlanmaktadır, aynı zamanda bu sistem ve ekipmanların EMI yayınımları belirli sınırlarda tutulmaktadır. Telekomünikasyonun, dijital sistemlerin, hızlı işlemcilerin kullanımının hızlı bir şekilde artması ile ve yeni tasarım uygulamalarının bulunması ile, EMC gelişmiş tasarımların ön planına getirilmiştir. Tasarımlar onların kaynaklarında oluşan EMI yı en aza indirmeyi içermektedir. Azaltılması veya uygun düzen tarafından bağlantı yolları ortadan kaldırılması; kalkanlama, filtreleme ve uygulamaların toplanması; EMI için doğal bir bağışıklık donanım tasarımı; ve EMI için yüksek seviyede etkilenmemeyi sağlayacak yazılımı geliştirmek için savunma program uygulamalarını

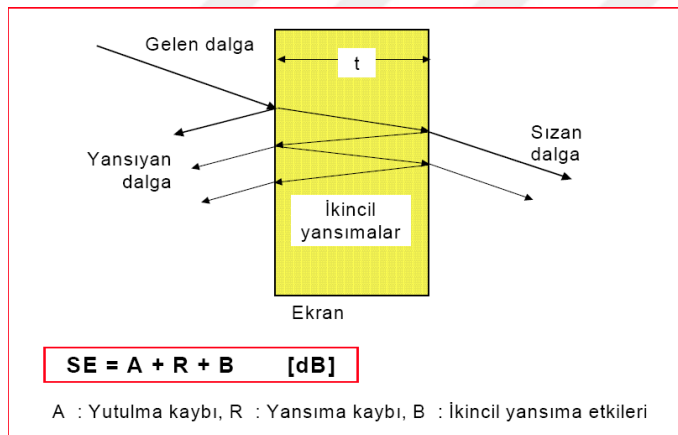
benimsemek. Bu yaklaşımda, EMI kalkanlama EMC tasarımında önemli ve etkilidir. Şüphesiz, gelişmiş malzemeler ve işlem teknolojileri beraberinde başarılı bir EMI kalkanlamasını başarmak önem arz etmektedir [49-51].

### 1.6.1. Kalkanlama Etkinliği (SE)

Kalkanlama magnetik ve elektriksel alandaki azalmanın sağlandığı durum veya düz-dalga gücünün engellemesinden oluşan durum olarak tanımlanmaktadır. Kalkanlama etkinliği ve kalkanlamanın sonucunda oluşan EMI azalması frekansa, kalkanlamanın kaynaktan olan uzaklığına, kalkanın kalınlığına ve kalkanlama malzemesine bağlıdır. Kalkanlama etkinliği ifade edilirken birim olarak desibel (dB) kullanılır. Kalkanlama etkinliği yüklenen ve çıkan elektriğin (E), yüklenen ve çıkan magnetik alanın (H), veya yüklenen ve çıkan düz-dalga yoğunluklarının (F) oranlarının bir logaritmik fonksiyonudur.

$$SE(dB)=20\log(E_0/E_1), SE(dB)=20\log(H_0/H_1), \text{ veya } SE(dB)=20\log(F_0/F_1)$$

Elektromanyetik engellemenin her hangi bir grubunda, kalkanlama etkinliğine katkıda bulunan üç mekanizma vardır.



**Şekil 1.5.** EMI kalkanlamanın grafiksel olarak gösterimi [52]

Şekil 1.5 de gösterildiği gibi, yükleyen ışınımın bir kısmı kalkanlama malzemesinin ön yüzeyinden yansıtılır, bir kısmı kalkanlama malzemesi tarafından yutulur ve bir kısmı da kalkanlama malzemesinin arka yüzeyinden öne yansıtılır, burada yükleyen dalga ile kalkanlama malzemesinin faz ilişkisine bağlı olarak kalkanlama etkinliğine yardımcı olmaktadır veya engel olmaktadır. Bu nedenle, kalkanlama malzemesinin toplam kalkanlama etkinliği (SE) yutma faktörü (A) nün, yansıtma faktörünün (R) ve çok ince

kalkanlama malzemelerinde çoklu yansımalar için hesap yapmak amacı ile elde edilen düzeltme faktörünün (B) toplamına eşittir:

$$SE= R+A+B \quad (1.20)$$

1.20 denklemindeki bütün terimlerin birimi dB dir. Çoklu yansıma faktörü (B) eğer yutma kaybı 10 dB den daha büyük ise ihmal edilebilmektedir. Pratik hesaplamalarda (T) elektrik alanlar ve düz dalgalar için ihmal edilmektedir.

#### 1.6.1.1. Soğurma Kaybı

Emme kayıpları (A) kalkanlamanın fiziksel özelliklerinin bir fonksiyondur ve kaynak alanın çeşidinden bağımsızdır. Bu nedenle, emme terimi (A) üç dalga türü içinde aynıdır. Şekil 1.5 de gösterildiği gibi elektronik dalga bir kalkanlama malzemesinin ortasına doğru geçtiği zaman, dalganın genliği katlanarak düşer. Burada azalma veya emilme kaybı meydana gelmektedir, çünkü, akımlar orta kısımda malzemenin ısınmasına ve ohmik kayıplar üretilmesine sebep olmuştur. E1 ve H1 ile ifade edilmektedir:  $E1= E0e^{-t/\delta}$  ve  $H1= H0e^{-t/\delta}$ . Dalgayı 1/e veya %37 ye zayıflatmak için gerekli olan mesafe yüzey derinliği olarak ( $\delta$ ) tanımlanmaktadır. Bu nedenle, emilme terimi (A) ifadesi ile verilmektedir [53]:

$$A = 20 (t/\delta) \log (e) = 8.69 (t/\delta) = 131 t \quad (1.21)$$

Burada, (A) desibel (dB) olarak ifade edilen emme veya nüfuz etme kaybıdır; t mm olarak kalkanlama malzemesinin kalınlığıdır; f MHz olarak frekans dır;  $\mu$  bağıl geçirgenliktir (1 to copper);  $\sigma$  IACS deki bakıra göre iletkenliktir. Yüzey derinliği ( $\delta$ ) aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\delta= \quad (1.22)$$

Bir kalkanlama malzemesinde yüzey derinliğinin emme kaybı yaklaşık olarak 9dB dir. Kalkanlama malzemelerindeki yüzeylerin etkisi düşük frekanslar da özellikle önemlidir. Tecrübe edilmiş alanlarda 377  $\Omega$  dan daha düşük iç direncine sahip dalgalarda ağırlıklı manyetiklik daha fazla olması mümkündür.

#### 1.6.1.2. Yansıma Kaybı

Yansıma kaybı kalkanın yüzey iç direnci ve yükleyen dalga arasındaki bağıl uyumsuzluk ile ilgilidir. Yansıma kayıplarının hesaplaması elektrik, magnetik veya düz-dalgadan ayrı

bir sorun olarak yükleyen elektrik alanlar için kalkanlama etkinliği göz önünde bulundurulması ile oldukça basitleştirilebilmektedir. Üç temel alan için oluşturulan denklemler aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$RE = 321.8 + 10\log \quad (1.23)$$

$$RH = 14.6 + 10\log \quad (1.24)$$

$$Rp = 168 - 10\log \quad (1.25)$$

Burada, RE, RH ve Rp elektrik, manyetik ve düz-dalga alanlar için yansıma kayıplarıdır. Bu değerler dB olarak ölçülmektedir.  $\sigma$  bakır a göre bağlı iletkenlik; f Hz biriminden frekans;  $\mu$  boş alana göre bağlı geçirgenlik; r birim olarak metre cinsinden kaynaktan kalkanlamaya olan mesafedir.

### 1.6.1.3. Çoklu Yansıma Düzeltme Faktörü

(B) düzeltme faktörü matematiksel olarak pozitif veya negatif olmaktadır (uygulamada genellikle negatiftir), ve emme kaybı  $A > 6$  dB olduğu zaman düzeltme faktörü (B) önemsiz olur. Düzeltme faktörü malzemeler ince olduğu zaman ve düşük frekanslarda genellikle önemlidir (örneğin yaklaşık olarak 20 kHz altında). Düzeltme faktörünün formülasyonu (B) (Vasaka, 1956) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$B(\text{dB}) = 20 \log \quad (1.26)$$

Burada, (A) emme kaybıdır (dB);  $K = ZS/ZH = 1.3 (\mu/fr2\sigma)^{1/2}$ ; ZS kalkanlama iç direnci ve ZH yükleyen magnetik alanın iç direncidir.  $ZH \ll ZS$  olduğu zaman, magnetik kalkanlama için çoklu yansıma faktörü kalkanın kalınlığı (t) ve yüzey derinliği  $\delta$  türünden (Ott, 1988) tarafından belirlenmektedir:

$$B = 20 \log (1 - e^{-2t/\delta}) \quad (1.27)$$

Sonuç olarak, elektrik alanlar, magnetik alanlar ve düz-dalga alanlar için toplam kalkanlama etkinliği, emme ve yansıma kayıplarını, hatta düzeltme faktörü (B) yi de içeren denklem 1.20 ile elde edilmektedir. Emme kayıpları düşük frekanslarda azdır, yüksek frekanslarda giderek yüksek seviyelere çıkmaktadır. Genel olarak, emme performansı kalkanın kalınlığı artması ile veya yüksek geçirgenlikli metalin kullanılması ile geliştirilebilmektedir. Genellikle, yüksek geçirgenlikteki metaller düşük elektriksel iletkenlik sergilemektedir. Sadece magnetik malzemeler düşük frekansta magnetik alanlara karşı kalkanlama yapmaktadır. Eğer özellikle 14 kHz altındaki frekanslarda magnetik kalkanlama gerekir ise, denklem 1.20 de emme koşulu dışındaki bütün

koşulların ihmal edilmesi genel olarak kabul görebilir. Bunun tersi durumda, eğer sadece elektrik alan veya düz-dalga koruması gerekir ise, yansıma tasarımı dikkat edilmesi gereken önemli bir etkidir.

Özet olarak, yansıma kaybı miktarı elektromagnetik dalga ve kalkanın iç direncine bağlıdır. Bir elektromagnetik dalga bir kalkan ile karşılaştığı zaman, eğer dalganın iç direnci kalkanın iç direncinden önemli ölçüde farklı ise dalga kısmen geriye yansıtılır. Bunun tersi durumda; kalkanın ve dalganın iç dirençleri hemen hemen eşleşiyor ise, EMI enerjisi düşük yansıma ile kalkan boyunca yayılabilir. Near field daki elektriksel olarak baskın dalga (E-alan) daha yüksek iç dirence (  $377 \Omega$  dan daha büyük) sahiptir. Daha yüksek iletken metallere düşük iç dirence sahiptir ve, bu nedenle; uyumsuz iç dirençten dolayı geri yansıtılan elektriksel baskın dalgalar da başarılıdır. EMI yansıması elektriksel olarak baskın dalgalar için birincil kalkanlama mekanizmasıdır. Mekaniksel olarak baskın olan dalgalar, diğer bir yönden daha düşük iç dirence (  $377 \Omega$  dan daha küçük) sahiptirler. Bu dalgalarda, emme olayı kalkanlama da önemli bir rol oynamaktadır. Magnetik dalgalar kalkanlama için çok daha zordur; fakat, magnetik alanların enerjileri genellikle kaynak ile olan mesafenin artması ile azalmaktadır. Daha büyük mesafeler üzerinde (far-field), elektrik alan bileşeni dalgayı kontrol altına alır ve bu elektriksel bileşen EMI kalkanlama ile anlaşmak zorundadır. Kalkanlama malzemesinin bağlı kalınlığı emilen dalganın enerji miktarının üzerine bir etkiye sahiptir. Fakat, kalınlık yansıtılan dalganın enerjisinin miktarı üzerine küçük bir etkiye sahiptir. EMI'nın hem yansıması hemde emmesi kalkanlama yönteminin seçilmesinde önemli bir husustur. E- alanın azalması veya zayıflaması metal levha, metal folyo ve metal kaplama tarafında etkili bir şekilde yapılabileceği ele alınabilmektedir, çünkü yansıma kaybı emme kaybı ile çok geniş bir şekilde ilişkilidir. İletken malzemelerin çok ince bölümlerinde iyi bir yansıtma özellikleri sağlasın diye ilk yansıma kalkanlama malzemesinin ön yüzeyinde meydana gelir. Ayrıca, çok katmanlı kalkanlar ek yansıtma yapan yüzeylerden dolayı yansımayı artırmayı sağlamaktadır. Bunun tersi durumda, emme azalmada önemli anahtar rol oynar, güçlü magnetik alanlar kalın magnetik malzemeler veya kalın yüzeyli kalkanlar tarafından daha iyi yönetilmektedir.

## 1.7. ELEKTROMANYETİK DALGA ENGELENMESİNDE KULLANILAN TEKSTİL YAPILARI

Elektromanyetik kalkanlama özelliği yapının iletkenliği, manyetik geçirgenliği ve kompleks dielektrik içeriğinin maksimize edilmesi sonucu maksimum olur. Bu yüzden kalkanlama özelliği olan yapıların eldesi için öncelikle o yapının iletken olması ya da iletken hale getirilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere sentetik tekstil liflerinin üretiminde kullanılan polimerin tipik özgül direnci  $10^{-10}$  ohm seviyesinden daha yüksektir. Bu durum elektriği çok iyi yalıtan bir materyale uygundur. Bu yüzden bu yalıtkan yapıları iletken hale getirmek ve tekstilde elektromanyetik kalkan olabilecek yapıların üretimi için bugüne kadar pek çok yöntem denenmiştir.

- İletken malzemeyi kumaş ya da lif üzerine kaplama işlemi; kimyasal kaplama, galvanik spreyleme, iyonik kaplama, vakumla kaplama, püskürtme yada metal folyo bağlamadır.
- İletken katkı malzemelerini; siyah karbon, karbon lifi, karbon nanotüpleri, metalize edilmiş lifler, metal lifler(paslanmaz çelik ,Al ve Cu), metal tozlar, yada pullar (Al,Cu,Ni,Ag) ve grafit gibi yalıtkan sentetik liflere ekleme ile iletken lifler ya da metal lif takviyeli iplikler veya tekstil yüzeyleri oluşturmaktır.
- Antistatik yardımcı kimyasalların yüzeye emdirilmesidir.
- İletken polimerlerle yüzeylerin kaplanmasıdır. [11,54]



**Şekil 1.6.** Tekstil yapılarının iletken hale getirilmesi için kullanılan değişik yöntemlerin şematik gösterimi

**Tablo 1.6.** İletken tekstil yapılarının oluşum yöntemlerine göre iletkenlik değerleri

Yöntem	İletkenlik(S/cm)
Siyah karbon sandviç yapısı	$10^6-10^8$
Metal tozla karıştırılmış yapısı	$10^8-10^{10}$
Metal (şerit) tel eklenmiş yapısı	$10^5$
Metal tuzları karıştırılmış yapısı	$10^{-6}-10^{-1}$
Galvanik kaplanmış yapısı	$>10^4$
İletken polimerlerle kaplanmış yapısı	$10^0-10^5$

Klasik metal ve karbon takviyeli tekstil yapıları mükemmel iletkenlik değerleri yüzünden; iletken dolgu olarak (lifler, parçacıklar, toz, filamet, tüp) kompozit malzeme içerisinde, ya da kaplama prosesleriyle EMI kalkanlama uygulamalarında kullanılmaktadır. Fakat hacimli tabakalar veya ağ formundaki geleneksel metalik kalkanların; ağırlıklarından, geri dönüşüm olmaması, sentez zorluğu ve pahalı fiyatlarından dolayı uygulamaları daha kısıtlıdır. Kompozitlerde zayıf lif ve metal arası tutunma yüzünden, metal yüzey kaplamaları, toz veya lifler ile doldurulmuş polimer kompozitler veya kaplamalar düşük yırtılmalarından veya çizilme dayanımlarından

dolayı dezavantajlıdır. Karbon yapılar ise işlenme ve boyanma ile mukavemet problemleri yaratmaktadır.

Günümüzde doğal iletken polimer kompozitler potansiyelleri ve geniş uygulama alanları yüzünden elektrik ve elektronik endüstrisinde, enerji depolama sistemlerinde ve çeşitli kalkanlama uygulamaları için metallerin yerini almaktadır. İletken polimer olarak elektromanyetik kalkanlama, antistatik uygulama ve mikrodalga absorpsiyonlarında yaygın bir şekilde polyaniline (PANI) ve polypyrrole (PPY) kullanılmaktadır. Çünkü iletken polimerler düşük frekanslarda bile enerji absorblayabilmektedirler. Fakat benzenoid halkalarının kimyasal biçiminden dolayı sabit karakteristik bir yapıya sahiptirler. Genelde çözünmezler. Bu yüzden lif olarak çekilmeleri zordur. Son yıllarda, araştırmacılar iletken polimerlerin pek çok alanda kullanılabileceği düşüncesiyle sentezi, özellikleri, kararlılıkları ve işlenebilirliği üzerine odaklanmışlardır. Yapılan çalışmalarda kompozitlerde katkı materyali olarak ya da yalıtkan polimerlerle karışım halinde veya tekstil yüzeylerine kaplanarak kullanılabilecekleri görülmüştür.

Bu yöntemlerden herhangi biriyle elde edilen iletken dokuma, örme ve dokusuz yüzey yapılar; yapısal düzenleri, fleksibiliteleri, kullanışlı olmaları nedeniyle yeni nesil, multifonksiyonel ve interaktif tekstillerin oluşumu için öncü olmaktadır. İletken kumaşlardan EMI kalkanlaması ESD koruması, RFI korumasında düşük ağırlık ve konfor özellikleri yüzünden faydalanılmaktadır.

## **1.8. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİ OLAN TEKSTİL YAPILARININ KULLANIM ALANLARI**

İletken ipliklerin kumaş yapısında kullanılmasıyla kumaşlara çeşitli fonksiyonlar eklenebilmektedir. Tekstil malzemelerinin yapısal özelliklerini iletkenlik fonksiyonuyla birleştiren iletken tekstiller, yalnızca tıbbi ve askeri alanlarda değil, aynı zamanda moda, mimari ve tasarım alanlarında da önemli uygulama alanlarına sahiptir. Bu nedenle iletkenlik fonksiyonuna sahip olan tekstiller, kişi ve elektronik cihazların elektromanyetik etkilere karşı korunması, ısıtma, bilgi depolama ve iletimi, giyilebilir elektronikler, sensörler gibi birçok teknik uygulamada kullanılmaktadır [55].

İletken tekstillerin en önemli kullanım alanları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- İletken tekstiller
- Elektrik sinyallerinin iletimi

- Isıtma
- Elektromagnetik dalga ve elektrostatik boşalmalara karşı koruma

Elektromanyetik kalkanlama iletişim ve teknoloji çağında yaşayan insanlar için artık hem daha ilgi çeken hem de daha ihtiyaç duyulan bir özellik olmuştur. Bu yüzden bu konuda yapılan bilimsel çalışmaların yanında, sektörel çalışmalarda arttıkça kullanım alanları genişlemiş ve pek çok yeni uygulamalar geliştirilmiştir.

Günümüzde elektromanyetik kalkanlama özelliği olan tekstil yapılarının kullanım alanlarını maddeler halinde sıralayacak olursak;

- Askeriyede; uçak ve tanklarda, patlayıcı maddelere karşı koruma kıyafetlerinde, mikrodalga absorpsiyonlarında,
- Radarlara karşı koruyucu yapılarda
- Duvar ve yer döşemelerinde kullanılacak tekstil yapılarında
- Ziraat ve evlerde kullanılacak solar ekranlarda
- Termal yalıtkan materyallerde
- Bilgisayar, oda ve analitik enstrumanların kalkanlanmasında
- 3C elektronikler, netbook, cep telefonlarında SAR'a karşı kalkanlamada, hibrid iletken polimer lif kompozitlerinde, kordles telefonlarda, mikrodalga koruganlarında
- IR ışınlarına ve mikro dalgalara karşı koruyucu kıyafetlerde; tulumlar, hamile elbiseleri, iş elbiseleri ve kasketlerde
- Hastane elbiseleri, kalp pili takılı hastaların kıyafetlerinde
- Halılarda, battaniyelerde, perde ve örtülerde, yataklarda ve yatak örtülerinde, günlük kıyafetlerde, iç çamaşırları, cibinlikler ve çocuk tekstil ürünlerinde; kullanımları kolay, yıkanabilir ve ütülenebilir olarak kullanılırlar.[11,56,57]



**Şekil 1.7.** Kalkanlama materyali olarak tekstillerin günlük hayatta kullanımına örnekler [11].

## 1.9. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 1.9.1. Paslanmaz Çelik ve İğneleme Tekniğiyle Üretilmiş Dokunmamış Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi

Tekstil yüzeyindeki gözenekli yapı elektromanyetik kalkanlama etkisini azaltır; önceki çalışmalarda iletken liflerle güçlendirilmiş dokuma tekniğiyle üretilen kumaşların atkı ve çözgü sıklıkları arttırıldıkça ve iletken liflerle güçlendirilmiş örme tekniğiyle üretilen kumaşların yüzey yoğunluğu arttırıldıça EMSE değerlerinin arttığı bilinmektedir. Dokunmamış kumaş üretiminde; iplik üretimi olmayıp lifler tarak makinesinde tülbent oluşturulup ve tutturma tekniğiyle kumaşa dönüştürüldüğü için, iletken lifler karışıma bağlı olarak üçboyutlu yapıda homojen olarak dokunmamış kumaş yüzeyine dağıtılır. Bu yüzden yüksek frekansta elektromanyetik dalga dokunmamış kumaş üzerine gönderilirken, elektromanyetik dalgalar dokunmamış kumaştaki iletken liflerle sürekli olarak temastadır ve böylelikle elektromanyetik dalgalar absorplanmaktadır.

Dokunmamış kumaş üretim tekniğiyle üretilen kumaşlardaki iletken lif içeriği arttıkça, elektromanyetik kalkanlama etkisi ayrıca artmaktadır. (15-300 MHz) düşük frekans bant aralığında absorplama değerinin düştüğü, (300-1200 MHz) orta frekans bant aralığında absorplama değeri stabil ve (1200-3000 MHz) yüksek frekans bant aralığında absorplama değerinin arttığı saptanmıştır. Paslanmaz çelik lif içeren dokunmamış kumaş üretim tekniği ile üretilen kumaşa uygulanan frekans arttıkça, EMSE değerinin arttığı bulunmuştur [58].

### **1.9.2. Polipropilen ve Karbon Liflerle İğneleme Tekniği İle Üretilmiş Dokunmamış Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkilerinin İncelenmesi**

Kesikli polipropilen ve PAN karbon lifleri kullanılarak tarak makinesinde tülbent haline getirilmiş ve akabinde elde edilen tülbent yapısı iğneleme tekniğiyle oluşturulan dokunmamış kumaş yüzeyleri incelenmiştir. Kesikli polipropilen lifler, ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında kesikli karbon lifler ile karıştırılmıştır. Kesikli PAN karbon lif oranının doğrusal artışı ile (%10 dan %30wt.) yüzey direncinin 6.803 kohm dan 3.348 kohm a düştüğü gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak 15-3000 MHz bant aralığında polipropilen ve karbon içerikli dokunmamış kumaşların EMSE değerleri 15.6 dB den 42.1 dB e kadar arttığı gözlemlenmiştir. Polipropilen ve karbon içeren iğneleme tekniğiyle üretilen dokunmamış kumaşlarda 3000 MHz frekansında %30 ve %20 karbon lif içeren dokunmamış kumaş yüzeylerinde elektromanyetik kalkanlama değeri sırasıyla en yüksek 42.1 dB ve 32.2 dB ölçülüyor iken, en düşük elektromanyetik kalkanlama değeri aynı frekansta %10 karbon lif içeren dokunmamış kumaş yüzeyinde 15.6 dB olarak bulunmuştur. %30 ve %20 karbon lif içeren dokunmamış kumaşların 2100 MHz frekansına kadar elektromanyetik kalkanlama değerlerinin sürekli arttığı, 2100-2700 MHz frekans bant aralığında hafif bir düşüş ve 2700 MHz frekansta tekrar artış gösterdiği saptanmıştır. 15-2100 MHz frekans bant aralığında dokunmamış kumaştaki karbon lifi oranı arttıkça, yansıtma değerleri artar iken absorplama değerlerinin düştüğü saptanmıştır [59].

### **1.9.3. Karbon Lif İçeren Nonwoven Kumaşlarda Mikrodalga Absorplama Özelliklerinin İncelenmesi**

Karbon lif içeren dokusuz tekstil yüzeylerinin mikrodalagaları absorplama kapasitesinin PCF içeriğiyle yakından ilişkili olduğu saptanmıştır. Elektromanyetik parametrelerin değişmesi dokunmamış kumaşlardaki PCF içeriğiyle ilgili olduğu anlaşılmıştır. PCF ticari olarak düşük fiyatlarda elde edilebilir, üretim süreci basit ve ekonomiktir. PCF içeren dokunmamış kumaş üretim tekniğiyle üretilen kumaşlar mükemmel mikrodalga absorplama kapasitesine sahiptir ve hava şartlarına dayanımı çok iyidir, bu yüzden radar, kamuflaj, savunmaya yönelik olmayan uygulamaların elektromanyetik kalkanlanması gibi askeri uygulamalarda kullanılabileceği bu deneysel çalışmadan anlaşılmıştır [60].

### **1.9.4. İğneleme Tekniğiyle Üretilmiş Dokunmamış Kumaş Kalınlığının Elektromanyetik Kalkanlama Üzerine Etkileri**

İğneleme tekniği kullanılarak aynı metrekare ağırlığında, fakat farklı kalınlıklarda paslanmaz çelik liflerden üretilen dokunmamış kumaşların elektromanyetik kalkanlama özellikleri incelenmiştir. Paslanmaz çelik lifler, iğneleme ve tarak makinesi kullanılarak dokunmamış kumaşlar başarılı bir şekilde üretilmiştir. 15-3000 MHz frekans aralığında, iğneleme tekniğiyle üretilmiş dokunmamış kumaşların absorplama, yansıtma ve EMSE değerleri ölçülmüştür. Paslanmaz çelik liflerden iğneleme tekniği ile tek, çift ve üçkez iğnelemeyle üretilen dokunmamış kumaşların 2100-2400 frekans aralığında sırasıyla 22, 25 ve 27 dB EMSE değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. İğneleme tekniği ile üretilen kumaşların kalınlığı arttıkça EMSE değerlerinde artış gözlemlenmiştir. İğneleme tekniğiyle üretilmiş dokunmamış kumaşların kalınlığının EMSE değerleri için önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır. Özellikle 900 MHz GSM hücre telefon bantları için tek, çift ve üçkez iğnelemeli dokunmamış kumaşların EMSE değerlerinin sırasıyla 20, 17.5, ve 13.5 dB olduğu görülmüştür [61].

### **1.9.5. Gümüş Kaplı Poliamid Liflerden İğneleme Tekniğiyle Üretilen Nonwoven Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi**

1.7 dtex incelikte stapel iletken gümüş kaplı poliamid liflerden üretilen nonwoven kumaşların EMSE değerleri incelendi. Tarama, cross lapper ve iğneleyerek bağlama

makinesinden gelen otomatik nonwoven hattı kullanılarak nonwoven kumaş üretimi yürütüldü, nonwoven kumaşların yüzey direnci ve EMSE değerleri alındı. Düşük nonwoven kumaş ağırlığına rağmen, 1.7 dtex gümüş kaplı stapel poliamid liflerden iğneleme tekniği ile üretilen nonwoven kumaşlar yüksek EMI SE sonuçlar. Özellikle yüksek frekansta, bu düşük kumaş yoğunluğuna sahip nonwoven kumaşların harika EMSE değerleri gösterdiği gözlemlendi. Frekans arttırıldıkça iğneleme tekniğiyle üretilmiş nonwoven kumaşların EMSE değerlerinde sürekli olarak arttığı görüldü. 3000 MHz frekansta 1.7 dtex gümüşkaplı iğneleme teknikle üretilmiş nonwoven kumaşlar en yüksek EMSE sonuçlarını verdi. Frekans arttırıldıkça iğneleme tekniğiyle üretilmiş nonwoven kumaşların yansıtma değerlerinin aşamalı olarak düştüğü, absorplama değerlerinin arttığı görülmüştür. 300 MHz düşük frekans aralığında % 75.88 olarak enyüksek yansıtma değerleri bulunmuştur. 2400 MHz yüksek frekans aralığında % 71.84 olarak en yüksek absorplama değeri bulunmuştur [62].

#### **1.9.6. Farklı Ölçüm Teknikleriyle Çeşitli İletken Tekstillerin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliklerinin Kıyaslanması**

İstenmeyen elektromanyetik emisyonu hem saçılan hem de iletilen olmak üzere elektromanyetik karışma (EMI) durumu esasen elektrikseldir. Yapılan deneysel çalışmanın ana hedefi istenilen elektromanyetik kalkanlama etkinliğiyle (EMSE) iletken tekstil kompozitleri geliştirmektir. Termoplastik kompozitlerle güçlendirilmiş iletken kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliği incelendi. İletken karışım (RTCV) ipliğin hem dokuma, hemde örme sürecinde başarılı olarak üretilmesine imkan veren, dokuma ve örme süreçlerinde sürtünmeyi azaltmak ve dayanımı arttırmak için bakır tel ve paslanmaz çelik poliamid filamentlerle sarıldı. İstenilen elektromanyetik kalkanlama özelliklerine ulaşmak için (RTCY) karışım ipliklerle dokuma ve örme kumaşlar üretildi. Farklı ölçüm teknikleri ve test standartlarıyla bu deneysel çalışmada elektromanyetik kalkanlama etkisi değerlendirildi. İncelemeler üç farklı ortak eksenli iletim testi ATSM 4935, ASTM ES7 ile yürütüldü. Testlerde farklı cihazlar farklı dalga işlem modlarına sahiptir. Testteki farklı işlem modları arasındaki kıyası ifade etmeyi denemek ve çeşitli ölçüm sistemleri arasındaki farklılıkları karşılaştırmak için farklı test metodları ve test standartları ile elektromanyetik kalkanlama etkinliği değerlendirildi. Neyazıki ASTM ES7 1998 denberi kullanılabilirliğini yitiriyor ve son zamanlarda kalkanlama etkinliği

incelemelerinde nadiren kullanılıyor. Yapılan deneysel çalışmada ASTM ES7 için dikkatli bir şekilde numune hazırlandı ve iki farklı ASTM standartı arasındaki fark kıyaslandı. Bir dizi RCTY, dokuma, CWKF ve kompozitle güçlendirilmiş CWKF üretti ve bazıları elektromanyetik kalkanlamada etkiliydi. Ancak geçirgenliği ve iletkenliği iyi olan çeşitli materyellerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği için kompozit CWKF lerin geliştirilmesinde kullanılmasının bir ihtiyaç olduğu bu yapılan deneysel çalışmada anlaşılmıştır [63].

### **1.9.7. Farklı Oranlarda Taraklama ve İğneleme Tekniğiyle İletken Çelik Liflerden Üretilen Nonwoven Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi**

İğneleme makinesi ve teknolojileri kullanılarak paslanmaz çelik liflerle nonwoven kumaşlar başarılı bir şekilde üretildi, daha güvenilir sonuçlar üretmek için laboratuvar tipi makineler yerine bu çalışma geniş skala makinelerde yürütüldü. Nonwoven kumaşın maliyetini düşürmek için paslanmaz çelik lifler stapel polyester liflerle karıştırıldı. %0.5, %5, %10, %15, %20, %25 lik paslanmaz çelik lif içeren oranlarda üretim yapıldı. Absorplama, yansıtma ve EMSE değerleri ölçüldü ve grafiklerle sunuldu. Elektromanyetik kalkanlama etkinliğinde dokuma ve örme teknikle üretilen kumaşların nonwoven teknikle üretilen kumaşlarla kıyaslandığında nonwoven kumaşların avantajları gözardı edilemez. Nonwoven kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliği örme ve dokuma gibi geleneksel tekstil yapılarından çok farklıdır. Düşük ve orta frekansta gelen elektromanyetik dalgalar yüksek oranda yansıtılmasına rağmen, yüksek frekansta gelen elektromanyetik dalgalar materyel tarafından absorplandı. Paslanmaz çelik lif oranları arttıkça, düşük orta ve yüksek frekansta elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin ayrıca arttığı gözlemlendi. Daha yüksek frekans daha kısa dalgaboyudur, buyüzden nonwoven kumaşa gelen elektromanyetik dalga dik olarak ve dik açıda gelir. Sonuç olarak nonwoven kumaşa izotropik olarak yönlendirilmiş paslanmaz çelik liflerin daha etkili bir elektromanyetik kalkanlama yaptığı söylenebilir. %5 ve %0.5 paslanmaz çelik liflerle üretilen nonwoven kumaş haricinde düşük frekans aralığında (15-300 MHz) diğer kumaşların absorplama değeri düşmektedir, orta frekansta ise (300-1200 MHz) dalgalanan modda düşmektedir ve yüksek frekans band aralığında (1200-3000 MHz) tüm iğneleme tekniğiyle üretilen nonwoven kumaşların absorplama değeri artmaktadır [64].

### **1.9.8. Kontinü Karbon Lif Kullanılan Karbonmatriks ve Polimer Matriks Kompozitlerin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği**

0.3 MHz den 1.5 GHz e kadar frekans aralığında yüksek yansıtma, düşük yüzey direnci ve 124 dB kalkanlama etkinliğiyle kontinü karbonlifli karbon matriks kompozitler harika elektromanyetik karışma (EMI) özelliği olan materyel olduğu görüldü. Kontinü karbon lifli polimer matriks materyellerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği daha azdı ve kesikli dolgu maddeleriyle üretilen polimer matriks kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği dahada azaldığı görüldü. Konveksiyonel 7 mm çaplı kontinü karbon liflerinin katmanları arasına, kesikli 0.1 mm diameter karbon filamentlerinin eklenmesiyle kompozit malzemenin elektromanyetik kalkanlama değerinde düşme saptandı [65].

### **1.9.9. Koaksiyonel ve Free Space Ölçüm Tekniğiyle İletken Tek Jarse Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliklerinin Kıyaslanması**

Metal lifler iletken olsada, çok düşük nispi manyetik geçirgenliğe sahiptir. Ancak manyetik geçirgenlik yüksek olsada esas itibariyle bu tellerin kalkanlama performansını çok az değiştirecek çünkü iletkenlik ana faktör olarak kalmaktadır. Çift büküm ince iplik kullanımı iplik düzgünlüğünü geliştirir ve bu ayrıca örme işleminin boyuncu sürtünmelere karşı direnç gösterecek metal teli kaplar. Yatay pozisyonlu kumaşların free space ölçüm tekniği test sonuçları ve tek katmanlı kumaşların koaksiyonel ekipman test sonuçları farklı tip ve kalınlıkta metal telli jarse kumaşların istatistiksel olarak birbirleri arasında belirgin farklılıklar gösterdiğini saptamıştır. Her iki test metoduyla kalın metal tel içeren kumaşların ince tel içeren kumaşlardan daha iyi EMSE değerine sahip olduğu gözlemlendi. Koaksiyonel hat ekipmanı EMSE test sonuçlarında 50 um Cu telli jarse kumaşların, 50um SS tel kumaşlardan düşük frekansta daha yüksek EMSE değerine sahipken, yüksek frekansta daha düşük EMSE değerine sahiptir. Yüksek frekansta performe edilen free space ölçüm tekniği ayrıca 50 um SS'li kumaşların 50 um Cu telli kumaşlardan daha yüksek EMSE değerine sahip olduğunu ayrıca göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmada beklenildiği gibi, koaksiyonel hat ekipmanı EMSE değerlerinde birbirine paralel olan iki katmanlı kumaşların EMSE değeri (6.06 dB), tek katlı kumaşların (4.98 dB) EMSE değerlerinden daha yüksektir. Ayrıca birbirine dik olan iki katmanlı kumaşların EMSE değeri (15.41 dB) paralel olanlardan çok daha yüksektir. Hepsinden öte oksijenle reaksiyondan dolayı CU oksitlenme yapar bu SS telin uzun

ömürlü kullanımında daha ideal olduğu anlamına gelir. Metal telli kumaşlar bazı alerjik (kaşınma, yaralama) ve konfor problemlerine sebep olabilir ve bu çalışma laboratuvar şartlarında yürütüldüğü için kumaşların alerjik ve konfor problemleri ifade edilmemiştir bu yüzden daha detaylı çalışmaların yapılması önerilmiştir [66].

#### **1.9.10. Paslanmaz Çelik Kompozit Kumaşların Matematiksel Modeli ve Elektromagnetik Kalkanlama Etkinliği**

İnovatif bilezikli eğirme metodu ile paslanmaz çelik (SS) içeren filament ve kısa yeni türde lifler içeren kompozit iplikler üretildi. Elektromagnetik (EM) kalkanlama materyelinin kalkanlama mekanizmasının temelinde, EM kalkanlama karakteristlikli çok amaçlı SS kompozit kumaş üretmek için bir metod başarılı bir şekilde geliştirildi. 15-3000 MHz frekans aralığında radyant frekans, metal içeriği, metal karışım ölçüsü ve geometrisi gibi faktörlerin kompozit kumaşların üzerine elektromanyetik kalkanlama etkilerini incelemek için koaksiyonel iletim hattı kullanıldı. 15-3000 MHz frekans aralığında EMSE değerinin 20.76-51.92 dB olduğunu göstermektedir ve bu çalışma faktörlerinin etkisinin kayda değer olduğunu göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmada metal örgüdeki SS stapellerin artması ve azalmasıyla, ortalama EMSE eğrileri artan bir eğilim gösterdiği saptanmıştır [67].

#### **1.9.11. Paslanmaz Çelik/Bambu Karışımı İletken Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinlikleri ve İşlevleri**

Paslanmaz çelik teller ve bambu liflerle 6cm/büküm lü iletken iplik üretildi. 14-ayarlı(gauge) otomatik yuvarlak örme makinesinde karışım iplikler örülerek paslanmaz çelik/bambu iletken kumaş elde edildi ve elektriksel özellik ve işlevler test edildi. Deneysel test çalışmalarına göre iletken paslanmaz çelik lif içeriği ve kumaş katmanları arttıkça elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EMSE) artmaktadır. Bilhassa  $0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ} - 45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$  açılarda katlanıldığı zaman, 2010 ve 2445 MHz frekans aralığında kumaşlar 30 dB üzerinde EMSE değerine sahiptir. EMSE test sonuçlarına göre ikinci beslemenin devri arttıkça 0 dan 4 e kadar SS/BC iletken kumaşların EMSE değerleri düşüyor. 1-6 arasında katman sayısının artmasıyla SOB kumaşların EMSE değerleri hafifçe artıyor. SOB kumaşların katman sayısına bakmaksızın 2618 MHz de EMSE değeri 10 dB le ulaşıyor, bu farklılık belirgin değildir ve 6 katmanlı kumaşta  $0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ} - 45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ} -$

0°/90°/90°/0°/90°/0° katlama açılarıyla 2012 – 2318 MHz bant aralığında SOB kumaşların EMSE değeri 30 dB üzerine çıkıyor, bu frekans aralığında maksimum EM absorplama meydana geliyor. Ayrıca 0°/45°/90° - 45°/0°/45° katlama iletken kumaşların başarılı bir şekilde cep telefonundan gelen EM dalgaları kalkanladığını göstererek 900 MHz de 22.5 dB değere ulaşıyor, ikinci besleyicinin devir sayısının artmasıyla SS/BC iletken kumaşların uzak kızılötesi yayım kuvveti artmaktadır ancak SS/BC iletken kumaşların katman sayısı arttıkça kızıl ötesi yayım kuvveti azalıyor. Sonuç olarak SS/BC iletken kumaşlar EM dalgaları kalkanlayabilir ve elektromanyetik kalkanlama odalarında veya iletişim ve tıpta işçiler için elektromanyetik dalga kalkanlama kıyafetlerinde kullanılabilir. Bu kumaşlar ayrıca kızılötesi yayım kuvvetine sahiptir ve termal muhafaza, sağlık hizmetleri örtüleri ve koruyucu kıyafetlerde kullanılabilir [68].

#### **1.9.12. SS/PET Karışımli Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği**

Kumaşın karışım yoğunluğunun artmasından dolayı kumaşların EMSE değeri arttı ve tüm kumaşların EMSE piki 0.68 GHz frekansta meydana geldi, düşük frekans aralığında (0.5 GHz'e kadar) tüm kumaşlar tarafından elde edilen kalkanlama değeri yoktur. Atkı ipliklerdeki iletken lif oranı artarken, kumaşın EMSE değeri de artmaktadır. İletken iplik oranı arttığında, daha düşük aralıklarla ve dahada artmış kalkanlama etkinliğiyle sonuçlanarak kumaş çok daha iyi elektrik iletim ağı oluşturur. Ayrıca her iki yönde iletken ipliğe sahip olan kumaşın iletkenlik ve kalkanlama değeri arttıran iki yönlü iletim ağı oluşturduğu yapılan deneysel çalışmada gözlemlendi. Farklı iletken atkı iplik oranlarıyla oluşturulan, metal karışımların self-resonance piklerinden dolayı 1:1 atkı iplikli kumaş daha yüksek kalkanlama etkinliği gösterdi. Böyle oluncada istatistiksel analizlerle teyit edilen dokuma kumaşların kalkanlama davranışı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı düşünölmektedir. Çift iplikli SS/PET kumaş, tek iplikli SS/PET kumaştan daha iyi bir kalkanlama etkisine sahiptir. Ayrıca çok katmanlı kumaşlar daha iyi elektromanyetik kalkanlama etkisi göstermiştir ve yüksek frekans aralığında kalkanlamanın zorunlu olduğu yerlerde kullanılmıştır. Bu yapılan deneysel çalışmada 0,68 GHz frekansta maksimum paslanmaz içeriğiyle 53.04 dB en yüksek kalkanlama değeri alındı ve kumaş parametrelerinin kumaşın kalkanlama davranışını etkilediği saptandı. Bu yüzden SS/PET karışım iplikli iletken dokuma kumaşlar iyi kalkanlama

özelliikli elektronik sistemler için esnek kalkanlama amaçlı kullanılabileceği bu deneysel çalışmada açıklanmıştır [69].

### **1.9.13. Karbon Siyah\Sisal Poliamid\Polipropilen Kompozitlerinin Elektrik İletkenliği ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği**

Poliamid 6 (PA6)\polipropşlen(PP) karıştırılamaz polimer harmanların elektromagnetik karışma kalkanlama etkinliği ve karışım fillerinin elektrik iletkenliği üzerine etkisi araştırılmıştır. Siyah karbon (CB) ve (steam exploded) sisal lifler (SF) filler olarak kullanılmıştır. Siyah karbon, sisal liflerinin üzerine kaplanmıştır ve bu modifiye edilmiş sisal lifle siyah karbon oluşturmak için su buharına maruz bırakılarak olmuştur. CB\SF\PA6\PP kompozitler erime bileşimiyle hazırlandı ve düşük frekans, ortafrekans aralıklarda elektromagnetik SE test edildi. PA6\PP matriste sızmanın etkisini azaltmada CB'nin eşğinde SF'nin büyük ölçüde katkı sağladığı gözlemlenmiştir ve iletken ağ oluşturmak için karbon partikülleri yüzeyde tuttuğu gözlemlenmiştir. Dahası eniyi kalkanlama performansına ulaşmak için uygun CB\SF oranı önemliydi. Sonuç olarak CBMSF'nin elektronik iletken filler için uygun olduğunu ve CB\SF\PA6\PP kompozitlerin EMI kalkanlama amacıyla kullanılabileceğini gösterir. SF\CB kitle oranı 1:1 olduğunda, düşük frekans aralığında (900 MHz) 38 dB ve ortafrekans aralığında (16 GHz) 40.7 dB ve eniyi SE değerlerine ulaşıldı. Ayrıca morfolojik gözlem CBMSF'nin çok iletken iletim ağı oluşturduğunu ispat etti ve iletken bir SF'ye ulaşıldı. Son olarak düşük frekans aralığında (400 MHz'den 1GHz'e kadar) CB\SF\PA6\PP'nin SE değerlerini tahmin etmek için Schelkunoff teorisi kullanıldı. Bu sonuçlar CBMSF ile PA6\PP kaplamasının EMI kalkanlama materyelleri üretmek için düşük maliyetli olduğunu ve kompozitlerin sivil talep için potansiyel sergilediği bu deneysel çalışmada belirtilmiştir [70].

### **1.9.14. Dörtgen Hücreli Elektromanyetik Kalkanlama Kumaşın Elektromanyetik Etkinliğinin Tahmini Modeli**

Dörtgen hücreli elektromanyetik kalkanlama yapacak kumaş dizaynına ihtiyaç vardır. Ancak dikdörtgen hücreli EMS kumaşın kalkanlama etkinliğini tahmin etmede çok fazla iyi bir tahminde yoktur. Bu çalışma EMS kumaşın hücre kenarlarının üzerinde belli sayıda iletken liflerin gevşek bölgeleri var olduğunu ve dikdörtgen hücreli EMS kumaşın

tahmini modelini oluşturduğunu öne sürmektedir. İlk olarak dörtgen hücre modeli oluşturmak için iletken liflerin gevşek bölgeleri analiz edildi. Sonrasında normal bölgenin yayılım katsayısı, hücre bölgesi ve gevşek bölgenin yayılma sabitine göre dörtgen hücreli EMS kumaşın tahmini modeli anlaşıldı ve gevşek bölgenin belirli metodu verildi son olarakta uzmanlar tarafından tahmini model doğrulandı. Sonuçlar düz, diki ve saten örgülü EMS model kumaşların EMSE değerlerinin başarılı bir şekilde tahmin edilebildiğini ve frekans, kumaş yoğunluğu ve metal lif içeriği gibi faktörlerin model üzerinde etkiye sahip olduğunu gösterir. Öne sürülen model dörtgen hücreli EMS kumaşların makul bir diaynı için değerli bir referans sağlayabilir. Frekans değişimiyle (2.0 GHz – 2.6 GHz) yoğunluk ve metal lif içeriği değişimiyle tahmini modelin iyi uygulanabilirlik özelliğine sahip olduğu yapılan deneysel çalışmada açıklanmıştır [71].

#### **1.9.15. İnşaat materyellerinin kalkanlama etkinliği analizleri**

Elektromagnetik kaynaklı yoğun kullanımlı modern radyo elektronik cihazlar ayrıca etrafındaki sistemlerin fonksiyonlarının da etkileyerek elektromanyetik karışım problemlerine sebep olmaktadır. Bu elektromanyetik karışımın gelen kalkanlanmış odada çok hassas elektronik ekipman sağlamak gerekmektedir. Yapılan deneysel çalışmada CST-MWS kullanılarak inşaat materyellerinin kalkanlama etkinliği çalışıldı ve simüle edilmiş sonuçlar 2 GHz frekansa kadar bant aralığında sunuldu. İnceleme sonuçlarında bir yıldan daha fazla ve diğer inşaat materyelleriyle kıyaslandığında bir yıllık betona iyi bir kalkanlama performansı verilmesidir [72].

#### **1.9.16. Tekstil Yüzeylerinin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinlikleri Ölçümü İçin Tasarlanmış Test Aparatı**

Mevcutta bulunan (ASTM D 4935) in olumsuz yönlerini ortadan kaldırmak için yeni bir düzenek geliştirilmiştir. Üretilen hibrit kumaşlar geliştirilen test aparatı ile kalkanlama ölçümleri yapılmıştır. Geliştirilen test aparatı ile kalkanlama etkinliği ölçülen hibrid kuşlardan elde edilen sonuçlar mevcut konvensiyonel yöntemler elde edilen ile karşılaştırılmıştır. Ülkemiz de özel ve kamu kuruluşu olarak çeşitli yerlerde yankısız oda kullanılarak elektromanyetik kalkanlama ölçümleri yapılmaktadır. Bu yöntem kullanarak yapılan ölçümler çalışma yapan kişiler ve kuruluşlar için zaman ve maliyet hususunda büyük sıkıntılar oluşturmaktadır. Oluşan bu sorunlar dan dolayı küçük numune boyutları üzerinden ölçüm yapılabilen ASTM D 4935 yöntemini kullanılmak tercih edilmektedir.

Fakat bu yöntemin avantajları yanısıra olumsuz yönleride vardır. Yapılan bu çalışmada mevcut olarak kullanılan yöntemin olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için bir aparat geliştirilmiştir. Geliştirilen bu aparat ile 4.5 GHz e kadar ölçüm yapılabilmektedir. Bu aparat çeşitli yapılar ile elektromanyetik kalkanlama etkinliği elde etmek için çalışan kişilerin kullanımına uygun olacağı düşünülmektedir[73].

### **1.9.17. Pamuk\metal katlı hibrid iplikler içeren dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliği**

0-300 MHz gelen frekans aralığında tek ve çift katmanlı yapılarda elektromagnetik kalkanlama etkinliğini belirlemek için pamuk\bakır kaplı ve pamuk\paslanmaz çelik kaplı hibrid iplikler kullanılarak üretilen iletken kumaşlar test edildi. Bunlara ek olarak bu iletken dokuma kumaşlar, saf pamuk kumaşın altında test edildi. Sonuçlar bakır kaplama hibrid iplikler içeren kumaşların frekansın artmasıyla artan daha sonrasında zirve değere ulaşınca düşen EMSE değerleri sergilediğini gösredi. Diğer yandan paslanmaz çelik kaplı hibrid iplikler içeren kumaşların keskin pik vermediği bunun yerine daha hafif pikler verdiği gözlemlendi. Düz ve dimi dokuma kumaş örneklerinin EMSE değgerleri arasındaki farklılıklarının istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulundu. Daha geniş frekans aralığında bakır kaplamalı hibrid iplik içeren katmanlı kumaşlarla karıştırıldığında, paslanmaz çelik kaplı hibrid iplikler içeren katmanlı dokuma kumaşların daha iyi bir kalkanlama etkinliğinde sonuçlandı. Son olarak saf pamuk kumaşların altında iletken kumaşların kullanımının kalkanlama etkinliğini kesmediği bulundu ki buda özel koruma kapasiteleri gerektiren giysiler için katmanlı yapıların kullanımının düşünülmesi gerektiğine yol açtı. Bakır ve paslanmaz çelik teller içeren 2 katmanlı yapıdaki iletken kumaşlar sırasıyla 800 MHz ve 400 MHz üzerinde daha yüksek EMSE değeri sergilediler, hatta paslanmaz çelik kaplamalı hibrid iplikler içeren iletken kumaşlar tek katlı kumaşlarla karşılaştırıldığında daha yüksek pik verdiler. Hem 2 hemde 3 katmanlı iletken dokuma kumaş yapılarında farklı tip metal teller kulanarak sadece düşük frekansta daha yüksek EMSE değerleri verdiler. Saf pamuk kumaşı içermeyen katmanlı yapının davranışı, bir giyim materyeline uygulanıldığı zaman EMSE değerleri benzer davranış gösterdiğinde koruyucu kıyafetlerde bu yapıların kullanılabileceği anlaşıldı. Bu gibi koruyucu kıyafetler ön beden gebelik kıyafetlerinde veya kalp atış hızını ayarlayan aygıt taşıyan insanların giysilerinde kullanılabilir. Yüksek uzayabilirlik özelliğinde metal teller içeren hibrid iplikli kumaşların metal tel içeren kumaşların rahatsız edici algısını

nispeten bastıracağından sözetmek kaydadeğerdir. Bu deneysel çalışmayla, katmanlı yapıda kullanıldığında bu tip kumaşların görünüş ve davranışının gelecekteki çalışmalarda değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır [74].

### **1.9.18. Giyim İçin Kullanılan Tekstüre Çelik İplik Esaslı Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlanması**

Farklı dokuma tiplerinin EMSE karakteristikleri incelendi ve iplik düzenlemeleri değiştirildiğinde EMSE karakteristiklerinin değiştiği görüldü. 2\2 dimi, sıırım, barathca dokuma kumaşların ilk örnekleri ve 3\1 dimi, balıksırtı ve krep dokuma kumaşların tümü 10 dB ve 25 dB arasında olan 1800 MHz GSM ve 2400 MHz Wi-Fi frekansı bantlarında makul EMSE karakteristikleri gösterdiler. 1800 MHz frekans üzerinde, tüm örnekler 10 dB den daha büyük olan daha iyi EMSE değeri gösterdiler. Ortalama float uzunluk, geçmeli tarama katsayısı ve kumaş yapısını ve özelliklerini belirleyen float iplik düzenlemesi giyim kumaş örneklerinin EMSE değerleri üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. 2400 MHz’de 15dB’e kadar 3\1 dimi dokuma kumaşlar en iyi EMSE değerlerine sahiptir. İpliklerin simetrik olarak düzenlenmesi bant aralığının genişlemesine ve balıksırtı örgülü kumaşların SE değerinin 7 dB’e düşmesine yol açtı. Atkı ve çözgü ipliklerinin diyagonal olarak düzenlenen krep dokuma kumaşlar 1800 MHz frekans bandında 25 dB’e kadar en iyi EMSE değerleri verdi. 2\2 dimi, 3\1 dimi, whipcord, barethea ve krep kumaşların iplikleri diyagonal olarak düzenlendiği için yaklaşık olarak benzer EMSE karakteristikleri gösterdiler. Ancak balıksırtı örgülü kumaşlar dikey eksenli simetrik olarak düzenlenir ki bu durum 160 MHz yeni kalkanlama frekans bant aralığı ekleyerek 10 dB EMSE değeriyle sonuçlanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada atkı ipliği yoğunluğu azaldığında, EMSE değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlemlendi, EM dalgalarına karşı iletken iplikler arasında etkileşime yol açan iletken ipliğin diyagonal ve simetrik düzenlemelerinin EMSE değerini arttırdığı düşünülmektedir. Sonuç olarak bu kapsamlı deneysel çalışmada tekstüre çelik ipliklerle üretilen iletken dokuma kumaşların orta ve yüksek frekansta iyi EMSE değerlerine sahiptir, bu yüzden 1800 GSM, Wi-Fi, telsiz telefon ve bebek telsizlerinde EM kalkanlama materyeli olarak kullanılabilir. Ancak bu giyim dokuma kumaşların EM kalkanlama özellikleri 900 GSM ve 3G frekans bandında geliştirilmelidir. Ayrıca yukarıda söz edildiği gibi kanıtlama amacıyla

simülasyon amaçlı dokuma kumaşların EMSE değerleri için model üretmek gerekmektedir [75].

#### **1.9.19. Çok fonksiyonlu metal kompozit örme kumaşların üretimi ve incelenmesi**

Oyuk iğ iplik eğirme makinesi kullanılarak iki tip polyester, (CSP)\Antibakteriyel nylon (AN) paslamaz çelikle çok fonksiyonlu metal hibrid iplikler üretildi. Çekirdek iplik paslanmaz çelik teldir, AN filament iç sarım ipliği ve CSP dış sarım ipliği olarak kullanıldı. Ayrıca metal kompozit örme kumaşı üretmek için yuvarlak örme makinesi başarılı bir şekilde kullanıldı. Sonuçlar sarım sayısının emme davranışının ve kuruma kapasitesini etkilediğini gösterdi. Yapılan deneysel çalışmada, çeşitli katman açılı kumaşların EMSE ölçümleri paralel düzenlemelerden daha iyi EMSE sağladığını gösterdi. Yapılan deneysel çalışmada  $0^\circ/45^\circ/90^\circ-45^\circ/0^\circ/45^\circ$  katman açılı kumaşlarda düşük frekans aralığında (50-425 MHz) yaklaşık 20 dB'lik optimum EMSE değerlerine ulaşıldı. AATCC 90-2011 standartına göre staphylococcus ve escherichia coli bakterilerine karşı üretilen metal kompozit kumaşın antibakteriyel aktivitesi tatminkar sonuçlar verdi. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmadaki katmanlı kumaşlar hastanelerde koruyucu kıyafet olarak veya sağlıksız kapalı ortam havası olan çalışma çevrelerindeki insanları EM radyasyondan korumak için kullanılabileceği açıklanmıştır [76].

#### **1.9.20. Tekstillerin Elektromagnetik Kalkanlama Etkisini Değerlendirmek İçin Bir Yeni Metod ve Cihaz**

Elektromanyetik alan şiddetini azaltmak için elektromanyetik kalkanlama kabiliyetli tekstil yapıları geniş ölçüde kullanılmaktadır ve bu tekstil yapılarının işlevselliği elektromanyetik kalkanlama etkisinin direk ölçümüyle değerlendirilmektedir. Kalkanlama boyutuna ve ölçülen frekans aralığına bağlı olarak çeşitli metodlar kullanılmaktadır. Sadece küçük örneklerin olduğu özel materyeller için dizayn edilen bir hızlı test prosedürünün geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu makalede modifiye edilmiş kalkanlama metoduna bağlı olarak yeni uygun kalkanlama etkinliği ölçüm metodu sunulup, yeni cihazın test sonuçları anlatılmıştır. Öne sürülen metod başlıca nispeten küçük örnekler için dizayn edilmiştir. Önerilen metodun amacı mevcut ölçüm tekniklerinin yerini almak değildir. Yeni cihazın esas avantajı ve yöntem bilimi gereken küçük boyuttaki örneklere şekil vermek yada küçük boyutlarda örnek numune

hazırlamaya gerek olmayan, standart ölçüm teknikleriyle kıyaslandığında hızlı, ucuz ve basit olmasıdır. Kullanılabilirliğini ispatlamak için numunelerin elektromanyetik kalkanlama testleri ASTM D 4935-10 koaksiyonel yayılım hattı metoduyla kıyaslandı. Düşük ve orta derece elektrik iletkenliği ile öne sürülen metod ve karşılaştırma yapılan metod araştırıldı. Uygunluk, uygulama alanı, kısıtlamalar tartışmaya açıldı. Ölçüm sistemi açmak için spesifik boyutta dörtgen metal mikrodalgaları ileten cihazdır. Elektromanyetik dalga dışarıdan gönderiliyorken, cihaz içerisine alıcı anten yerleştirilmiştir. Nispeten büyük örnek boyutları, fikstür test örneğinin karmaşıklığı, idare zorluğu, test cihazı maliyetleri gibi günümüzde kullanılan standart test cihazlarının yetersizliklerinin aşılması için öne sürülen test cihazı dizayn edildi. Teorik olarak yeni test cihazı mikrodalga frekans bant aralığında çalışılmaktadır fakat deneysel olarak 1800 MHz frekansta test edildi. Özellikle kablosuz iletişim sistemleri gibi pek çok elektrikli cihazların çalışma frekansına yakın olduğu için bu frekans (1800 MHz) ilgi çekti. Öne sürülen metodun kullanılabilirliği elektrik iletkenliğinde farklı olan iki numude araştırıldı. Yansıtmanın çok olduğu iletkenliği çok yüksek örneklerde mikrodalga metodunun uygun olmadığı saptandı. Spesifik boyuttaki mikrodalga cihaz belli daha dar frekans aralığı için gereklidir. Hızlı test gerektiği, küçük numunelerin olduğu polimer materyellerin, özel kompozitlerin veya farklı tip tekstil yapılarının elektromanyetik kalkanlama testleri için öne sürülen metodun uygun olduğu açıklanmıştır [77].

#### **1.9.21. Elektroz Gümüş Kaplanan Cam Dikişli Kumaşlara Elektromagnetik Kalkanlama Uygulamaları**

Kompakt kumaşın EMI SE yi aldığı ve 300 MHz - 1.5 GHz frekans bandında 50 dB üzerinde bir EMI SE elde etmek için kritik altsınır yüzey direncine ihtiyaç duyulduğunu gösterdi. Sem analizleri kullanılarak örneklerin kaplama kalınlığının iletkenlik değerleriyle uyumlu olduğu gözlemlendi. Tollens ölçüsünde numuneler daldırılarak odasıcaklığında polimerik filmlerle kaplı cam yüzeylere tollens reaksiyonu uygulandı. Kompleks yapıya rağmen hiçbir zorlukla karşılaşılmadı. Gümüş nanopartiküller içeren bir iletken katman cam kumaş yüzeyi oluşturuldu. Uygulanan nanopartikül gümüşler %40-%80 hacimle elde edildi ve sonuç kalkanlama yüzeyine ek olarak makul bir iletkenlik derecesi elde etmek için yeterli bulundu. Güçlendirme potansiyeline ek ara katman olarak kompozit materyellerde kullanıldığında gümüş katlanan cam kumaşların seviyesi elektrik tahliyesinde bir ideal seçim olmuştur. Günlük yaşamda sivil

elektromanyetik kalkanlama uygulamaları için uygun olduğu anlamına gelen cam kumaş yapıların EMISE değerleri 14 dB ve 56 dB arasında değişti. Bu değerler gümüş nanopartikül kaplı cam dikişli ağır kumaşların akıllı tekstil uygulamalarına ek olarak askeri amaçlı elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında potansiyel bir aday olduğu deneysel çalışmada saptanmıştır [78].

### **1.9.22. Geri Dönüştürülmüş Tekstillerin ve Bakır Tellerin Tasalanmış Dokusuz Yüzeyleerin Elektromagnetik Kalkanlama Etkinlikleri**

Dokusuz tekstil yüzeyleerinin yalıtım uygulamaları 1990 lı yılların sonundan itibaren yapı sektöründe ve otomotiv sektöründe giderek artış göstermektedir. Ayrıca, geri dönüşüm ve lif atıkları günümüzde kaynakları etkin kullanımında dokusuz tekstiller için en önemli ham maddelerinden biri olmuştur. Diğer açıdan, metaller esneklik, hafiflik, ve elektromagnetik kalkanlama için düşük maliyetlerinden dolayı evlerin tasarımı için termoplastiklerin yerini almakta önemli bir artış göstermektedir. Bu çalışmada, biz geri dönüşüm ürünü olan tekstiller kullanılarak elektromagnetik dalgalara kalkan olmak için farklı yoğunlukta ve farklı uzunluklarda bakır teller kullanılarak panellerin tasarlamasını yaptık. Kullanılan bu yöntem çok basittir, malzeme daha ucuzdur ve en önemlisi üretimde kullanılan bütün malzemeler geri dönüşümü yapılmış malzemelerdir. Panellerin elektromagnetik kalkanlama etkinliklerinin ölçümü yapılmış ve sonuçların tartışılması yapılmıştır [79].

## BÖLÜM 2

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu tez çalışmasında, iletken özelliğe sahip dokusuz tekstil kumaşları üretmek için iletken lifler kullanılmıştır. İletken lifler ile poliester (PES) ve melt poliester lifleri tarak makinesinde karışım yapılarak tülbentler üretilmiştir. Üretilen tülbentler iğneleme makinesinde iğnelenmek suretiyle dokusuz tekstil yüzeyler üretilmiştir. Sıcak pres makinesinde sıcaklık ve basınç altında melt poliester eritmek suretiyle tabakalı kompozit yapıların üretimi yapılmıştır.

Üretimi gerçekleştirilen katmanlı kompozit yapıların yapısal ve mekanik özellikleri, ve elektromagnetik kalkanlama etkinliği ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

#### 2.2. DENEYSEL ÇALIŞMA

##### 2.2.1. Kullanılan İletken Lifler, Poliester (PES) ve Melt Poliester Elyafı

İletken lif olarak gümüş kaplı poliamid lifler kullanılmıştır. Gümüş kaplı poliamid lifler R-Stat SAS/FRANSA firmasından temin edilmiştir. Yalıtkan lif olarak geri kazanılmış poliester (PES) kullanılmıştır. Sıcak presleme neticesinde kompozit yapıları üretmek amacıyla melt poliester kullanılmıştır. Kullanılan liflerin özellikleri aşağıda tablo 2.1 ve tablo 2.2 de verilmektedir.



Şekil 2.1. Tarak Makinesi

**Tablo 2.1.** Geri Kazanılmış Poliester (PES) ve Melt Poliester Lif Özellikleri

Geri Kazanılmış Poliester (PES)		Melt Poliester	
Lif İnceliği (denye)	3	Lif İnceliği (denye)	4.58
Kesikli Lif Uzunluğu (mm)	51	Kesikli Lif Uzunluğu (mm)	51-52
Kıvrım Sayısı (Kıvrım/inch)	3.73	Kıvrım Sayısı (Kıvrım/inch)	8-9
Kopma Mukavemeti (gf/denye)	12-16	Kopma Mukavemeti (gf/denye)	3.61
Lif Çapı (mikron)	18-19	Lif Çapı (mikron)	24-26
		İç/Dış Oranı (%)	50/50
		Kopma Uzaması (%)	44.2

**Tablo 2.2.** Gümüş Kaplı Poliamid Lif Özellikleri

Lif İnceliği (dtex)	6.7
Kesikli Lif Uzunluğu (mm)	60
Lif Çapı (mikron)	26-27
Lif Kompozisyonu (Ag - wt%)	12-15

### 2.2.2. Dokusuz Kumaş Yüzeyi Üretimi

Lif tarama makinesinde ağırlıkça % 85 geri kazanılmış poliester ve %15 melt poliester ve % 85 gümüş kaplı poliamid ve ağırlıkça %15 melt poliester kullanılarak harmanlanan lifler taranarak tülbent elde edilmiştir (Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı). Üretilen bu tülbentler iğneleme makinesinde iğnelenerek dokusuz kumaşlar üretilmiştir (İTA İSTANBUL TEKSTİL ARAŞTIRMA GELİŞTİRME ve Eğitim A.Ş). Üretimlerin yapıldığı makine parametreleri aşağıda tablo 2.3 de verilmiştir.

**Tablo 2.3.** Makine Üretim Parametreleri

İğne Sayısı (Adet)	3200
İğne Tabla Genişliği (cm)	23x106
Giriş Hızı (m)	1.70
Çıkış Hızı (m)	2.63
Makine Devri (d/dak)	397
İğne Tipi	15x18x38x3.5x R-222-G3037



**Şekil 2.2.** Dokusuz Tekstil İğneleme Makinesi

### 2.2.3. Katmanlı Kompozit Yapı Üretimi

Üretimi yapılan dokusuz tekstil yüzeyleri katmanlı dizilerek Sıcak Pres makinesinde katmanlı kompozit yapı üretilmiştir (Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı). Sıcak pres makinesinde katmanların bir arada durmasını sağlayacak olan melt poliester eritilmiştir. Üretilen katmanlı yapıların kesit görünüşleri şekil 2.3 de gösterilmiştir. Sıcak pres makinesinin üretim parametreleri tablo 2.4 de gösterilmiştir.



**Şekil 2.3.** Sıcak Pres Makinesi

**Tablo 2.4.** Sıcak Pres Makinesi Çalışma Parametreleri

	Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	Süre (Saniye)
I. Deney Seti	140	110	240
II. Deney Seti	140	110	120

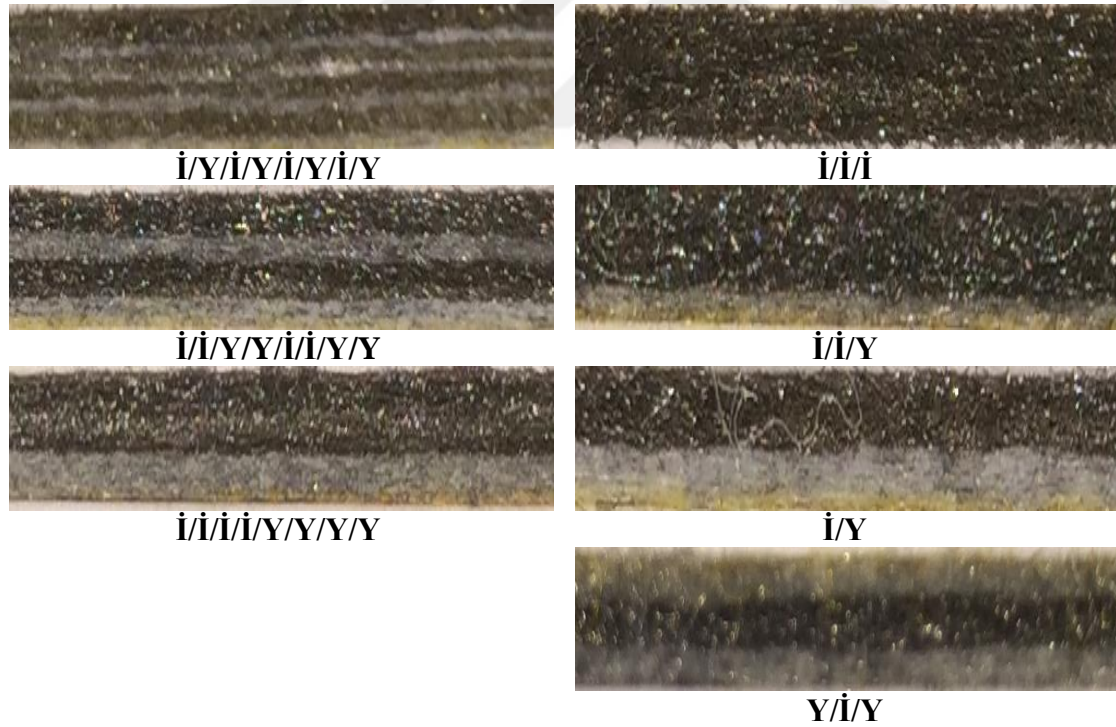
**Tablo 2.5.** Üretilen Katmanlı Kompozit Yapıların Özellikleri

I. Deney Seti			
Numune Kodu	Katman Sayısı (adet)	Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)
İ/Y/İ/Y/İ/Y/İ/Y	8	1521.34	5.17
İ/İ/Y/Y/İ/İ/Y/Y	8	1519.20	5.25
İ/İ/İ/İ/Y/Y/Y/Y	8	1574.07	4.66

II. Deney Seti			
Numune Kodu	Katman Sayısı (adet)	Gramaj (g/m <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)
Y/Y/Y	3	547.84	2.26
İ/İ/İ	3	652.73	2.83
İ/İ/Y	3	626.86	2.46
İ/Y	2	643.71	3.16
Y/İ/Y	3	565.16	2.07

İ: İletken katman, Y: Yalıtkan katman

**Şekil 2.4.** Üretilen Katmanlı Kompozit Yapıların Kesit Görünüşleri

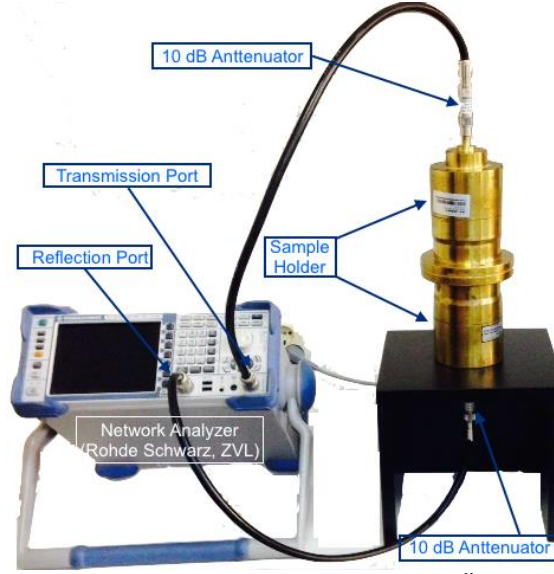
## 2.3. KALKANLAMA ETKİNLİĞİ (EMKE) ve SOĞURMA-YANSITMA MİKTARLARI ÖLÇÜMLERİ

### 2.3.1. Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMKE)

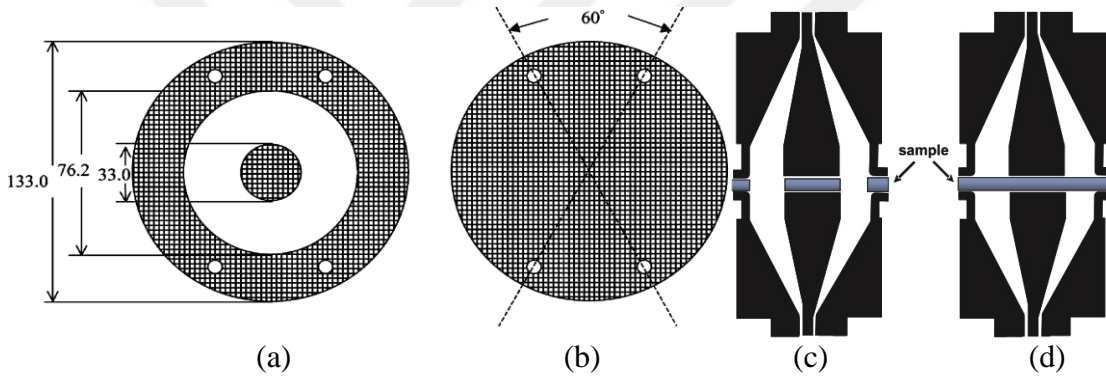
Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümü için deney seti kurulmuştur. Deney düzeneği elektromanyetik dalga üreten Rodhe Schwarz ZVL marka Network analizör ve Electro-Metrics firmasının ürettiği EM-2107A model numune tutucudan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar için üretilmiş olan kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümleri ASTM D4935-10 numaralı standarda göre yapılmıştır. Standart da tarif edildiğine göre ölçüm işleminin yapılması için katmanlı kompozit yapılar üzerinden numune kesimi yapılmıştır. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümünü yapmak için cihaz üzerinden S12 veya S21 (kalkanlama etkinlik seçeneği) ayarlarından biri cihaz üzerinde ayarlanarak ölçüm yapılmıştır. Her bir katmanlı kompozit yapılar üzerinden 5 adet ölçüm numunesi alınarak ölçüm yapılmıştır. Katmanlı kompozit yapılar üzerinden referans ve yük numunesi olmak üzere her ölçüm için iki tane numune kesilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümü 15-3000MHz frekans aralığında yapılmıştır. Alınan referans ve yük numunesi üzerinden ölçümler yapılır. Referans ve yük numunesi ölçüm değerleri birbirlerinden çıkarılmak sureti elektromanyetik kalkanlama etkinliği (dB) olarak hesaplanır. Kalkanlama etkinliği denklem (2.1) temel esas alınarak hesaplanmaktadır [80,81].

$$EMSE = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (2.1)$$

Formüldeki P1 (watt) yük numunesi var olduğunda iletilen güç ve P2 (watt) ise referans numune olduğundaki iletilen güç miktarıdır. Cihaz üzerinde ölçüm yapım esnasında uygulanan güç miktarı maksimum 0dB olarak ayarlanmıştır [9, 82].



Şekil 2.5. Elektromanyetik Kalkanlama Etkinlik Ölçüm Test Düzeneği



Şekil 2.6. (a) Referans numunesi (b) Yükleme numunesi (c) Referans numunesinin kumaş tutucudaki görünüşü (d) Yük numunesinin kumaş tutucudaki görünüşü (ölçek: mm) [83-85].

### 2.3.2. Soğurma-Yansıma Miktarları Ölçümleri

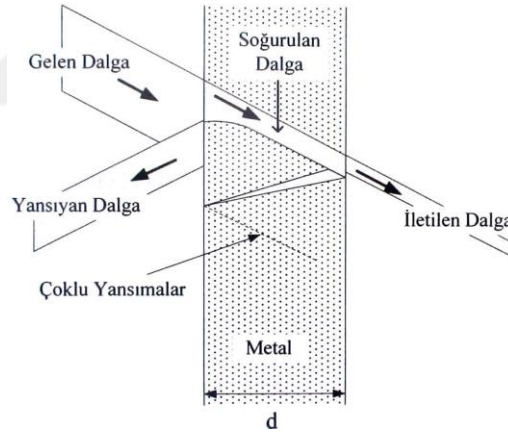
Elektromanyetik kalkanlama şekil 2.7 deki gibi bir mekanizmanın olması sonucunda olmaktadır. Elektromanyetik dalga iletken malzeme üzerine geldiği zaman bir miktarı geri yansımakta, bir miktarı soğurulmakta ve geri kalan kısımda geçirilmektedir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliğini ölçmüş olduğumuz test düzeneğinde kullanmış olduğumuz elektromanyetik dalga üretici kaynak üzerinden üzerinden S11 veya S22 (geri yansıma seçeneği) ayalarından biri cihaz üzerinde ayarlanarak ölçüm yapılmıştır. Geri yansıma miktarının ölçümü yapılır iken cihazdan alınan veri çıktı birimi linear-mag

olarak alınmakta (alınan sonuçlar güç olarak alınmakta), dalga üretici cihazımızın çıkış gücü 1 watt' tır. Elde edilen sonuçlar cihazın üretmiş olduğu güce orantılanmaktadır.  $R_e$  geri yansıma miktarı,  $A_b$  soğurma miktarını ve  $T_r$  geçirme miktarını ifade etmektedir.  $T_r$  geçirme miktarı kalkanlama etkinliği denklem (2.4) de kullanılarak hesaplanır.  $R_e$  geri yansıma miktarı cihaz üzerinden yapılan ölçümlerden elde edilen geri yansıma ölçüm sonuçları denklem (2.3) de kullanılarak hesaplanır. Hesaplanan  $R_e$  ve  $T_r$  değerleri denklem (2.2) kullanılarak  $A_b$  soğurma miktarı hesaplanmaktadır. Geri yansıma ve soğurma miktarları katsayı olarak elde edilir [82,86].

$$A_b = 1 - T_r - R_e \quad (2.2)$$

$$R_e = \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2 = |S_{11}(\text{or } S_{22})|^2 \quad (2.3)$$

$$T_r = \left| \frac{E_t}{E_i} \right|^2 = |S_{21}(\text{or } S_{12})|^2 \quad (2.4)$$



**Şekil 2.7.** Elektromagnetik Kalkanlama Mekanizmasının Şematik Olarak Gösterimi [87].

### 2.3.3. Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Miktarlarının Değerlendirilmesi

Testler sonucunda elde edilen kalkanlama miktarları Tayland Tekstil Enstitüsü tarafından oluşturulan FTTS-FA-003 numaralı standart a göre tablo 2.6 deki gibi değerlendirmeye tabi tutulmuştur [88].

**Tablo 2.6.** Genel Kullanım için Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Değerlendirme Cetveli [88].

Sınıflandırma Türü	Grade	Kalkanlama Etkinliği (dB)	Sınıf	Kalkanlama Miktarı (%)
Sınıf I Profesyonel	AAAAA	SE>60 dB	Mükemmel	ES >99.9999%
	AAAA	60 dB_SE>50 dB	Çok İyi	99.9999%_ES>99.999%
	AAA	50 dB_SE>40 dB	İyi	99.999%_ES>99.99%
	AA	40 dB_SE>30	Orta	99.99%_ES>99.9%
	A	30 dB_SE>20	Zayıf	99.9%_ES>99.0%
Sınıf I Genel Kullanım	AAAAA	SE >30 dB	Mükemmel	ES>99.9%
	AAAA	30 dB_SE>20 dB	Çok İyi	99.9%_ES>99.0%
	AAA	20 dB_SE>10 dB	İyi	99.0%_ES>90%
	AA	10 dB_SE>7 dB	Orta	90%_ES>80%
	A	7dB_SE>5 dB	Zayıf	80%_ES>70%

SE: Kalkanlama Etkinliği (dB), ES: Kalkanlama Etkinliği Miktarı (%)

## 2.4. KATMANLI KOMPOZİT YAPILARIN YAPISAL ANALİZ TESTLERİ

### 2.4.1. Kopma Mukavemeti Testi

Katmanlı kompozit yapıların mukavemet testi ASTM D5035-06 numaralı standartta belirtildiği gibi şerit yöntemine göre Instron 4411 model test cihazında yapılmıştır. Kopma mukavemeti ve kopma uzama değerleri tespit edilmiştir. Test numuneleri 50x175mm boyutlarında hazırlanmıştır. Cihazda test uzunluğu 75 mm'ye ayarlanmıştır. Test hızı standartta belirttiği gibi 300 mm/min olarak seçilmiştir. Üretim yönünde alınan 5 adet numune tekrarlanarak yapılmıştır.



**Şekil 2.8.** Instron 4411 Mukavemet Test Cihazı

#### 2.4.2. Kalınlık Testi

Katmanlı kompozit yapıların kalınlık testi TS EN ISO 9073-2 numaralı standart kapsamında, James H.Heal&Co.Ltd. Halifax England tarafından üretilen R&B test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.9. Kalınlık Ölçüm Test Cihazı

#### 2.4.3. İletkenlik Ölçümü

İletkenlik ölçümleri iki farklı yöntem kullanılarak yapılmaktadır.

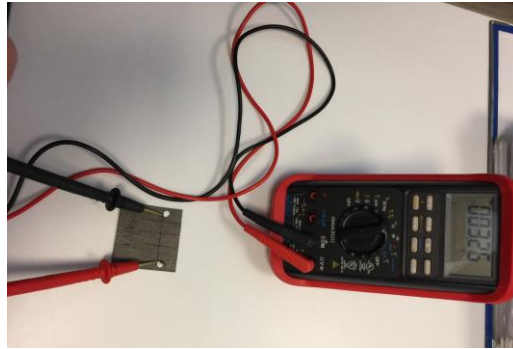
- 1) Dört uç tekniği
- 2) İki uç tekniği

Tez çalışmamız da iki uç tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte kullanılan elektrotlar arası mesafe ve numune boyutları önemlidir.

$$R_s = R \times L/A$$

$$S = L/R_s$$

Burada, R ohm cm cinsinden numunenin spesifik direnci, L numune üzerine sabitlenen iki elektrotun arasındaki uzaklık, A numune kalınlığı, S ise  $\text{ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$  cinsinden iletkenliği göstermektedir.



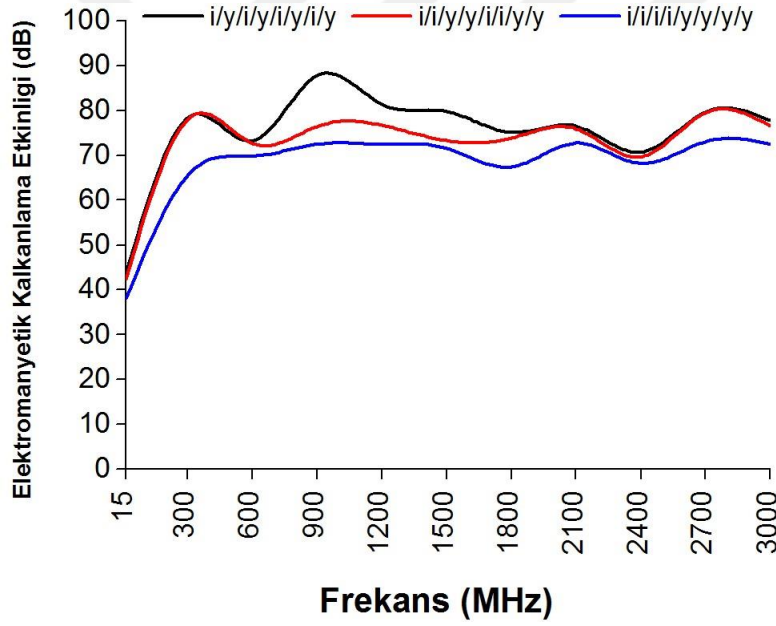
Şekil 2.10. İki Uç Tekniğiyle İletkenlik Ölçümü

## BÖLÜM 3

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. KATMANLI KOMPOZİT YAPILARIN KALKANLAMA ETKİNLİĞİ (EMKE) ve SOĞURMA- GERİ YANSITMA MİKTARLARI

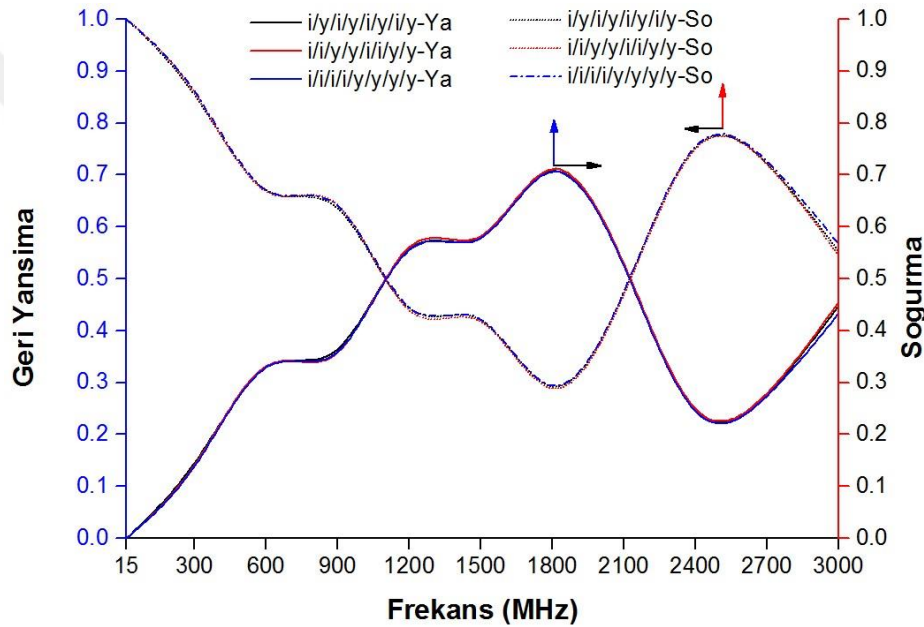
Üretilen katmanlı kompozit yapıları oluşturan katman sayısının ve katmanların dizilişinin elektromanyetik dalga kalkanlama etkinliği üzerine etkilerinin nasıl olduğu ve meydana gelen kalkanlamayı oluşturan geri yansıtma-soğurma miktarları üzerine etkileri hususundaki kıyaslamalar grafikler halinde verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Sekiz Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMKE) Üzerine Etkileri

Şekil 3.1. deki grafik incelendiğinde katmanlı kompozit yapıların üçünün Elektromanyetik kalkanlama etkinliği 15-300 MHz frekans aralığında kesintisiz yükselme göstermektedir. 300-3000 MHz frekans aralığında, katmanlı kompozit yapıların üçünün Elektromanyetik kalkanlama etkinliği azalıp artmaktadır. Peş peşe dört adet iletken-dört adet yalıtkan tabakadan oluşan kompozit yapı diğer katmanlı kompozit yapılar ile kıyaslandığında, 15-3000 MHz frekans aralığında daha yüksek Elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermektedir. Bir adet iletken-bir adet yalıtkan

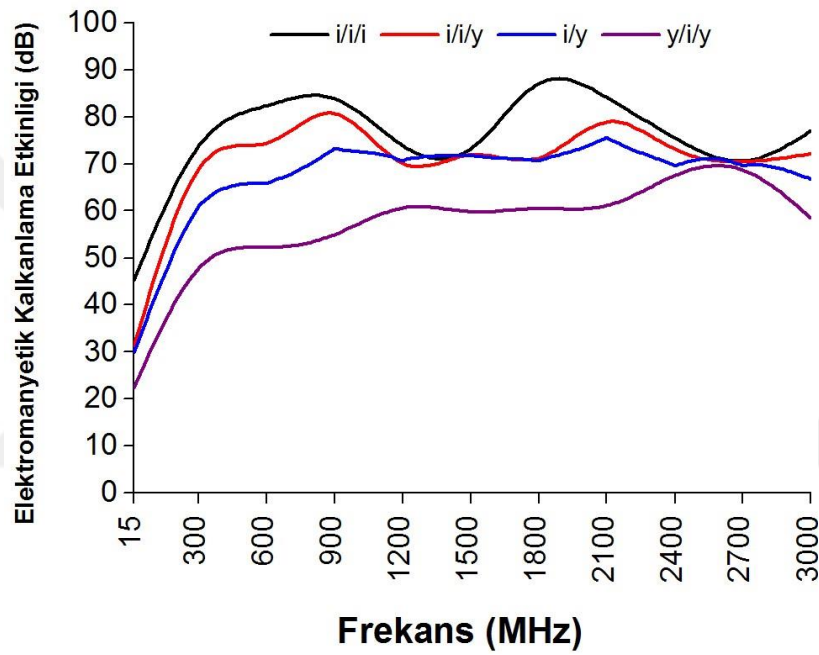
tabakadan oluşan ve iki adet iletken – iki adet yalıtkan tabakana oluşan kompozit yapılar 15-600 MHz ve 1800-3000 MHz frekans aralığında benzer Elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermektedir. 600-1800 MHz frekan aralığındaki Elektromanyetik kalkanlama etkinliği incelendiğinde; bir adet iletken-bir adet yalıtkan, iki adet iletken-iki adet yalıtkan ve peş peşe dört adet iletken-dört adet yalıtkan katlı kompozitlerin Elektromanyetik kalkanlama etkinliği miktarları sıralamadaki gibidir. Bir adet iletken-bir adet yalıtkan katmanlı kompozit yapı en yüksek Elektromanyetik kalkanlama etkinliği miktarları olan 90 dB li 900 MHz frekansında elde edilmiştir.



**Şekil 3.2.** Sekiz Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Geri Yansıtma-Soğurma Miktarları Üzerine Etkileri

Şekil 3.2 deki grafikler incelendiğinde katmanlı kompozit yapıların üçünün geri yansıtma ve soğurma miktarları 15-3000 MHz frekans aralığında değişkenlik göstermektedir. Bir adet iletken-bir adet yalıtkan, iki adet iletken-iki adet yalıtkan ve peş peşe dört adet iletken-dört adet yalıtkan katlı kompozitlerin geri yansıtma ve soğurma miktarlarının bir birlerinden farklılaşmadığı görülmektedir. 15-1200 MHz frekans aralığında katmanlı kompozit yapıların üçünün geri yansıtma miktarları artarken soğurma miktarları azalmaktadır, ve bu frekans aralığında soğurma miktarı geri yansıtma miktarından daha fazladır. 1200-2100 MHz frekans aralığında 1800 MHz e kadar katmanlı kompozit yapıların üçünün geri yansıtma miktarları artarken soğurma miktarları azalmaktadır,

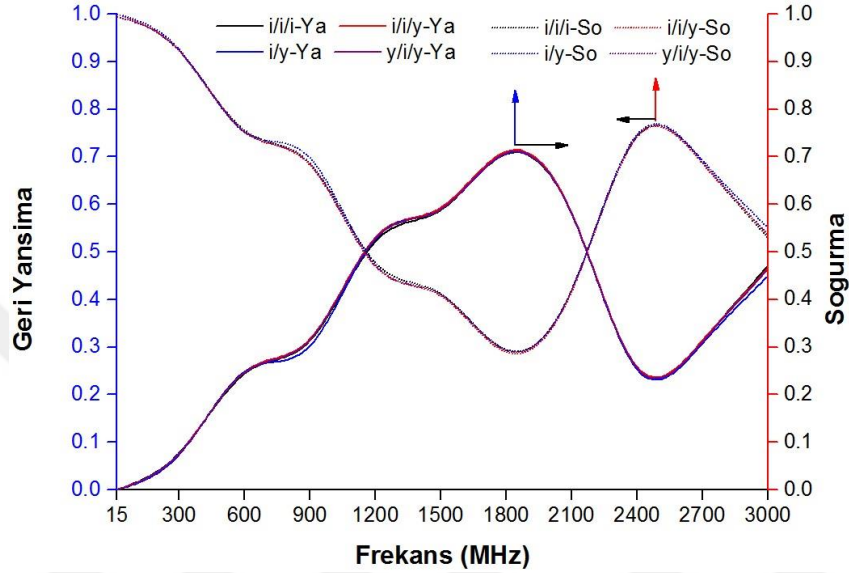
1800 MHz den sonra katmanlı kompozit yapıların üçünün geri yansıtma miktarları azalır iken soğurma miktarları artmaktadır. 1200-2100 MHz frekans aralığında geri yansıtma miktarı soğurma miktarından daha fazladır. 2100-3000 MHz frekans aralığında 2400 MHz e kadar katmanlı kompozit yapıların üçünün geri yansıtma miktarları azalır iken soğurma miktarları artmaktadır, 2400 MHz den sonra katmanlı kompozit yapıların üçünün geri yansıtma miktarları artar iken soğurma miktarları azalmaktadır. 2100-3000 MHz frekans aralığında geri yansıtma miktarı soğurma miktarından daha azdır.



**Şekil 3.3.** Üç Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMKE) Üzerine Etkileri

Şekil 3.3. deki grafik incelendiğinde katmanlı kompozit yapıların dördünün Elektromanyetik kalkanlama etkinliği 15-900 MHz frekans aralığında kesintisiz yükselme göstermektedir. 300-3000 MHz frekans aralığında, katmanlı kompozit yapıların dördünün Elektromanyetik kalkanlama etkinliği azalıp artmaktadır. Peş peşe üç adet iletken tabakadan oluşan kompozit yapı diğer katmanlı kompozit yapılar ile kıyaslandığında, 15-3000 MHz frekans aralığında daha yüksek Elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermektedir. Bir adet yalıtkan-bir adet iletken-bir adet yalıtkan tabakadan oluşan kompozit yapı diğer katmanlı kompozit yapılar ile kıyaslandığında, 15-

3000 MHz frekans aralığında daha düşük Elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermektedir. Bir adet yalıtkan-bir adet iletken-bir adet yalıtkan tabakadan oluşan kompozit yapı en yüksek Elektromanyetik kalkanlama etkinliği miktarları olan 90 dB li 1800 MHz frekansında elde edilmiştir.



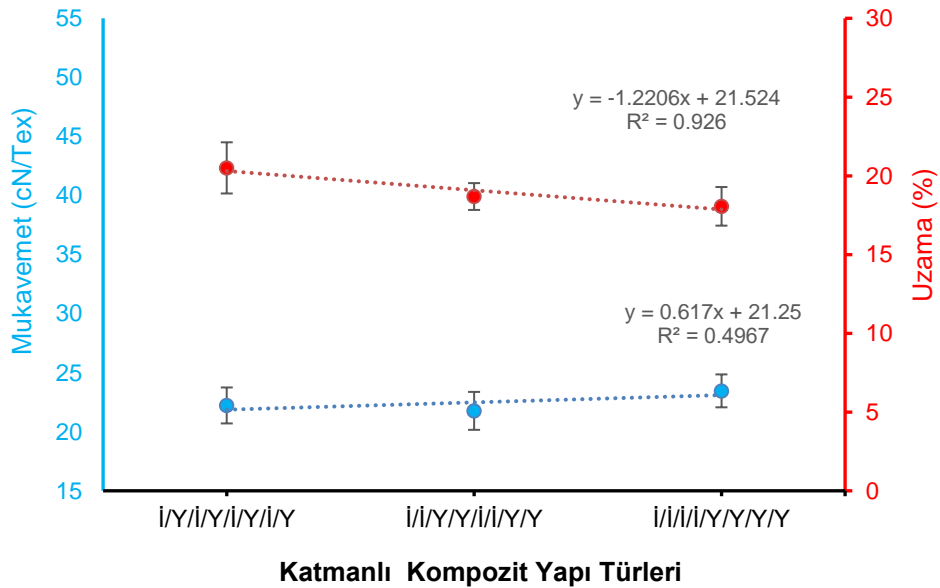
**Şekil 3.4.** Üç Katmanlı Kompozit Yapılar da Katman Diziliminin Geri Yansıtma-Soğurma Miktarları Üzerine Etkileri

Şekil 3.4 deki grafikler incelendiğinde katmanlı kompozit yapıların dördünün Geri Yansıtma ve Soğurma miktarları 15-3000 MHz frekans aralığında değişiklik göstermektedir. Peş peşe üç adet iletken, iki adet iletken-bir adet yalıtkan, bir adet iletken-bir adet yalıtkan ve bir adet yalıtkan-bir adet iletken-bir adet yalıtkan katmanlı kompozitlerin Geri Yansıtma ve Soğurma miktarlarının bir birlerinden farklılaşmadığı görülmektedir. 15-1200 MHz frekans aralığında katmanlı kompozit yapıların dördünün Geri Yansıtma miktarları artarken Soğurma miktarları azalmaktadır, ve bu frekans aralığında Soğurma miktarı Geri Yansıtma miktarından daha fazladır. 1200-2100 MHz frekans aralığında 1800 MHz e kadar katmanlı kompozit yapıların dördünün Geri Yansıtma miktarları artarken Soğurma miktarları azalmaktadır, 1800 MHz den sonra katmanlı kompozit yapıların dördünün Geri Yansıtma miktarları azalırken Soğurma miktarları artmaktadır. 1200-2100 MHz frekans aralığında Geri Yansıtma miktarı Soğurma miktarından daha fazladır. 2100-3000 MHz frekans aralığında 2400 MHz e kadar katmanlı kompozit yapıların dördünün Geri Yansıtma miktarları azalırken Soğurma

miktarları artmaktadır, 2400 MHz den sonra katmanlı kompozit yapıların dördünün geri yansıma miktarları artar iken soğurma miktarları azalmaktadır. 2100-3000 MHz frekans aralığında geri yansıtma miktarı soğurma miktarından daha azdır.

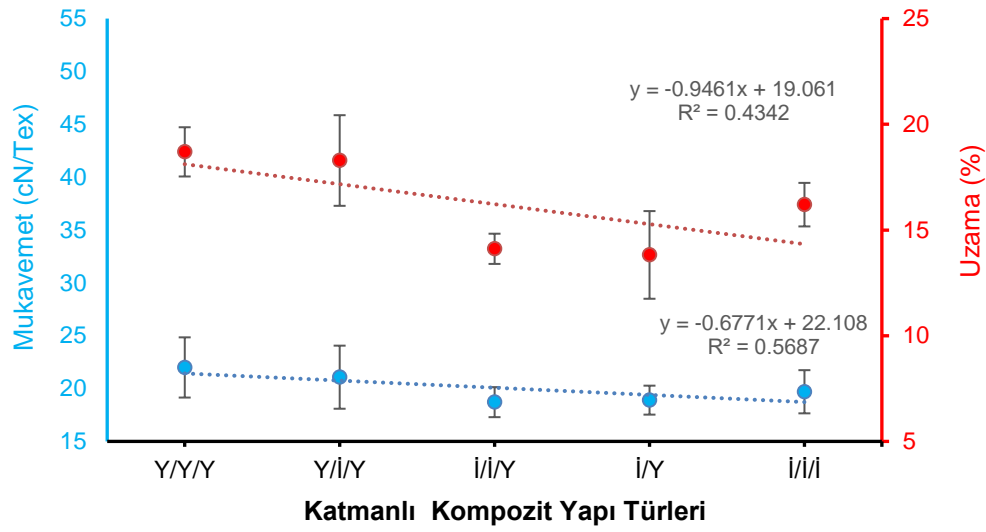
### 3.2. KATMANLI KOMPOZİT YAPILARIN KOPMA MUKAVEMETLERİ

Üretilen katmanlı kompozit yapıları oluşturan katman sayısının ve katmanların dizilişinin mukavemetleri üzerine etkilerinin nasıl olduğu hususundaki kıyaslamalar grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 3.5. Sekiz Katmanlı Kompozit Yapıların Mukavemet ve Uzama Performansları

Şekil 3.5 deki grafikler incelendiğinde iletken-yalıtkan kademeli olarak dizilen kompozit yapıların mukavemetleri diğerlerine göre daha düşük kalmaktadır. Katmanlı kompozit yapılar uzama performansları açısından kıyaslandığında iletken-yalıtkan kademeli olarak dizilen kompozit yapıların uzamaları diğerlerine göre daha yüksektir.



**Şekil 3.6.** Üç Katmanlı Kompozit Yapıların Mukavemet ve Uzama Performansları

Şekil 3.6'daki grafikler incelendiğinde yalıtkan katmanlardan oluşan kompozit yapının mukavemeti ve uzaması diğerlerine göre daha yüksektir. Katman dizilişleri farklılığı açısından bakıldığında; mukavemet ve uzama miktarlarının katmanların değişimi ile anlamlı bir ilişkisi olmadığı görülmektedir.

### 3.3. KATMANLI KOMPOZİT YAPILARIN İLETKENLİKLERİ

Tez çalışmamızda iki uç tekniği kullanılmıştır. Ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlar tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Katmanlı Kompozit Yapıların İletkenlik Değerleri

I. Deney Seti	
Numune Kodu	İletkenlik (S/cm)
i/Y/i/Y/i/Y/i/Y	0.420
i/i/Y/Y/i/i/Y/Y	0.359
i/i/i/Y/Y/Y/Y	0.298
II. Deney Seti	
Numune Kodu	İletkenlik (S/cm)
i/i/i	0.248
i/i/Y	0.215
i/Y	0.229
Y/i/Y	0.116

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara göre iletken lif kullanılması ile iletken özelliğe sahip katmanlı kompozit yapılar üretilmiştir. Elde edilen sonuçların kıyaslanmasından sonra; Farklı katman sayısı ve katman dizilimi göz önüne alınmadan yapılan değerlendirmede; üretilen katmanlı kompozit yapılar 15-3000 MHz frekans aralığında frekans artmasıyla Elektromanyetik kalkanlama etkinliği miktarı artmaktadır. Sekiz katmanlı kompozit yapılarda katmanların dizilim sıralaması göz önüne alındığında; 15-3000 MHz frekans aralığında bir adet iletken-bir adet yalıtkan katmanların olduğu katmanlı kompozit yapı diğerlerine göre çok fazla olmamakla beraber daha yüksek Elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermektedir. Sekiz katmanlı kompozit yapıların göstermiş olduğu Elektromanyetik kalkanlama etkinliği 15-3000 MHz frekans aralığında ortalama olarak 70 dB civarındadır ki, bu da yüzde olarak %99.99 luk bir kalkanlama demektir. Böyle bir netice alınmasına nedeni olarak; birim alana düşen iletken malzeme miktarı aynı olmasına rağmen iletken katmanların aralarındaki mesafedir.

Üç katmanlı kompozit yapılarda katmanların dizilim sıralaması göz önüne alındığında; 15-3000 MHz frekans aralığında üç adet iletken katmanların olduğu katmanlı kompozit yapı diğerlerine göre daha yüksek Elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermektedir. Üç katmanlı kompozit yapıların göstermiş olduğu Elektromanyetik kalkanlama etkinliği 15-3000 MHz frekans aralığında ortalama olarak 60 dB civarındadır ki, bu da yüzde olarak %99.99 luk bir kalkanlama demektir. Böyle bir netice alınmasına nedeni olarak; birim alana düşen iletken malzeme miktarının değişmesi ve iletken katmanın yalıtkan katman tarafından izole edilmesidir.

## KAYNAKLAR

- 1) <http://www.faq.s.org/periodicals/201004/2069554971.html> (10.11.2015)
- 2) Das, N. C., Khashtgir, D., Chaki, T. K., Chakraborty, A. (2002) Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Hybrid Conductive Polymer Composite. *Journal of Elastomers and Plastics*, 34, 199-223.
- 3) Yağmur, F., Bozbıyık, A., Hancı, İ. H. (2003) Elektromanyetik Dalgaların İnsan Biyokimyası Üzerine Etkileri. *Sted Dergisi*, 12, 296-297.
- 4) Bold, A.; Toros, H.; Şen, O. (2003) Manyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi. III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- 5) [www.astat.com.pl/download.php?file](http://www.astat.com.pl/download.php?file) (10.09.2015)
- 6) Orhun, Ö., Tanışlı, M. (1998) Elektromagnetik Dalgalar Fizik Fasikül 2 11.Bölüm, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, Türkiye.
- 7) Şeker, S.Ş., Çerezci O. (1994) Elektromagnetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, Türkiye.
- 8) Özkan, T. (1987) Mikro Dalga, Milli Eğitim Bakanlığı Devlet Kitapları, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara, Türkiye.
- 9) [http://www.die.unipd.it/files/Desideri\\_Lecture\\_2011\\_07\\_06\\_en.pdf](http://www.die.unipd.it/files/Desideri_Lecture_2011_07_06_en.pdf) (10.10.2015)
- 10) Dursun, E. (2006) Elektrik Sistemlerinde Elektromanyetik Uyum. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- 11) Can, M. (2008) Metal Filament Takviyeli Çekirdek İpliklerden Üretilmiş Kumaşların Mekanik ve Elektromagnetik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- 12) Morrison, R. (2007) *Grounding and Shielding*, Wiley-Interscience IEEE, ISBN 978-0-470-09772-4, USA. (095)
- 13) Xiaoyu, Z., Bokun, S. (2011) Research on Electromagnetic Shielding Efficacy of Knitting Clothing. *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, 26 -30 Jul, Heilongjiang, China.
- 14) Karaoğlu, E. Ö., Sarier, N., Okur, A. Nanokompozit Yapılı Çok İşlevli Teknik Tekstillerin Tasarımı ve Geliştirilmesi. Tübitak Projesi, 107M126, 2011.
- 15) Shyr, T. W., Shei, J. W. (2012) Electromagnetic shielding mechanisms using soft magnetic stainless steel fiber enabled polyester textiles. *Journal of Magnetism and*

- Magnetic Materials, 324, 4126-4132.
- 16) Hebeish, A. A., El-Gamal, M. A., Said, T. S., Abd El-Hady, R. A. M. (2010) Major Factors Affecting the Performance of ESD Protective Fabrics. Journal of The Textile Institute, 101(5), 389-398.
  - 17) Engin, F.Z. (2011) Polianilin Poliester (Panı/Pes) Ve Polianilin Poliamid (Panı/Pa) Kompozit Kumaşlarının Oluşturulması Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliklerinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
  - 18) <http://www.geocities.ws/gtureci/elektro.html> (15.01.2015)
  - 19) [http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik\\_spektrum.pdf](http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.pdf) (14.01.2015)
  - 20) [http://www.kuantumevreni.com/FileUpload/ks88721/File/em\\_tayf.doc](http://www.kuantumevreni.com/FileUpload/ks88721/File/em_tayf.doc) (15.01.2015)
  - 21) Rajendrakumar, K., Thilagavathi, G. (2012) A study on the effect of construction parameters of metallic wire/core spun yarn based knitted fabrics on electromagnetic shielding. Journal of Industrial Textiles, 39, 1-17.
  - 22) Perumalraj, R., Nalankilli, G., Dasaradan, B. S. (2010) Textile Composite Materials for EMC. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29(19), 2992-3005.
  - 23) Wieckowski, W. T., Janukiewicz, J. M. (2006) Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles. Fiber & Textiles in Eastern Europe, 14(5), 18-22.
  - 24) Vasquez, H., Espinoza, V., Lozano, K., Foltz, H., Yang, S. (2009) Simple Device for Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness Measurement. IEEE.
  - 25) [http://www.hoffmanonline.com/product\\_catalog/product\\_detail.aspx?cat\\_1=34&cat\\_2=139055&cat\\_3=162490&catID=162490&itemID=162482](http://www.hoffmanonline.com/product_catalog/product_detail.aspx?cat_1=34&cat_2=139055&cat_3=162490&catID=162490&itemID=162482) (18.10.2015)
  - 26) [http://www.akat.org/sizin\\_icin/elektromagnetik\\_tayf.pdf](http://www.akat.org/sizin_icin/elektromagnetik_tayf.pdf) (01.01.2015)
  - 27) [ahmetmavi.files.wordpress.com/.../02-elektromanyetik](http://ahmetmavi.files.wordpress.com/.../02-elektromanyetik) (15.11.2015)
  - 28) <http://www.dmi.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunesspectrumu.pdf> (15.01.2015)
  - 29) [http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO\\_Subat05.pdf](http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Subat05.pdf) (15.01.2015)
  - 30) Perumalraj, R., Nalankilli, G., Dasaradan, B. S. (2010) Textile Composite Materials for EMC. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29(19), 2992-

- 3005.
- 31) [http://www.cebit-bcs.com/sunum/hicabi\\_erdinc.ppt](http://www.cebit-bcs.com/sunum/hicabi_erdinc.ppt) (28.01.2015)
- 32) Çolak, C. (2008) Elektromanyetik Dalgaların Bacillus Cereus İzolatları Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- 33) Altun, N. (2001) Elektromanyetik Dalgaların İnsan Vücudu Üzerindeki Biyolojik Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- 34) Seçil, D. (2009) Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- 35) Atakan, Y. (2003) Cep telefonlarının sağlığa etkileri. Cumhuriyet Bilim ve Teknik Eki, 844.
- 36) Stuchly, M. A. (1993) Electromagnetic Fields and Health. IEEE Potentials, 12(2), 34-39.
- 37) Tübitak Bülten (2001) Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları, 1.Baskı, TÜBİTAK Yayınları, Ankara, Türkiye.
- 38) Riadh W. Y. March (2003) Electromagnetics The Uncertain Health Risks, IEEE.
- 39) Niehs Report (1992) Health Effects From Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields, National Institute of Environment Health Sciences National Institute of Health.
- 40) Karaosmanoğlu, U. (2009) Elektromagnetik Dalgaların İnsan Başının Anatomik Ayrıntıları ve Çeşitli Bölgeleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- 41) Çevre Ve Halk Sağlığı İçin Emanet 2011 Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu. GY/2012/7, 978-605-01-0302-1, 7-8 Ekim.
- 42) Stuchly, M. A. (1995) Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields. Aerospace Applications Conference, 4-11 Feb, Aspen, Colorado, USA.
- 43) Kılıç, G., Örtlek, G. H., Saraçoğlu, Ö. G. (2010) Elektromanyetik Çevre Kirliliği ve Bu Kirlilikten Korunmada Tekstil Çözümleri. The Journal of Textiles and Engineers, 14(67), 23-35.

- 44) <http://class.ee.iastate.edu/mmina/EE314/HW/cell-health.pdf> (12.08.2015)
- 45) Kılıç, G., Örtlek, G. H., Saraçoğlu, Ö. G. (2012) Bending and Tensile Properties of Cotton/metal Wire Complex Yarns Produced for Electromagnetic Shielding and Conductivity Applications. *Journal of The Textile Institute*, 103(12), 1304-1311.
- 46) Qun, W., Xiaoning, Z., Qianjin, M., Kaiyong, G., Meiling, Z. (2002) Preparation of Modified Textile Possessed of Absorbing and Shielding Characterizations. *Electromagnetic Compatibility, 2002 3rd International Symposium on*, 21-24 May.
- 47) Taktak F., Tiryakioğlu İ., Yılmaz İ. (2005) GPS' de Kullanılan Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkilerinin İrdelenmesi, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- 48) Şeker, S.Ş., Çerezci O. (1997) *Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri*, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, Türkiye.
- 49) Tong, X.C. (2009) *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*, CRC Press LLC, Florida, USA.
- 50) Brzezinski, S., Rybicki, T., Malinowska, G., Karbownik, I., Rybicki, E., Szugajew, L. (2009) Effectiveness of Shielding Electromagnetic Radiation, and Assumptions for Designing the Multi-layer Structures of Textile Shielding Materials. *Fiber & Textiles in Eastern Europe*, 17(1), 60-65.
- 51) Brzezinski, S., Rybicki, T., Karbownik, I., Malinowska, G., Rybicki, E., Szugajew, L., Lao, M., Sledzinska, K. (2009) Textile Multi-layer Systems for Protection against Electromagnetic Radiation. *Fiber & Textiles in Eastern Europe*, 17(2), 66-71.
- 52) Palamutçu, S., Özbek, A., Karpuz, C., Dağ, N., Öztürk, P. Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Tekstil Yüzeylerinin Üretimi ve Yüzeylerin Kalkanlama Etkinlik Alanının Araştırılması. Tübitak Projesi, 107M454, 2010. (092)
- 53) Park, K. Y., Lee, S. E., Kim, C. G., Han, J. H. (2006) Fabrication and Electromagnetic Characteristics of Electromagnetic Wave Absorbing Sandwich Structures. *Composites Science Technology*, 66, 576-584.

- 54) Huang, C. Y., Pai, J. F. (1997) Studies on Processing Parameters and Thermal Stability of ENCF/ABS Composites for EMI Shielding. *Journal of Applied Polymer Science*, 63, 115-123.
- 55) Kadoğlu, H., elik, P., Üreyen, E., Duran, D., Üte, T. B., Mermer, Ö. İletken Lif ve İpliklerin Katma Değeri Yüksek Tekstil Ürünlerinin Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Tübitak Projesi, 107M225, 2010.
- 56) Palamutçu, S., Dağ, N. (2009) Fonksiyonel Tekstiller I : Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 87-101.
- 57) Kılıç, G., Örtlek, G. H., Saraçoğlu, Ö. G. (2010) Elektromanyetik Çevre Kirliliği ve Bu Kirlilikten Korunmada Tekstil Çözümleri. *The Journal of Textiles and Engineers*, 14(67), 23-35.
- 58) Özen M.S., Sancak E., Beyit A., Usta İ., Akalın M. (2013) Investigation of Electromagnetic Shielding Properties of Needle-Punched Nonwoven Fabrics With Stainless Steel and Polyester Fiber. *Textile Research Journal*, 83(8), 849-858.
- 59) Özen M.S., Sancak E. (2016) Investigation of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Needle-Punched Nonwoven Fabrics with Staple Polypropylene and Carbon Fibres. *The Journal of The Textile Institute*, 107(2), 249-257.
- 60) Hua Z., Ping C., Ruixin W., Hui Z. (2007) Microwave Absorption Properties of Carbon Fiber Containing Nonwovens. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 32, 391-398.
- 61) Özen M.S., Sancak E., Akalın M. (2015) The Effect of Needle-Punched Nonwoven Fabric Thickness on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Textile Research Journal*, 85(8), 804-815.
- 62) Özen M.S., Sancak E., Soin N., Shah T.H., Siores E. (2016) Investigation of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Needle Punched Nonwoven Fabric Produced from Conductive Silver Coated Staple Polyamide Fibre. *The Journal of The Textile Institute*, 107(7), 912-922.
- 63) Chen H.C., Lee K.C., Lin J.H., Koch M. (2007) Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness Properties of Diverse Conductive Textiles Via Various Measurement Techniques. *Journal of Materials Processing Technology*, 192, 549-

- 554.
- 64) Özen M.S. (2015) Investigation of the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Carded and Needle Bonded Nonwoven Fabrics Produced at Different Ratios with Conductive Steel Fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(1), 140-151.
- 65) Luo X., Chung D.D.L. (1999) Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber Carbon-Matrix and Polymer-Matrix Composites. *Composites: Part B*, 30, 227-231.
- 66) Tezel S., Kavusturan Y., Vandenbosch G.A.E., Volski V. (2014) Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Conductive Single Jersey Fabrics With Coaxial Transmission Line and Free Space Measurement Techniques. *Textile Research Journal*, 84(5), 461-476.
- 67) Cheng L., Zhang T., Guo M., Li J., Wang S., Tang H. (2015) Electromagnetic Shielding Effectiveness and Mathematical Model of Stainless Steel Composite Fabric. *The Journal of The Textile Institute*, 106(6), 577-586.
- 68) Hwang P.W., Chen A.P., Lou C.W., Lin J.H. (2013) Electromagnetic Shielding Effectiveness and Functions of Stainless Steel/Bamboo Charcoal Conductive Fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 44(3), 477-494.
- 69) Das A., Krishnasamy J., Alagirusamy R., Basu A. (2014) Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of SS/PET Hybrid Yarn Incorporated Woven Fabrics. *Fibers and Polymers*, 15(1), 169-174.
- 70) He H., Cheng S., Lian Y., Xing Y., He G., Huang Z., Wu M. (2015) Electrical Conductivity and Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Black/Sisal Fiber/Polyamide/Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer*, 46, 1-6.
- 71) Liu Z., Yang Y., Wang X., Zhou Z. (2014) Prediction Model of Shielding Effectiveness of Electromagnetic Shielding Fabric with Rectangular Hole. *Progress in Electromagnetics Research C*, 48, 151-157.
- 72) Kumar N., Andal L., Rajeswari P., Gobinath A., Parthiban B. (2014) Analysis of Emi Shielding Effectiveness of Building Materials. *Electrical Engineering: An International Journal (EEIJ)*, 1(1), 11-19.
- 73) Türksoy E.S., Üstündağ S., Sarıtaş Ö., Saraçoğlu Ö.G. (2015) An Innovative Test

- Apparatus for Electromagnetic Shielding Effectiveness Test of Textile Materials. *Journal of Textiles and Engineer*, 22(99), 15-26.
- 74) Erdumlu N., Sariçam C. (2015) Electromagnetic Shielding Effectiveness of Woven Fabrics Containing Cotton/Metal-Wrapped Hybrid Yarns. *Journal of Industrial Textiles*, 46(4), 1084-1103.
- 75) Özdemir H., Uğurlu Ş.S., Özkurt A. (2015) The Electromagnetic Shielding of Textured Steel Yarn Based Woven Fabrics Used for Clothing. *Journal of Industrial Textiles*, 45(3), 416-436.
- 76) Yu Z.C., Zhang J.F., Lou C.W., Lin J.H. (2015) Investigation and Fabrication of Multifunctional Metal Composite Knitted Fabrics. *Textile Research Journal*, 85(2), 188-199.
- 77) Safarova V., Tunak M., Truhlar M., Militky J. (2015) A New Method and Apparatus for Evaluating The Electromagnetic Shielding Effectiveness of Textiles. *Textile Research Journal*, 86(1), 44-56.
- 78) Ersoy M.S., Önder E. (2014) Electroless Silver Coating On Glass Stitched Fabrics for Electromagnetic Shielding Applications. *Textile Research Journal*,
- 79) Çeken, F., Erdoğan, Ü. H., Kayacan, O., Uğurlu, Ş. S. (2011) Electromagnetic Shielding Efficiency of Nonwoven Insulation Panels Designed with Recycled Textiles and Copper Wires. *Journal of The Textile Institute*, 1-7.
- 80) Cheng, H. C., Lee, K. C., Lin, J. H., Koch, M. (2007) Fabrication of Conductive Woven Fabric and Analysis of Electromagnetic Shielding Via Measurement and Empirical Equation. *Journal of Materials Processing Technology*, 184, 124-130.
- 81) Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials1. ASTM Standard D4935-10 2010.
- 82) [http://www.rohde-schwarz.com/en/product/zvl-productstartpage\\_63493-9014.html](http://www.rohde-schwarz.com/en/product/zvl-productstartpage_63493-9014.html) (10.11.2015)
- 83) Kim, M. S., Kim, H. K., Byun, S. W., Jeong, S. H., Hong, Y. K., Joo, J. S., Song, K. T., Kim, J. K., Lee, C. J., Lee, J. Y. (2002) PET fabric/polypyrrole composite with high electrical conductivity for EMI shielding. *Synthetic Metals*, 126, 233-239.
- 84) Bilgin, S., Sarıtaş, Ö., Okyay, G., Örtlek, H. G.. (2011) Askeri ve Kamu Kuruluşlarına ait Binaların Tempest Güvenliği İçin Farklı Yapıda Dokuma

- Kumaşların Geliştirilmesi. The Journal of Textiles and Engineers, 18(81), 1-6.
- 85) Lundgren, U. (2004) Characterization of Components and Materials for EMC Barriers. Doktora Tezi, Lulea University, Lulea, Sweden.
- 86) Göktepe, Ö., Çömlekçi, S., Soyaslan, D. D. Etkin Elektromanyetik Koruyucu Örne Kumaş ve Örne Kumaş Destekli Kompozit Yapıların Geliştirilmesi. Tübitak Projesi, 107M368 2010.
- 87) Vasquez, H., Espinoza, V., Lozano, K., Foltz, H., Yang, S. (2009) Simple Device for Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness Measurement. IEEE.
- 88) Standard Specified Requirements of Electromagnetic Shielding Textiles. FTTS-FA-003 2005.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Abdulkadir PARS  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : SAKARYA - 01/06/1986  
**Yabancı Dili** : İNGİLİZCE  
**E-Posta** : [abdulkadir.pars@marmara.edu.tr](mailto:abdulkadir.pars@marmara.edu.tr)

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Tekstil Kalite Kontrol	YUNUS ÇİLOĞLU ANADOLU MESLEK LİSESİ	2004
Üniversite	Tekstil Eğitimi	MARMARA ÜNİVERSİTESİ TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ	2012

### İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016 -	MARMARA ÜNİVERSİTESİ (TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ-TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ)	UZMAN