T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROMANYETİK DALGALARI EKRANLAMA ÖZELLİĞİNE SAHİP PERDE KUMAŞI TİPLERİ GELİŞTİRİLMESİ

Tezi Hazırlayan
Öznur SARITAŞ

Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Aralık 2010
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROMANYETİK DALGALARI EKRANLAMA ÖZELLİĞİNE SAHİP PERDE KUMAŞI TİPLERİ GELİŞTİRİLMESİ

Tezi Hazırlayan
Öznur SARITAŞ

Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Bu Çalışma, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve Rehber Tekstil San. Ve Tic. Ltd. Şti. tarafından "00374.STZ.2009-1" kodlu San-Tez projesi ile desteklenmiştir.

Aralık 2010
KAYSERİ

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK danışmanlığında **Öznur SARITAŞ** tarafından hazırlanan **"Elektromanyetik Dalgaları Ekranlama Özelliğine Sahip Perde Kumaşı Tipleri Geliştirilmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

13./12./2010

JÜRİ:

Başkan : Doç. Dr. Nazım Paşayev

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer Galip Saraçoğlu

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Gazi Örtlek

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 11/01/2011 tarih ve 2011/02-09. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

11../01.../.2011..

Prof.Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında beni daima destekleyen, her konuda çok değerli bilgi ve deneyimiyle yönlendiren, tezimin tamamlanmasında yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK'e teşekkür ederim.

Özellikle elektromanyetik konuları ile ilgili olmak üzere tez çalışmamda değerli bilgi ve tecrübeleri ile destek olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU'na teşekkür ederim.

Özellikle sayın Bayram SÜRMELİ, sayın Mahmut UGAN olmak üzere çalışmanın yapıldığı Rehber Tekstil San. Ve Tic. Ltd. Şti. tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Yardımlarını esirgemeyen değerli öğrenci arkadaşlarım Sinem BİLGİN, Özlem BİLGET ve Gamze OKYAY'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca, daima bana destek olan canım annem, babam, ablam ve ağabeylerime teşekkür ederim.

ELEKTROMANYETİK DALGALARI EKRANLAMA ÖZELLİĞİNE SAHİP PERDE KUMAŞI TİPLERİ GELİŞTİRİLMESİ

Öznur SARITAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2010

Tez Danışmanları: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK

ÖZET

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrikli ve elektronik aletlerin günlük hayatımızdaki yeri ve önemi sürekli artmaktadır. Yaşamımızın her safhasına girmiş olan bu cihazların kullanımı hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte elektrosmog olarak adlandırılan çevre kirliliğini sorununu da beraberinde getirmektedir. Elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı arttıkça elektromanyetik dalgaları ekranlama yeteneğine sahip iletken kumaşlara olan talep de giderek artmaktadır.

Bu çalışmanın ilk aşamasında elektromanyetik dalgaları ekranlama yeteneğine sahip perde kumaşlarının üretiminde kullanılacak metal içeren kompozit iplikler üretilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında üretilen kompozit iplikler kullanılarak elektromanyetik dalgaları ekranlama yeteğine sahip perde kumaşı tipleri geliştirilmiştir. Geliştirilen farklı örgü yapılarına sahip kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinlikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ekranlama etkinliklerinin ölçümü koaksiyel tutucu metodu ve yankısız oda metodu olmak üzere iki ayrı ölçüm metodu ile yapılmıştır. Yankısız oda metoduna göre yapılan ölçümler bütün kumaş numuneleri için antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmıştır. Yankısız oda metoduna göre yapılan ölçümlerde kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinlik değerlerinin frekans arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Geliştirilen kumaşların genelinde ekranlama etkinlik değeri 40 dB ve üzeri bir değere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik dalga, kompozit iplik, ekranlama etkinliği

DEVELOPMENT OF CURTAIN FABRIC TYPES OFFERING ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Öznur SARITAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, October 2010

Thesis Supervisors: Assist. Prof. Dr. Hüseyin Gazi ÖRTLEK

ABSTRACT

With the development of the technology of electrical and electronic equipment is constantly increasing importance of our daily lives. Facilitating the use of these devices have entered every aspect of our lives with our lives brings the problem of environmental pollution, called elektrosmog. Accordingly, with the increase of the usage of these devices, the demand for conductive fabrics, which are protective against electromagnetic waves, increases simultaneously.

In this study, the first stage, the composite yarn mas produced which is suitable to produce protective curtain fabrics against electromagnetic waves.In the second stage of the study, curtain fabrics against electromagnetic waves were developed using composite yarns containing metal. Different fabric structures such as plain, twill, rib and panama were used to produce fabric samples. Electromagnetic shielding properties of fabrics were comparatively investigated. Shielding effectiveness (SE) measurement is done both with the coaxial holder method and anechoic chamber method. Anechoic chamber measurements are made according to the method of antennas for all the fabric samples made of both horizontal and vertical polarizations. According experimental results which were obtained from the anechoic chamber method, electromagnetic shielding effectiveness of fabrics decreased with increasing frequency. Developed fabrics have generally 40 dB shielding effectiveness value.

Keywords: Electromagnetic waves, composite yarn, shielding effectiveness(SE)

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY……i
TEŞEKKÜR……ii
ÖZET…… iii
ABSTRACT… ……...v
KISALTMA VE SİMGELER……..….xii
TABLOLAR LİSTESİ…….xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ…….. xv
1. BÖLÜM
GİRİŞ……. 1
2. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER……. 3
2.1. Elektromanyetik Alanlar…… ……3
2.2. Elektromanyetik Alanların (EMA) Etkileri.. 6
2.2.1. Elektromanyetik Alanların İnsan Vücuduna Etkileri.. 6
2.2.2. Elektromanyetik Alanların Cihazlar Üzerindeki Etkileri.. 8
2.2.2.1. Elektromanyetik Dinleme (TEMPEST)…… ..9
2.2.2.1.1. TEMPEST Güvenliği…… …14
2.3. Elektromanyetik Alanlardan Korunmada Kullanılan Malzemeler 16
2.3.1. Klasik Malzemeler……. 17
2.3.2. Kompozit Malzemeler ve İletken Polimerler.. 17
2.3.3. Elektro-İletken Boyalar…… 20
2.3.4. İletken İplikler ve Kumaşlar.. 21
2.4. Tekstil Malzemelerinin Ekranlama Etkinliği Ölçümü.. 25
2.4.1. Ekranlama ve Ekranlama Teorisi.. 26
3. BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM…….. 35
3.1. Materyal……. 35
3.2. Yöntem……. 37
3.2.1. Numune İplik ve Kumaşların Üretilmesi.. 37
3.2.1.1. Kompozit İpliklerin Üretilmesi.. 37
3.2.1.1.1. Numune Kumaşların Üretimi.. 40

3.2.2. Uygulanan Test Yöntemleri.. 40
3.2.2.1. Fotoğraf Çekimi…….....40
3.2.2.2. Kumaşların Ekranlama Etkinliğinin (SE) Belirlenmesi İçin Uygulanan Testler…….. 43
3.2.2.2.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method) ile Yapılan SE Ölçümleri……. 43
3.2.2.2.2. Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method) ile Yapılan SE Ölçümler……..... 46
4.BÖLÜM
ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA…… 49
4.1. Çalışma Sonunda Elde Edilen İplik Görüntüleri.. 49
4.2. Çalışma Sonunda Elde Edilen Kumaş Görüntüleri.. 50
4.3. Kumaşların Ekranlama Etkinliğinin (SE) Belirlenmesi İçin Yapılan Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.……..……55
4.3.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method) ile Yapılan SE Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.. 55
4.3.2. Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method) ile Yapılan SE Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....60
5.BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER
5.1. Sonuç……..68
5.2. Öneriler……...……70
KAYNAKLAR…….71
ÖZGEÇMİŞ…….. 74

KISALTMA VE SİMGELER

E	: Elektrik alan
H	: Manyetik alan
Hz	: Hertz
EMA	: Elektromanyetik Alanların
SAR	: Özgül Soğurma Oranı
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	: Elektromanyetik girişim
RF	: Radyo frekans bandı
SE	: Ekranlama Etkinliği
Z	: Dalga Empedansı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. SE ve % Azalma değerleri….....32
Tablo 3.1. Kumaş Numunelerinin Özellikleri.. 42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dalga yapısı ve özellikleri…. 4

Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar....5

Şekil 2.3. İletkenlik yoluyla EMI…… 9

Şekil 2.4. Işıma yoluyla EMI……. 9

Şekil 2.5. Tempest problemine bir örnek....10

Şekil 2.6. Van Eck'in bilgisayar ekranında yayılan emisyonları elde etme düzeneği……. 11

Şekil 2.7. TEMPEST alıcısı ve kaydedilen işaret örneği....13

Şekil 2.8. TEMPEST alıcısı ve kaydedilen işaret örneği (solda), işaret işleme teknikleri sonucu elde edilen bilgisayar ekranı (sağda) 13

Şekil 2.9. Uzaysal ışıma ve elektriksel iletkenlik.. 14

Şekil 2.10. Ekranlama amacı ile kullanılan koruma boyası uygulaması, (a) Cep telefonu baz istasyonu, (b) Koruma boyasının uygulaması, (c) Radyasyon seviyesi /güç değişim yoğunluğu....20

Şekil 2.11. Elektromanyetik radyasyondan koruyucu tekstil ürünlerinin çeşitli kullanım alanları, (a) Koruyucu cibinlik, (b) Koruyucu giysi, (c) Hastane önlükleri…. 24

Şekil 2.12. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta 25

Şekil 2.13. Temel elektrik alan ve manyetik alan kaynakları, (a) Elektrik dipol, (b) Manyetik dipol……. 27

Şekil 2.14. Bir elektromanyetik etkileşim kaynağının etrafındaki tipik alanlar 28

Şekil 2.15. Kalınlığı t olan duvarın ekranlama etkinliği 29

Şekil 2.16. Ekranlama etkinliğinin tanımı, (a) Ekran yok iken yapılan ölçüm, (b) Ekran varken yapılan ölçüm....31

Şekil 3.1. Kompozit iplik üretiminde kullanılan metal tel ve ipliklerin görünümü, (a)100 denye PES (25X), (b) 35 mikron paslanmaz çelik (25X), (c) Nm 7 şönil (25X), (d) 50 mikron gümüş kaplı bakır (25X)……..…..36

Şekil 3.2. İçi oyuk iğli kompozit iplik üretim sistemi 38

Şekil 3.3. İçi oyuk iğli kaplama makinesi şematik görünümü ve fotoğrafı……. 39

Şekil 3.4. 35 mikron paslanmaz çelik tel, 100 deney PES ve kompozit ipliğin içi oyuk iğli kaplama makinesi üzerindeki yerleşimi 39
Şekil 3.5. Agteks kompozit iplik üretim makinesi 40
Şekil 3.6. Vamatex dokuma makinesi 41
Şekil 3.7. Kumaş örgü yapıları, (a) Bezayağı örgü (1/1), (b) 2/2 Panama, (c) 2/2 Atkı ribsi, (d) 3/1 Dimi…….....41
Şekil 3.8. Kumaşların koaksiyel tutucu metodu ile SE ölçümlerinin yapıldığı test düzeneği …….....43
Şekil 3.9. Koaksiyel tutucu metodu için ölçüm test düzeneği..…....44
Şekil 3.10. ASTM D-4935 standardı esas alınarak yapılan ölçüm aparatı.....45
Şekil 3.11. Ekranlama etkinliği genel test düzeneği …….....47
Şekil 3.12. Yankısız oda dış kısım, pencere, kumaş ve test düzeneği.....47
Şekil 3.13. Yankısız oda iç kısım, pencere, kumaş ve test düzeneği.....48
Şekil 3.14. Dikey polarizasyon referans ölçüme ait örnek bir resim……. 48
Şekil 3.15. Yankısız oda dış kısım, pencere, kumaş ve test düzeneği..…....48
Şekil 4.1. Çalışmada elde edilen iplik görüntüleri, (a) 35 mikron SS+100 denye PES (25X), (b) 50 mikron gümüş kaplı bakır+şönil (25X).....49
Şekil 4.2. S1 kumaşının görüntüsü (30X)..... 50
Şekil 4.3. S2 kumaşının görüntüsü (30X)..... 50
Şekil 4.4. S3 kumaşının görüntüsü (30X)..... 51
Şekil 4.5. S4 kumaşının görüntüsü (30X)..…....51
Şekil 4.6. S5 kumaşının görüntüsü (30X)..... 51
Şekil 4.7. S6 kumaşının görüntüsü (30X)..... 52
Şekil 4.8. S7 kumaşının görüntüsü (30X)..... 52
Şekil 4.9. S8 kumaşının görüntüsü (30X)..... 52
Şekil 4.10. S9 kumaşının görüntüsü (30X)..... 53
Şekil 4.11. S10 kumaşının görüntüsü (30X)..... 53
Şekil 4.12. S11 kumaşının görüntüsü (30X)..... 53
Şekil 4.13. S12 kumaşının görüntüsü (30X)..... 54
Şekil 4.14. S13 kumaşının görüntüsü (30X)..... 54
Şekil 4.15. S14 kumaşının görüntüsü (30X)..... 54

Şekil 4.16. S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları etkisi……. 56
Şekil 4.17. S3 ve S5 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları …….....57
Şekil 4.18. S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune kumaşın ekranlama etkinliği test sonuçları…… 58
Şekil 4.19. S9 ve S10 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları …….....59
Şekil 4.20. S11, S12, S13 ve S14 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları…….....60
Şekil 4.21. S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon)..... 61
Şekil 4.22. S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (dikey polarizasyon) 62
Şekil 4.23. S4 ve S5 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon)……. 63
Şekil 4.24. S4 ve S5 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (dikey polarizasyon)……. 64
Şekil 4.25. S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon)..... 65
Şekil 4.26. S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (dikey polarizasyon) 66
Şekil 4.27. S9 ve S10 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon)…… 67

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Endüstrileşme, teknolojinin gelişimi ve refah düzeyindeki artışa bağlı olarak elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı artmaktadır. Radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri hava savunma sistemleri, radarlar, otomobil ateşleme sistemleri, iş makineleri, evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazlar, tıbbi cihazlar, cep telefonları, elektronik haberleşme ağları, baz istasyonları, bilgisayarlar v.b. tüm elektrikli ve elektronik cihazlar çalışırken kasıtlı veya kasıtsız olarak çevreye elektromanyetik radyasyon yayarlar. Çeşitli frekanslardaki elektromanyetik dalgalar canlılar üzerinde olumsuz etki yapabildikleri gibi elektronik cihazlar üzerinde de bozucu etki yaratabilirler.

Çevre ve insan sağlığı açısından elektromanyetik dalgaların neden olduğu zararların azaltılması hususu, gün geçtikçe artan elektromanyetik kirlilik nedeniyle son derece önemli hale gelmiştir.

Modern elektronik cihazlar, güçlü bilgisayar donanımları ve akıllı yazılımlarla oluşturulan sistemlerin hemen her alanda kullanılmasına paralel olarak bilgi ve haberleşme güvenliği de elektromanyetik kirlilik kaynaklı önemli sorunlardan birisidir. Sıradan insanların kriptografik yöntemleri kullanmasının yaygınlaşması ile vatandaşlarını gözetim altında tutma yeteneği azalan ulusal güvenlik kuruluşları elektromanyetik dinleme teknolojilerinin geliştirilmesine ağırlık vermektedir. Elektromanyetik dalga esaslı dinleme teknolojilerindeki gelişmeler beraberinde koruyucu ve önleyici tedbirlerinde geliştirilmesine neden olmaktadır. Temel hak ve özgürlükler açısından elektromanyetik esaslı dinlemelere karşı alınabilecek önlemlerle ilgili çalışmalar sadece ilgili kuruluşları değil, sivilleri de yakından ilgilendirmektedir.

Elektromanyetik radyasyondan korunmada kullanılan başlıca yöntemlerden birisi ekranlamadır. Ekranlamada kullanılan klasik metal malzemelerinin sınırlı esneklik, ağırlık, korozyon ve ekranlama verimliliğini ayarlama zorluğu gibi çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde klasik ekranlama malzemelerinin dezavantajlarından dolayı ekranlamada daha hafif, esnek ve daha düşük maliyetli tekstiller tercih edilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, paslanmaz çelik kullanılarak elde edilen kompozit ipliklerle farklı yapılarda perde tiplerinin geliştirilmesidir. Bu çalışmada öncelikle paslanmaz çelik teller kullanılarak içi oyuk iğlik kaplama yöntemiyle kompozit iplikler üretilmiş ardından bu kompozit ipliklerle farklı yapılarda elektromanyetik dalgaları ekranlama özelliğine sahip perdelik kumaş tipleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Üretilen kompozit ipliklerden farklı dokuma yapılarında geliştirilen kumaşların elektromanyetik ekranlama özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tezin genel bilgiler bölümünde, temelde geliştirilen kumaşlarda elektromanyetik dalgaları ekranlama özelliği hedeflendiğinden, elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik radyasyonun etkileri, elektromanyetik radyasyondan korunma yolları, korunmada kullanılan malzemeler özellikle tekstil ürünleri noktasında detaylı olarak anlatılmıştır.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

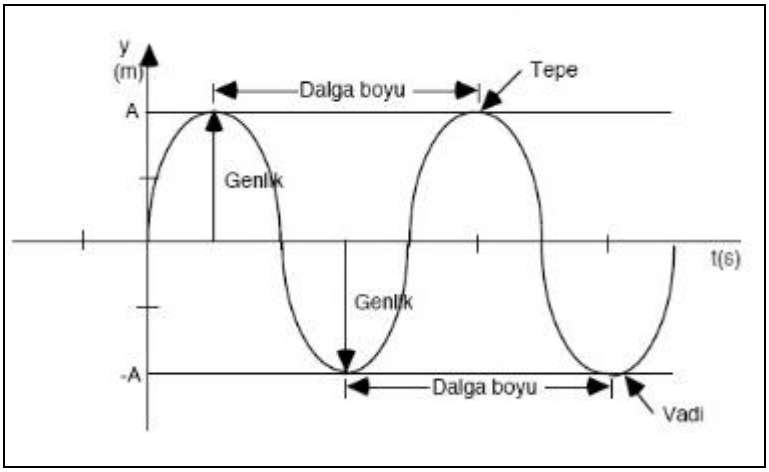
2.1. Elektromanyetik Alanlar

Elektromanyetik alan, elektrik yüklerinin hareketinden doğan, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerine sahip, elektromanyetik enerji içeren bir kuvvet alanıdır. Elektrik alan (E) şiddeti vektörel bir niceliktir ve birimi Volt/m'dir. Manyetik alan (H) şiddeti de elektrik alan gibi vektörel bir niceliktir ve birimi ise Amper/m'dir. Manyetik alan vektörünün yönü, yüklerin hareket yönüne diktir. Manyetik alan çizgileri bir yükte başlayıp bir yükte son bulmazlar, aksine kendi üzerlerine kapanan eğriler oluştururlar.

Duran elektrik yükleri etrafında durgun bir elektrik alan oluşurken, hareketli yükler etrafında hem elektrik hem de manyetik alan oluşur. Bu alanlar "dinamik elektromanyetik alanlar" ya da yaygın bilinen ifadesiyle "elektromanyetik dalgalar" şeklinde ifade edilirler.

Her tür dalganın bir dalga boyu ve bir frekansı vardır. Sinüs ritmi şeklindeki dalga konvoyunda birbirini izleyen iki tepe noktası ya da iki çukur arasındaki uzaklık "dalga boyu" olarak tanımlanır ve lamda (λ) ile gösterilir [1]. Şekil 2.1'de dalga boyu şematize edilerek gösterilmiştir.

Elektromanyetik dalgaların özelliklerini belirleyen bir diğer önemli parametre ise frekans, yani saniyedeki dalga şeklindeki titreşim sayısıdır ve birimi Hz (1/s) ile gösterilir. Uzayda dalgaların yayılması ışık hızıyla ($c = 3x10^8$ m/s) gerçekleşmektedir [2].



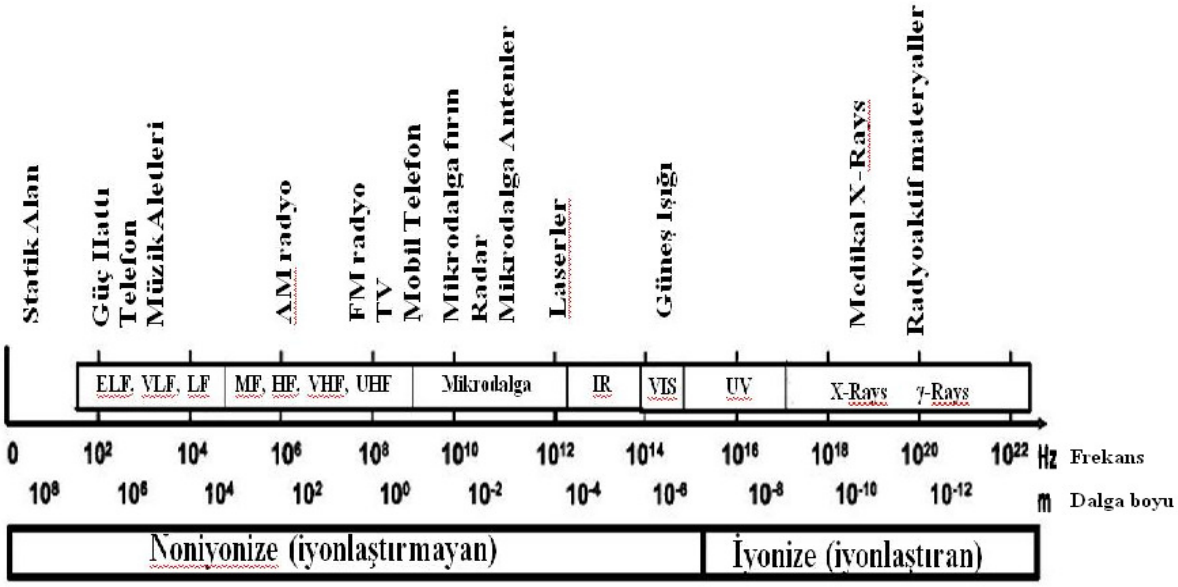
Şekil 2.1. Dalga yapısı ve özellikleri.

Dalganın yayılma hızı ile frekans arasında ilişki (2.1) denkleminde verilmiştir.

Hız = Frekans x Dalga Boyu (2.1)

Elektromanyetik dalgalar çeşitli kaynaklar tarafından üretilebilirler. Bu kaynaklardan bazıları doğal bazıları ise yapay kaynaklardır. Doğal elektromanyetik kaynaklara, güneş, atmosferik deşarjlar (yıldırım gibi) ve insan vücudu örnek olarak verilebilir. Doğal olmayan elektromanyetik kaynaklar için ise elektrik enerjisi iletken ya da enerjiyle çalışan her türlü araç ve gereç örnek gösterilebilir. Baz istasyonları, cep telefonları, mikrodalga fırınları, radarlar, yüksek gerilim hatları, TV ve bilgisayar ekranları, indüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri, radyo, TV ve telsiz verici istasyonlarının antenleri, radar sistemleri, uydu iletişim sistemleri, tedavide kullanılan tıbbi elektriksel cihazlar bu tür elektromanyetik dalga yayan kaynaklarıdır [3].

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyuna ve frekansına bağlı olarak sınıflandırıldıklarında bir spektrum meydana getirirler ve spektrumda tüm ışınlar temelde birbirlerinden dalga boyları veya frekansları ile ayırt edilirler. Şekil 2.2'de çeşitli elektromanyetik dalga kaynakları bir elektromanyetik spektrum ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar [4].

Elektromanyetik spektrumda;

- 3 Hz – 3 kHz arası son derece düşük frekans bölgesi,
- 3 kHz – 30 kHz arası çok düşük frekans bölgesi,
- 10^{12} Hz'lere kadar olan bölge radyo dalgaları diye anılır.
- 10^{12} Hz'ler kızıl ötesi ışıma bölgesidir. Bütün nesneler bu frekanslarda ışınım yaparlar. Örneğin vücudumuzdaki ısının yaklaşık % 60'ı kızıl ötesi ışınım ile dışarı atılır.
- Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz'lerdir. Bu frekansların üstü iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup Mor ötesi, X ve Gama ışınları bu bölgededir [2].

Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar büyük elektrik alan bileşimine, düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ise yüksek manyetik alan bileşimine sahiptir. Parazit problemine neden olan bu yüksek manyetik alanlar, hassas askeri haberleşme ve elektronik ekipmanlarının çalışması gibi kritik noktalarda kesinlikle önlenmelidir.

Radyasyon sözcüğü, madde içine nüfuz edebilen ışınlar, yani girici ışınlar anlamında kullanılmaktadır [1, 2]. Nükleer (iyonlaştıran-iyonize) radyasyon; madde içerisinden geçerken enerjisini ortama aktarmak suretiyle, ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüdür. İyonize radyasyona örnek olarak, x ve

gama-ışınları ile α, β ve nötron parçacıklarının yayılması, gösterilebilir [2, 5]. Elektromanyetik radyasyon için, nükleer radyasyondan farklılığını vurgulamak adına, noniyonize (iyonlaştırmayan) radyasyon ifadesi kullanılmaktadır. Başka bir ifadeyle elektromanyetik dalgaların, madde ile etkileşmesinde moleküler seviyede kimyasal bağları koparacak miktarda enerjileri yoktur.

2.2. Elektromanyetik Alanların Etkileri

Elektromanyetik alanların nesneler ve canlılarla etkileşimleri frekansa göre değişiklik göstermektedir. Yüksek gerilim hatları gibi düşük frekanslı elektromanyetik radyasyon kaynaklarının manyetik alan etkileri daha baskın iken, cep telefonları, radyo-TV yayınları ve mikrodalga fırınlar gibi nispeten yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyon kaynaklarının, elektrik alan etkileri daha baskındır.

2.2.1.Elektromanyetik Alanların İnsan Vücuduna Etkileri

İnsan bedeni fonksiyonlarının hepsi 1-250 mikrovolt gerilimli elektriksel sinyallerle sağlanmaktadır. Sinir sistemimiz 500.000 km uzunluğunda elektriksel donanıma sahip dev bir elektronik sistemdir. Elektromanyetik alanların dışarıdan bu hassas sisteme etki etmesi doğal dengeyi bozabilir [1].

X ve gama ışınları gibi kısa dalga boylu yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar moleküllere çarptığında onları iyonlaştırarak, molekül yapısını bozmakta ve böylece olumsuz biyokimyasal tepkimeler sonucunda kanser oluşumunu kolaylaştırabilmektedir. Yapılan çalışmalarda X ve gama ışınlarına maruz kalan insanlarda, kanserlerin oluşumunun arttığı görülmüştür [1].

Ortamdaki iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgaların etkisinde kalma sonucunda canlılarda ısıl ve ısıl olmayan etkiler olmak üzere iki tür etki oluşabilir [6].

Isıl olmayan etkilere bağlı olarak RF dalgaların etkili olduğu bozukluk ve hastalıklar arasında uyku bozuklukları, baş ağrıları, halsizlik, kusma, konsantrasyon bozukluğu, hafıza kaybı, reflekslerde zayıflama, kas ve eklemlerde ağrı gibi nörolojik etkiler, göğüs ağrısı, düşük veya yüksek tansiyon, kalp artışında hızlanma veya yavaşlama, nefes alma sıklığında değişim gibi kardiyolojik etkiler, sinuzit, bronşit, astım gibi solunum yolu

sorunları, ciltte tahriş, kaşıntı, yanma, yüzde kızarıklık gibi dermatolojik etkiler, göz yanması, görme bozukluğu gibi etkiler ve sindirim sorunları, ağrı, burun kanamaları, bağışıklık sisteminde zayıflama, saç dökülmesi, kulak çınlaması, koku alma duyusunda bozulma bulunmaktadır [7]. Ancak bu riskler çok yüksek deneysel dozlar ve sürelerde geçerlidir [6]. Daha düşük seviyeli etkilenmeler için (örneğin saç kurutma makinesi veya cep telefonları elektromanyetik alanının etkileri gibi) henüz epidemiyolojik araştırmalarla kesin bulgular ortaya konmamıştır. Ancak bu durum mevcut şüphelerin göz ardı edilmesini de gerektirmemektedir. Konu ile ilgili riskler ve alınması gereken önlemler konusunda kamuoyunu bilgilendirmek amacı ile çeşitli çalışmalar yapılmakta ve halkın bilinçlenmesi için çaba harcanmaktadır [7].

Isıl etkiler, vücut tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanır. Vücut sıcaklığı artışı, ısının kan dolaşımı ile atılarak dengelenmesine kadar devam eder [6]. Canlı bir organizma, radyo frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kaldığında, elektrik alanları, organizmadaki iyon gibi yüklü parçacıklar üzerinde bir kuvvet uygular ve onların hareket etmelerini sağlar. Elektrik akımının akması anlamına gelen bu harekete karşı gösterilen direnç ısı oluşumuna neden olmaktadır. Isı organizma içerisinde oluştuğu için, örneğin söz konusu organizma insan vücudu olduğunda, ısı algılayıcısı olan deri tarafından algılanması mümkün olamayacak ve vücut sıcaklığı kontrol sistemi olumsuz etkilenecektir. Bu ısıl etki nedeniyle insan vücuduna etki eden sürekli ve yüksek oranda elektromanyetik dalga, DNA ve RNA'nın hücre yenilemesini engellemektedir. Ayrıca aşırı oranda elektromanyetik dalgalara maruz kalındığında, vücutta kanserli hücrelerin oluşumuna neden olabilecek kimyasal değişimler oluşmaktadır [8].

Elektromanyetik enerji canlı bir dokuya geldiğinde, dokunun elektriksel özelliklerine bağlı olarak yutulur. Elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğurulma hızı "Özgül Soğurma Oranı" (Specific Absorption Rate - SAR) olarak adlandırılır ve birimi W/kg'dır (Watt/kilogram). SAR değeri dokudan dokuya değiştiği gibi, doku içerisinde de noktadan noktaya (farklı noktalara farklı elektromanyetik enerji nüfuz edebileceğinden) değişir [2]. SAR, gelen dalganın frekansına, geliş açısına, canlı dokunun su muhtevasına ve biyolojik malzemenin elektriksel özelliklerine bağlıdır [1]. İnsan sağlığı açısından zararlı olabilecek sınırlamaları belirlemek için "temel limitler" ve "türetilmiş limitler" tanımlanmaktadır. İnsan vücudunda bir derecelik sıcaklık artışı

için bir kilogram doku başına 4 W güç soğurulması gerekmektedir [5]. Standartlarda temel limit olarak 4 W/kg değeri kabul edilmiştir. Mesleki maruziyet için 10 kat, halk maruziyeti için 50 kat güvenlik payları esas alınarak temel limitler sırasıyla 0,4 W/kg SAR ve 0,08 W/kg SAR olarak belirlenmiştir. Bu değerler tüm vücut için 6 dakikalık maruziyet süresinde verilen SAR değeridir [9].

Çok düşük frekanslı (ELF) alanların (0 Hz - 10 kHz) kaynakları özellikle enerji iletim hatlarıdır. ELF alanlar insan vücudunda akımların doğmasına ve alanların etkisinde kalındığında saçların dimdik olması gibi bazı yüzeysel etkilerin doğmasına neden olurlar. Bu tip alanlar kalp pillerinin çalışmalarını, vücut içinde varsa bulunan diğer metal parçalarını (örneğin protezler), vücudun algılama mekanizmalarını (duygular), sinir ve kas hücrelerini etkiler. Alan şiddeti ne kadar büyükse etkileri de o oranda büyük olur [1].

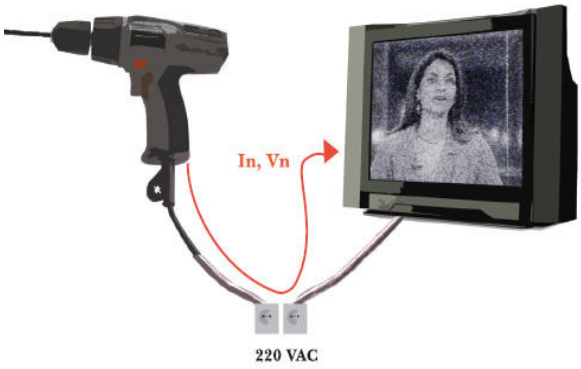
Elektronik teknolojisinin geniş kapsamlı uygulamalarıyla çeşitli frekanslardaki elektromanyetik dalgalar tüm evrene yayılmaktadır. Bu dalgaların varlığı ise yüksek iletkenlik özelliğine sahip insan bedenine önemli ölçüde zarar vermektedir. Birleşmiş Milletler, elektromanyetik kirliliği, su, hava ve ses kirliliğinden sonra dördüncü önemli kirlilik olarak görmektedir [7].

2.2.2. Elektromanyetik Alanların Cihazlar Üzerindeki Etkileri

Elektromanyetik dalgaların ortam içinde ne oranda bulundukları elektrikli cihazların uygun biçimde çalışabilmesi bakımından da önemlidir. Örneğin; yüksek gerilim hatları yakınından geçen helikopterin kontrolünü yitirerek düşmesi, güçlü radar sinyallerinin olduğu havaalanı yakınlarında elektronik kumandalı ateşleme sistemine sahip otomobillerin çalışmaması ya da kilitlenmesi, PC bilgisayar yakınında çalışan televizyonların karlanması, düşen bir yıldırımın telefon sistemlerini, evlerdeki elektronik cihazlarını çalışamaz duruma getirmesi, klima her devreye girdiğinde video cihazının saatinin sıfırlanması, radyo dinlerken polis telsisinin araya girmesi, cep telefonları ya da bilgisayarların araçların ABS fren sistemini kilitlemesi gibi olaylarla sık sık karşılaşılmaktadır. Bu tip sorunlardan dolayı elektrikli cihazların çalıştığı

ortamlarda elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin belli bir değerin üzerine çıkması istenmez [1].

Elektrik/elektronik cihazlardan yayılacak olan enerji ortamda bulunan diğer cihaz veya sistemlerin çalışmalarında bozulma veya kötüleşme olmasına neden olabilir. Buna Elektromanyetik Girişim (Elektromagnetic Interference-EMI) adı verilir. EMI, iletkenlik yoluyla veya ışıma yoluyla gerçekleşir. Girişim kaynağı ile etkilenen sistem arasında güç, işaret ve telefon hatları var ise bunlar üzerinden veya başka metalik yollar üzerinden iletkenlik yolu ile girişim (Şekil 2.3) gerçekleşebilir. Işıma yoluyla girişim de (Şekil 2.4), benzer şekilde, girişim kaynağından çıkan elektromanyetik enerjinin ışıma yoluyla etkilenen sistem üzerine çalışmasıyla oluşur [10].



Şekil 2.3. İletkenlik yoluyla EMI [10].



Şekil 2.4. Işıma yoluyla EMI [10].

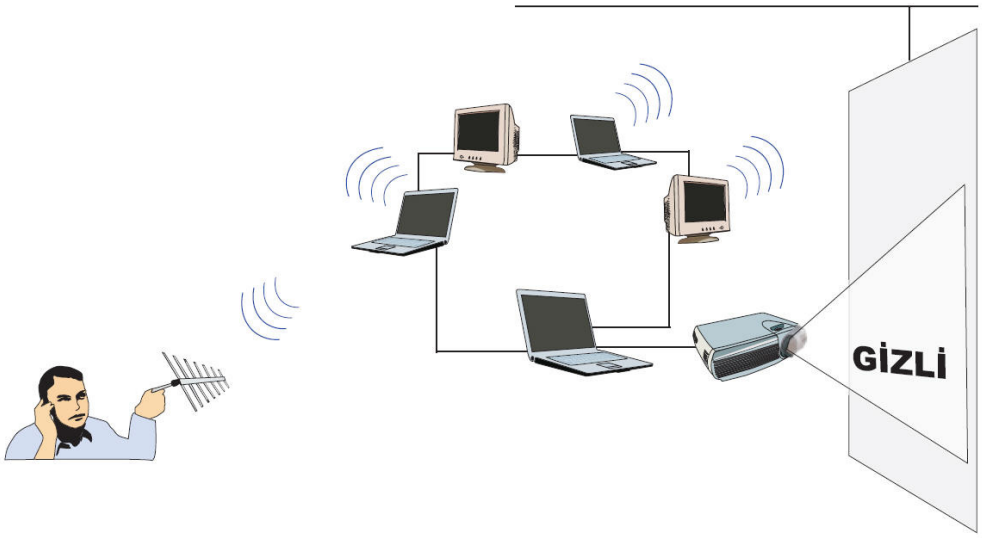
Cihazların diğer cihazlar üzerinde EMI nedeniyle kötüleşmeye yol açmadan ve ortamda bulunabilecek enerjiden etkilenmeden çalışmaya devam edebilmesine ise Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility-EMC) denir [10]. EMC mühendisliği girişim kaynağının etkilerini en aza indirmek, girişimden etkilenen cihazın alınganlığını gidermek ya da girişim yolunu ortadan kaldırmak konuları ile ilgilenmektedir [2].

2.2.2.1. Elektromanyetik Dinleme (TEMPEST)

Elektromanyetik kirlilik tartışmalarının bilinmeyen bir yönü de kirlilikten yararlanmadır. Elektromanyetik kirlilikten, gizli bilgilere erişme adına yararlanma TEMPEST diye adlandırılır. Bir başka ifadeyle TEMPEST, gizlilik dereceli bilgi

işleyen elektriksel ve elektronik teçhizattan kaynaklanan istenmeyen elektromanyetik enerji yayılımlarını ve bu yayılımların araştırılmasını, incelenmesini ve kontrol altına alınmasını ifade terimdir. TEMPEST, fiziksel olarak, EMI'nın doğal bir sonucudur. Şekil 2.5'de TEMPEST problemine ait bir örnek gösterilmiştir [11].

TEMPEST, bilgi casusluğu, istihbarat temeline dayanır. İstihbarat, hasım ve/veya potansiyel hasımlara karşı yürütülen her türlü bilgi/veri toplama ve bunları değerlendirme çalışmalarına verilen ad olarak tanımlanabilir.



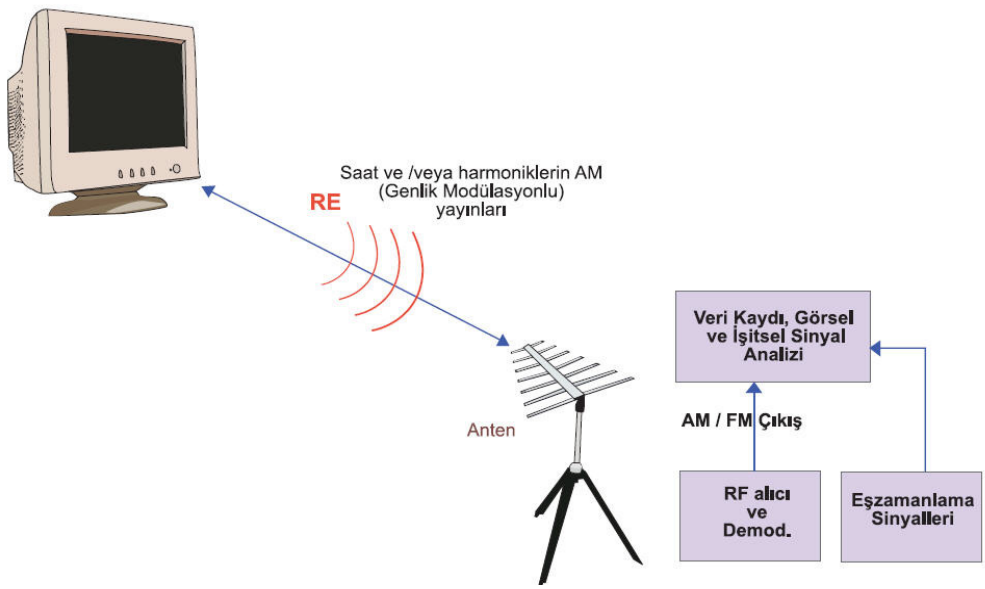
Şekil 2.5. Tempest problemine bir örnek [11].

TEMPEST kavramının ilk ortaya çıkışı üzerine süregelen geniş kapsamlı bir tartışma vardır. Genel olarak söylenen 1. Dünya savaşında İngiliz ve Almanlar tarafından bulunduğu ve 2. Dünya savaşında da Amerikalılar tarafından geliştirildiği biçimindedir. 1. Dünya savaşında çeşitli ülkeler tarafından yürütülen TEMPEST çalışmalarının tam olarak TEMPEST kapsamında olduğunun söylenmesi mantıklı değildir. Ayrıca bu çalışmalar resmi bir kurum tarafından açıklanmadığı için yalnızca söylenti boyutunda kalmaktadır. Dolayısıyla TEMPEST'in keşfinin Amerikalılar tarafından 1943 yılında yapıldığı düşüncesine varılmaktadır.

2. Dünya savaşı boyunca kara ve deniz gizli teleks haberleşme sistemlerinin omurgasını tek kullanımlık şeritler ve basit kripto cihazları (SIGTOT) oluşturmaktaydı. Bu sistemler kripto işlemini 131-B2 olarak adlandırılan Bell-telefon karıştırıcısını

kullanarak gerçekleştirmekte idi. 1943 yılında, bu karıştırıcılardan birisi Bell laboratuarlarında test edilirken bir araştırmacı laboratuar içerisindeki uzak bir noktada bulunan bir osiloskobun ekranında, salt rastlantısal olarak, her işlem adımında bir darbe işareti fark etti. Bu darbe işaretlerini dikkatlice incelendiğinde, açık bilgiyi elde edebildiğini anladı. Böylece ilk TEMPEST kaçağı belirlenmiş oldu [12].

TEMPEST kavramının kamuoyu tarafından ilk olarak duyulması, 1985 yılında Hollandalı araştırmacı Van Eck tarafından yapılan deney sonucunda geliştirilmiştir. Van Eck bilgisayar ekranlarından yayılan emisyonları işleyerek orijinal görüntünün elde edilebilirliğini göstermiştir. Kullandığı düzenek Şekil 2.6' verilmiştir [12].



Şekil 2.6. Van Eck'in bilgisayar ekranında yayılan emisyonları elde etme düzeneği [12].

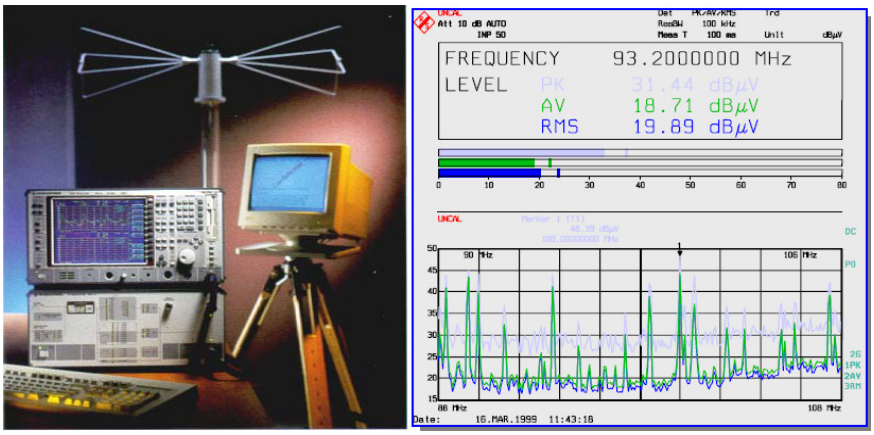
TEMPEST kelimesinin bir kısaltmayı ifade edip etmediği, ediyorsa hangi kelimelerin kısaltması olduğu da oldukça tartışılan bir konudur. Ancak Amerikan Hava Kuvvetleri'nin gizliliğini kaldırarak yayınladığı bir dökümanda TEMPEST, " Transient Electromagnetic Pulse Emanation Standard" ifadesini oluşturan kelimelerin baş harfleri olarak tanımlanmıştır [12].

TEMPEST ile ilgili çalışmalar NATO kapsamında da yapılmakta ve yine GİZLİ gizlilik dereceleri ile sınıflandırılmaktadır. Bunun yanında, özellikle son yıllarda, açık kaynaklarda da konu ile ilgili tartışmalar yoğun olarak görülmektedir [13].

TEMPEST bilgi/veri istihbaratına en yaygın örnek bir bilgisayar ekranından yayılan istem dışı elektromanyetik dalgaların yüzlerce metre öteden kaydedilerek analizidir [10]. Bilgisayarın klavyesinden, ekranından, modem kablosundan ve birçok yerinden yayılan elektromanyetik dalgalar klavyede basılan tuşlara, ekrandaki görüntüye ve modemle bilgisayar arasında geçen bilgilere bağıntılıdır. Yeterli donanıma sahip herhangi biri bu ışınları bir veya iki kilometreye varabilen bir mesafeden kaydedebilir ve ekranda ne göründüğünü, klavyede ne girildiğini veya modemden ne geçtiğini bu ışınları işleyerek tekrar oluşturabilir. Bu ışınların varlığından şüphe duyulduğunda herhangi bir ucuz radyo ile bilgisayarın yaydığı parazitler çeşitli bantlardan (FM, kısa dalgalar,…..) rahatça duyulabilir [14].

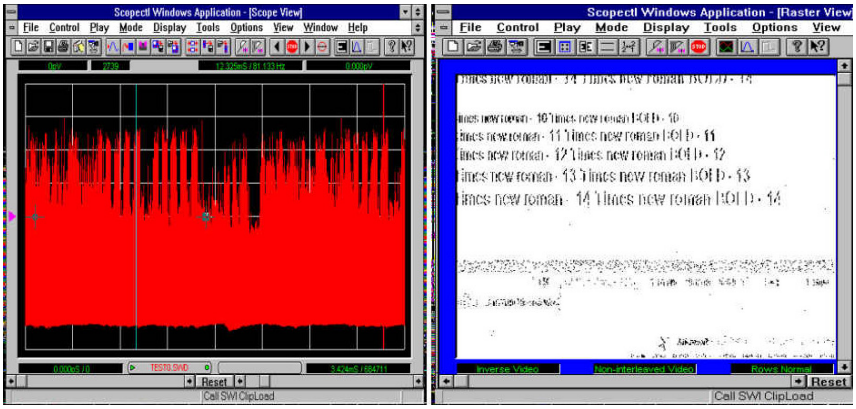
Bütün elektronik cihazlarda işlenen işaretler doğrudan veya dolaylı olarak aletin içindeki bazı elektrik akımlarının şiddetine yansır. Bu değişken elektrik akımları ise onlara dolaylı olarak yol açan işaretlerin frekanslarında kaçak elektrik işaretlerine ve elektromanyetik dalgalara yol açarlar. Bu kaçak işaretler çeşitli yollardan çevreye yayılır. Yayılan bu işaretler özel anten, self gibi aygıtlarla uygun bir işleme devresinden geçirilerek (filtreleme, şiddetlendirme, eksik kısımları yeniden oluşturma...) kullanılabilir şekle getirilir. Bu işaretleri işlemek için en uygun yol doğal olarak sayısal işaret işlemedir. İşaretler yeterli kaliteye sahipse ve radyasyonu yayan aletin çalışma prensibi bu işe uygunsa, örneğin bir bilgisayar ekranı durumunda, benzer bir bilgisayar ekranının girişine eş zamanlama işaretleri tekrar oluşturularak verilebilir. Şayet uygun değilse de yüksek frekanslı ham işaret doğrudan sayısallaştırılıp yazılım (software) olarak dönüşümü gerçekleştirilebilir [14].

Tipik bir TEMPEST alıcısının hemen hemen tüm özellikleri bir spektrum analizörü ya da EMI cihazından çok daha üstün olmak zorundadır. Elektromanyetik sızıntıdan bilgi üretileceği için, geniş bandlı, hassas ve dinamik sınırı yüksek alıcı bir anten ile buna bağlı bir EMI cihazı ve TEMPEST amaçlarına uygun ilave devre ve cihazlarla elektromanyetik dinleme gerçekleştirilebilmektedir. Genelde bu iş için geniş bandlı ve alıcı duyarlılığı hassas bir anten ve spektrum analizörü ve EMI alıcısı kullanılmaktadır. Şekil 2.7’ de bir TEMPEST alıcısı ve anteni ile tipik bir ham veri gösterilmektedir [15].



Şekil 2.7. TEMPEST alıcısı ve kaydedilen işaret örneği [15].

Bilgisayarlar ayrık darbesel işaretlerle çalıştığından geniş bandlı yayılım söz konusudur. Bu nedenle, bilgi kaybı olmaksızın ekran yayılımından tekrar ekran görüntüsünün elde edilmesi, geniş bandlı hassas alıcılarla olasıdır. Şekil 2.7' de 200 MHz band genişlikli ve iyi bir işaret gürültü oranı ile kaydedilen yayılım ve analiz sonuçları gösterilmektedir. TEMPEST istihbaratında işaret gürültü oranının normal haberleşme sistemlerinden çok daha yüksek olması gerekmektedir. Şekilde, gürültü gibi kaydedilen zaman işaretinden ekran çıktısını elde etmek güçlü ve akıllı işaret işleme teknikleri gerektirir.

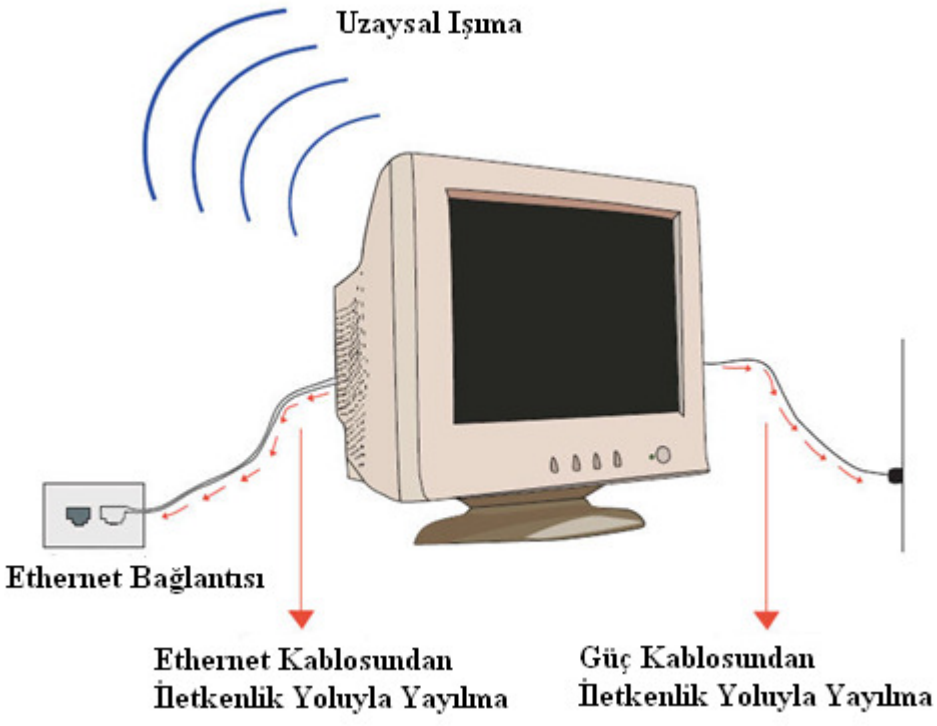


Şekil 2.8. TEMPEST alıcısı ile kaydedilen işaret örneği (solda), işaret işleme teknikleri sonucu elde edilen bilgisayar ekranı (sağda) [15].

2.2.2.1.1. TEMPEST Güvenliği

Elektromanyetik güvenlik (TEMPEST güvenliği), bir bilgisayarın veya herhangi bir elektrik/elektronik aygıtın çalışması esnasında yaydığı elektromanyetik ışınımların üçüncü bir kişi tarafından alınmasını ve/veya elde edilen işaretlerin işlenerek söz konusu elektrik/elektronik aygıtın işlediği bilgilere ulaşılmasını engellemektir. Elektromanyetik güvenlik tele iletişim sistemlerinden, bilgiişlem donatımından, kripto donatımından salımlanan elektromanyetik dalgalardan yetkisiz kişilerin bilgi çıkarsamalarını engelleyici güvenlik önlemlerinin tümü olarak da tanımlanabilmektedir [14].

TEMPEST güvenliğini sağlayabilmek için, ilk olarak gizlilik dereceli bilginin istenmeyen bölgelere hangi yollarla ulaşabileceğini belirlemek gerekir. Bilgi içeren kaçaklar ya uzaysal ışıma yoluyla ya da elektriksel iletkenlik yoluyla istenmeyen bölgelere ulaşabilirler (Şekil 2.9). Uzaysal ışımada yayılımlar havadan enerji yoluyla iletilirken, elektriksel iletkenlikte ise yayılımlar cihazın işaret veya güç kabloları yoluyla ya da cihazın yakınında bulunan herhangi bir metal eleman yoluyla iletilir [11].



Şekil 2.9. Uzaysal ışıma ve elektriksel iletkenlik [11].

TEMPEST kaçaklarının engellenebilmesi, güvenliğin sağlanabilmesi için alınması gereken çeşitli önlemler vardır. Bu önlemler;

- ✓ Binaların olası bilgi kaçaklarına karşı ne derece korumalı olduğunu belirlemek
- ✓ Kullanılacak cihazları test etmek ve uygun bilgelerde uygun cihazları kullanmak
- ✓ Cihazları doğru yerleştirmek
- ✓ Doğru tipte kablo kullanmak ve kabloları doğru döşemek
- ✓ Gerektiğinde uygun güç ve işaret hatı filtreleri kullanmak
- ✓ Doğru topraklama yapmak
- ✓ Gerektiğinde gizlilik dereceli bilgi işlenen bölgeleri elektromanyetik olarak izole etmek

şeklinde sıralanabilir [11].

TEMPEST bina değerlendirmesi ve TEMPEST cihaz değerlendirmesi, TEMPEST önlemlerinin önemli birer parçasıdır. Cihazlar ve binalar TEMPEST değerlerine göre sınıflandırılır.

Cihazların TEMPEST testleriyle ilgili olarak Genelkurmay Başkanlığı tarafından MST 401-1(A) 'Türk Silahlı Kuvvetleri TEMPEST Test Standartları' dökümanı yayınlanmıştır. Bu doküman NATO tarafından yayınlanan SDIP-27 'NATO TEMPEST Requirements And Evaluation Procedures' dokümanının milli eşdeğeridir. Cihazlar bu dokümana göre değerlendirilir ve cihaz değerleri belirlenir [11].

Bina TEMPEST değerlendirmesi, bir bina veya bölge içinde kullanılacak cihaz ve sistemlerin doğru konuşlandırılmaları amacıyla bina içindeki ilgili bölgelerin elektromanyetik açıdan zayıflatma karakteristiklerinin yerinde test edilerek sınıflandırılmasıdır. Diğer bir deyişle bina TEMPEST değerlendirmesi binaların olası kaçak işaretlerinin istenmeyen bölgelere ulaşmasına karşı direncini karakterize eder [16].

Hassas bilginin işlendiği bölgenin binada bulunduğu konum zayıflatma değerlerine etki eder. Örneğin penceresi olmayan bir oda, zemin altında bulunan bir bölge veya dış alana mesafe olarak çok uzakta olan bir binanın zayıflatması yüksek olacaktır. Aynı şekilde bina ve dış alan arasında ağaçlıklı bir bölge olması veya tamamen açık bir alan olması da sonuçları olumlu veya olumsuz etkileyebilir.

Bina TEMPEST değerlendirmesi ile ilgili bilgiler Genelkurmay Başkanlığı tarafından yayınlanan MY 401-1(A) 'Türk Silahlı Kuvvetleri TEMPEST Yönergesi'nde yer almaktadır. Bina değerlendirmesi konusundaki bilgiler NATO tarafından yayınlanan SDIP-28 'NATO Zoning Procedures' dokümanı ile eşdeğerdir [11].

TEMPEST önlemleri kapsamında yapılacak bina değerlendirme ölçümleri sonucunda hassas bilginin işlendiği bölgeler için bina TEMPEST değerleri belirlenir. Bu değerler kullanılarak binanın bütünü için bir TEMPEST değer haritası oluşturulur. Kullanıcılar bu bina değerlerinin göz önüne alarak hassas bilgi işlemede kullanacakları cihazları ve tesisat kurallarını belirlemek zorundadır [16].

Düşük zayıflamalı bölgelerde TEMPEST açısından daha iyi özelliklere sahip cihazlar veya elektromanyetik radyasyonu ekranlama yeteneğine sahip çeşitli malzemeler kullanmak gereklidir.

2.3. Elektromanyetik Alanlardan Korunmada Kullanılan Malzemeler

Ekranlama amacıyla kullanılacak malzeme; iyi elektrik iletkenliğine (dalgaların malzemeye nüfuzunu mimimize etmek için) ve yüksek manyetik geçirgenliğe sahip olmalıdır (manyetik enerjiyi ısıya çevirmek için) [9].

Yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemeler yüksek frekans aralığında (>300MHz) elektromanyetik ekran olarak davranabilirler. Pratikte, iyi iletkenler elektrik bileşeni E ve manyetik bileşeni H'ı eşit olarak azaltırlar. Frekansın 30 MHz'den düşük olduğu durumlarda manyetik bileşen H'ın azaltılması çok zordur ve sadece ferro-manyetik malzemelerle mümkündür [17]. Bu yüzden elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, manyetik ekranlama ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır [18]. Bazı uygulamalarda, sadece elektrik bileşeni E'nin

azaltılması yeterlidir [17]. Alüminyum folyodan oluşan ince metal perdeler bile bazen yeterli elektriksel ekranlama sağlayabilir [19].

Elektromanyetik radyasyona karşı elektriksel olarak iletken tekstiller de iyi ekranlama malzemesi olarak kullanılabilirler. Tekstil bariyerleri, esnekliklerine, hafifliklerine, dayanıklılıklarına, kolay bakım ve iyi dikilebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Bu özellikler, elektrosmoga karşı potansiyel uygulama alanlarını, iç giyimden (pijama, gecelik), ev tekstilleri, çarşaf, battaniye, perde, duvar kâğıdı, spor kıyafetleri, çeşitli iş ve koruyucu giysilere kadar genişletmektedir. Tekstil ürünlerine elektriksel olarak iletken özellik kazandırmak için uygulanan yöntemleri genel olarak 3'e ayırmak mümkündür:

- Elektriksel olarak iletken polimerlerin kullanımı,
- Elektriksel iletkenlik kazandıracak kaplama tekniklerinin uygulanması,
- Elektriksel olarak iletken ipliklerin kullanımı.

2.3.1. Klasik Malzemeler

Elektromanyetik ekranlamada kullanılan klasik malzemeler; metal levha, metal ağ, metal köpüğü olarak sıralanabilir. Ekrandaki ya da ağdaki delikler dışarıda tutulan radyasyonun dalga boyundan kayda değer şekilde küçük olmalıdır, aksi takdirde muhafaza etkin bir koruma sağlayamaz [9]. Bu tip malzemeler; radyo dalgaları, görünür ışık, elektromanyetik ve elektrostatik alanların etkisini azaltmaktadır. Bu azalmadaki miktar:

- Kullanılan malzemeye,
- Ekranı oluşturan parçaların birleştirilme şekline,
- Elektromanyetik dalganın frekansına, bağlıdır [9, 20].

2.3.2. Kompozit Malzemeler ve İletken Polimerler

Birbirlerinin zayıf yönlerini dengeleyerek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denilmektedir [21].

Kompozit malzemelerin kullanımı metallere göre sağladıkları üstün özellikler nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, bu malzemelerin hafif konstrüksiyonlarda kullanımında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, lif takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır [22].

Elektromanyetik girişime karşı ekranlamada kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılan iki metot; plastik yüzeyini iletken bir malzeme ile kaplamak ve polimeri iletken bir dolgu malzemesi ile birleştirmek şeklinde belirtilebilir [3].

Özellikle plastik muhafazaya sahip elektronik aletlerde, muhafazanın iç yüzeyini metalik mürekkep veya benzer malzeme ile kaplamak, yaygın olarak kullanılan bir ekranlama metodudur. Mürekkep uygun bir metal ile yüklenmiş çok küçük partiküller halindeki taşıyıcı materyalden oluşur. Bu mürekkep muhafazaya püskürtülür ve kuruduktan sonra, sürekli iletken bir metal tabaka oluşturarak etkin bir ekranlama sağlar [9].

İletken dolgu malzemesi kullanımında, dolgu malzemesi olarak iletken liflerin kullanımı; iletkenliği sağlamakla kalmayıp oluşan kompozit yapının dayanımını da arttırmaktadır [3]. Chiang ve Cheng tarafından yapılan bir çalışmada, iletken plastik, çift vidalı ekstruderde iletken karbon lifinin akrilonitril-bütadien-sitren (ABS) ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada farklı proses şartlarında üretilen plastik malzemeler için elde edilebilen en iyi ekranlama değeri 30 desibel (dB) bulunmuştur [22]. ABS reçineleri, iyi fiziksel özellikleri ve diğer mühendislik polimerlerinden oldukça düşük maliyetleri nedeniyle, elektronik ev cihazlarında, iletken kompozitlerin bir matrisi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. İletken karbon lifinin eldesinin kolay olması ve diğer metal liflerden ucuz olması, ekranlama amacıyla üretilen kompozit malzemelerde karbon lifinin kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Kompozit malzemedeki karbon lif içeriği ve lif uzunluğunun, EMI önlemede iki önemli faktör olduğu da belirtilmiştir [3].

Yang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada paslanmaz çelik lifler ve nikel kaplı grafit lifler ile doldurulmuş, enjeksiyonla şekil verilmiş ABS disklerin EMI ve SE

değerleri araştırılmıştır. Çalışmada; aynı şartlarda (lif uzunluğu ve ağırlık yüzdesi olarak), paslanmaz çelik lif doldurulmuş disklerin, nikel kaplı grafit lif doldurulmuş disklere göre SE değerlerinin daha iyi olduğu ortaya konulmuştur [23].

Günümüzde nano karbon lifi ve karbon nanotüp uygulamaları da artmıştır. Düşük miktarlarda karbon nanotüp uygulandığında bile yüksek iletkenlikler elde edilmiştir [3].

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin art arda dizilmesiyle oluşan uzun zincirli yapılardır. Bu yapılar naylon poşetlerden, araba lastiklerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Polimerlerin elektronik parçaların iç kısımlarında kullanımına sık rastlanmaktadır. Bu tip uygulamalarda tasarımcılar, yükü dağıtan ve elektromanyetik enerjiyi ekranlayan termoplastik malzemelere ihtiyaç duymaktadırlar [24]. Polimerlerin elektrik iletkenliğini arttırmak için iletken veya katkı maddeleri ile karıştırılması gerekmektedir. İletken polimer materyaller elde etmek için şimdiye dek, kesikli paslanmaz çelik lifleri, karbon parçaları, kesikli karbon lifleri gibi lifler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. [25].

İletken polimerler askeri amaçlarla, sağlık bilimleri, elektronik, bilgisayar teknolojisi gibi pek çok alanda kullanım alanı bulmuşlardır. 1979'da polipinol denen malzemenin, elektrolitik yöntemlerle elektrot üzerinde üretildiğinde kendiliğinden iletken hale geldiği saptanmıştır. Bir süre sonra da pirol ve tiyofen adı verilen malzemelerin türevlerinden iletken maddelerin sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu polimerler, bazı özel uygulamalar için (örneğin iletken polimerler) çok düşük akımlar üretmeleri ve çok uzun ömürlü olmaları nedeniyle kalp pillerinde elektrod olarak kullanılmışlardır. Bu malzemelerin elektromanyetik ekranlamada da kullanılabileceği anlaşılmıştır. Radyo frekansı ya da kızılötesi dalgalar gibi gönderilen bütün radyasyonu emdikleri için bu polimerler radar dalgalarına karşı görünmez cihazların yapımında kullanılmışlardır [26].

Lee ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; Polianilin ile gümüş, grafit ve siyah karbon gibi iletken tozların karışımlarının EMI ve SE değerleri, ASTM D4935-89 tekniği ile 10 MHz–1 GHZ frekans aralığında ölçülmüştür. Polianilin, polipyrol ve poliasetilenin, bakıra kıyasla yüksek ekranlama verimliliği gösterdiğini belirtmişlerdir [3, 27]. İletken polimerler; yüksek özgül dayanım, sertlik ve film formuna dönüştürme avantajları nedeniyle giderek daha fazla önem arz etmektedirler. Ancak bu polimerler oldukça

pahalıdırlar. Olası “plastik metal” malzemeler; antistatik kaplamalar, EMI koruma ve düşük gramaj, esneklik ve yüksek iletkenliğin gerekli olduğu; tekstil, elektronik, haberleşme, savunma sanayi ve diğer alanlarda kullanılabilecektir [3].

2.3.3. Elektro-İletken Boyalar

Elektro-İletken boyalar, nikel, bakır, gümüş veya grafit tozu gibi elektriksel olarak iletken dolgu maddesi ile karıştırılmış akrilik, akrilik-üretan ve üretan reçine gibi yapıştırıcılardan oluşan katı madde içeriğine sahiptir. Elektro-iletken boyanın ekranlama kapasitesi, boyanın kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle fonksiyonel amaçlar için boyayı kalın ve uniform uygulamak önemlidir [28].

Şekil 2.10’da ekranlama amacıyla kullanılan koruma boyalarının örnek bir uygulaması görülmektedir. Örnekte boyanın uygulama amacı konut yakınında bulunan cep telefonu baz istasyonunun yaydığı radyasyona karşı koruma sağlamaktır. Boya uygulamasından önce 789 W/m^2 olan radyasyon seviyesi/güç değişim yoğunluğu (power flux density) boyama sonrası 0.47 µ/m^2 ‘ye düşmüştür [29].



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.10. Ekranlama amacı ile kullanılan koruma boyası uygulaması, (a) Cep telefonu baz istasyonu**,** (b) Koruma boyasının uygulanması, (c) Radyasyon seviyesi / güç değişim yoğunluğu [29].

2.3.4. İletken İplikler ve Kumaşlar

Sınırlı mekanik esneklik, ağırlık, korozyon ve ekranlama verimliliğini ayarlama zorluğu klasik ekranlama malzemelerinin dezavantajlarıdır. Klasik ekranlama malzemelerin bu dezavantajlarından dolayı ekranlamada daha hafif, esnek ve nispeten de daha düşük maliyetli tekstiller tercih edilmektedir.

Elektromanyetik ekranlama özelliği gösteren tekstil yapılarını iletken iplik kullanılarak üretilen tekstiller ve çeşitli bitim işlemleri ile iletkenlik özelliği kazandırılan tekstil yüzeyleri olarak iki grup altında inceleyebiliriz.

İletken iplikleri de dört temel grup altında incelemek mümkündür:

1. Kesik elyaf ya da kontinü halde % 100 metal iplikler.
2. Kesik elyaf ya da kontinü halde % 100 iletken sentetik iplikler.
3. Kesik elyaf/kontinü metal ipliklerin sentetik veya doğal liflerle karışımı şeklinde üretilen iplikler.
4. Kesik elyaf/kontinü halde iletken sentetik ipliklerin sentetik veya doğal liflerle karışımı şeklinde üretilen iplikler.

% 100 metalin kontinü halde çıplak olarak kumaş üretiminde kullanımı üretim ve kullanım esnasında çeşitli problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu yüzden metal ipliklerin sentetik veya doğal liflerle karışımı şeklinde üretilen iletken iplik kullanımı tercih edilmektedir. Tekstilde iletken iplik üretiminde yaygın olarak paslanmaz çelik, gümüş ve bakır gibi metaller ve iletken sentetik iplikler kullanılmaktadır. Metaller kullanılarak üretilen iletken ipliğin iletkenlik derecesi, kullanılan metalin iletkenlik derecesine ve metalin iplikteki oranına bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan metaller arasında iletkenlik derecesi en yüksek olan metal bakırdır.

Kesik elyaf/kontinü metal ipliklerin sentetik veya doğal liflerle karışımı şeklinde üretilen metal iplikler farklı üretim yöntemleri ile elde edilebilirler.

Literatürde, iletken ipliklerle ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Lou, çalışmasında modifiye edilmiş ring iplik eğirme makinelerinde elastan yerine bakır ve paslanmaz

çelik tel kullanmıştır. Lou, merkezde kullanılan metal tipinin, besleme pozisyonunun, fitil tipinin, büküm seviyesinin ve üretilen iplik numarasının üretilen core-spun ipliklerin tüylülük ve mukavemet özelliklerini ne şekilde etkilediğini incelemiştir [30]. İletken kompozit core spun iplik; anti-elektrostatik ve elektromanyetik radyasyona karşı ekranlama özelliğine sahip örme ve dokuma kumaşların üretiminde kullanılabilir.
Başka bir çalışmada Cheng ve arkadaşları, açık-uç friksiyon iplik eğirme tekniği ile çalışan DREF III model makinede merkezinde paslanmaz çelik tel, örtü lifi olarak ise paslanmaz çelik, kevlar ve viskon kesik elyafının kullanıldığı iplikler üretmişlerdir. Ardından bu iplikleri, farklı konstrüksiyonlardaki dokuma kumaşların üretiminde kullanmışlardır. Üretilen kumaşlara uygulanan testlerle, kumaşların, elektriksel olarak iletkenliği ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikleri araştırılmıştır [31].

Chen ve arkadaşları kaplama metodu ile ürettikleri, merkezde bakır, sargı lifi olarak da paslanmaz çelik içeren kompozit iplikleri, dokuma ve örme tekniklerinin bir arada kullanıldığı bir sistemle kumaş haline getirmişlerdir. Ardından bu kumaşları, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte kompozit malzeme üretiminde güçlendirici eleman olarak kullanmışlardır [32].

Ueng ve Cheng, açık-uç friksiyon iplik eğirme tekniği ile kompozit iplikler üretmişlerdir. Ardından bu ipliklerden mamul iletken dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama ve elektrostatik deşarj özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kumaşların elektromanyetik ekranlama özelliği ile elektrostatik deşarj özelliğinin, kumaşın konstrüksiyonuna, sıklıklarına ve yapısındaki iletken madde oranına göre değiştiğini belirtmişlerdir [33].
Elektromanyetik alanların zararlı etkilerinden korunmak amacı ile iletken ipliklerden üretilen dokuma ve örme kumaşlar kullanılabilmektedir. Tekstil yüzeylerinin elektromanyetik ekranlama özelliği göstermesi için sürekli bir iletken yüzey elde edilmesi gerekli değildir. Özünde iletken bir tel (paslanmaz çelik, bakır) ihtiva eden özlü ipliklerden oluşturulan yüzeyler, atkı boyunca ve/veya çözgü boyunca iletkenlik sağlarken, ekranlama etkisi de sağlamaktadırlar. Bu iplikler kullanılarak oluşturulan örme veya dokuma yüzeylerinin ekranlama verimliliğinin atkı ve çözgü sıklığı artışı ile de arttığı belirlenmiştir [3].

Belirli kimyasal bileşenler (örneğin dördüncül amino tuzlar, yağ asitlerinin modifiye esterleri, poliglikol türevleri ve fosforik asit esterleri) içeren anti-elektrostatik terbiye işlemleri de tekstil ürünlerinin elektro-iletkenliklerini artırmanın geleneksel yöntemlerindendir. Ancak, elyaf yüzeyinde birikinti yapmaya dayanan bu metotlar, ürünün kullanımı esnasında düşük yıkama ve sürtünme dayanımlarından dolayı istikrarlı bir iyileştirme etkisini garanti etmezler [34].

Literatürde iletken tekstil yüzeyleri ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Cheng ve arkadaşları çalışmalarında özlü iplik kullanarak, değişik örgü ve değişik sıklıklarda oluşturdukları dokuma kumaş yapılarında 30 MHz–3000 MHz frekans aralığında, 30-50 dB koruma verimliliği değerlerini belirlemişlerdir [3].

Aniołczyk ve arkadaşları, çalışmalarında elektrik iletken tekstilleri elektromanyetik ekranlama malzemesi olarak pratikte kısa-dalga ve mikrodalga diyaterminin (elektrik akımıyla vücut dokularına ısı verme) kullanıldığı fizyoterapi odaları için uygulamışlardır. Aniołczyk ve arkadaşlarının çalışmalarında, Tekstil Araştırma Enstitüsü'nde (Lodz, Polonya) üretilen Nitril-Static (Cu_xS_y ile modifiye edilmiş PAN lifleri) lifleri ile üretilmiş kumaşların iyi ekranlama verimliliği sağladığı görülmüştür. 2001 yılında tekstil malzemeleri kullanılarak iki hastanenin rehabilitasyon odaları ve bir tıbbi servis odasına ekranlama yapılmıştır [17].

Pinar ve Michalak çalışmalarında insan sağlığını statik elektriğe karşı korumak için üretilen koruyucu örgü kumaşların elektrostatik özelliklerini incelemişlerdir. Elektro-iletken elyaflar içeren iplikler kullanarak istikrarlı anti-elektrostatik özelliklere sahip örgü kumaşlar geliştirmişlerdir. [34].
Elektromanyetik radyasyondan korunma için üretilen tekstil yüzeylerinin kullanım alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Bebekler için özel ürün ve aksesuarlar
    - Bebek sepetleri, Bebek elbiseleri, Bebek tulumları, Bebek battaniyeleri, Cibinlikler
- Telekomunikasyon sektörü çalışanları ve radara maruz kalan çalışanlar için koruyucu iş kıyafetleri ve iç çamaşırları

- Hamileler için özel ürünler
- Tıpta Kullanılan Hassas Medikal Ürünlerin ve Cihazların Korunması

Hastanelerde bulunan bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans, mammografi, kemik dansitometri, renkli doppler, ultrasonografi vb. gibi son derece hassas cihazların bu kullanımlardan oluşan manyetik alanlardan etkilenmesi söz konusudur. Yüksek hassasiyet gerektiren bu cihazların bulunduğu odalarda kalkanlama perdelerinin kullanılması halinde manyetik alanları %99 gibi çok yüksek bir oranda azaltmak ve hassas teknik ekipmanların çok daha sorunsuz ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak mümkündür.

- Ses kayıt stüdyolarında daha net kayıt yapmak, endüksiyon ve karışımı azaltmak için kalkanlama kumaşları power kablolarında ve cdp üstüne sarılarak kullanılabilir.
- Kalp pili kullanan hastalar için özel kıyafetler
- Hastane önlükleri

Şekil 2.11' de elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan kumaşların kullanım alanlarına çeşitli örnekler görülmektedir.



(a) (b) (c)

Şekil 2.11. Elektromanyetik radyasyondan koruyucu tekstil ürünlerinin çeşitli kullanım Alanları, (a) Koruyucu cibinlik, (b) Koruyucu giysi, (c) Hastane önlükleri.

Elektromanyetik radyasyon cephane çeşitlerini de etkileyebilmektedir. Bu yüzden tanksavar mayınlar ve güdümlü roket gibi silah sistemlerinin kullanımı yüksek derecede sorumluluk ve tedbir gerektirmektedir. Böyle silahların elle ve araçla taşınması,

depolanması sırasında hiç kimsenin risk altında olmaması sağlanmalıdır. Aynı zamanda taktiksel hareket kabiliyetinin elektromanyetik radyasyondan olumsuz olarak etkilenmeyeceği de garanti edilmelidir.

Elektromanyetik alan seviyesi çok yüksek ise, elektromanyetik radyasyon silah sistemlerine zarar verebilir. Elektrik akımı silahın içine geçebilir. Bu akım istenmeyen bir ateşlemeye, insanlar ve nesneler üzerinde bu ateşlemeden kaynaklanan büyük bir zarara neden olabilir. Silahın içerisine geçen akım ayrıca, silah sisteminin bileşenlerinde sıcaklık artışını meydana getirir. Eğer ısı belli bir seviyeyi geçerse bileşen zarar görecektir. Silah çalışması gerektiği halde çalışmayacaktır. Tank savar roketinin elle ve vasıtayla taşınmasına sadece sınırlı koşullar altında izin verilmektedir. Örneğin; tank savar roketlerinin, herhangi koşul ve zamanda RF koruması olmadan helikopter ve uçakla taşınmasına izin verilmez. Bu yüzden bütün milletler tank savar roketler için RF koruyucu çantalarının kullanımının gerekli olduğunu belirtmiştir. Geliştirilen RF koruyucu çanta bütün elektromanyetik alanlar için çok etkili bir çözümdür ve elle taşınımı kolaydır. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çantalar, elektrik, manyetik ve elektromanyetik alan etkisini oldukça zayıflatan çok dayanıklı bir tekstil malzemesinden yapılır. Bu çantaların koruma faktörü, elektromanyetik radyasyondan kaynaklanan herhangi bir olumsuz etkiyi engelleyebilecek kadar yüksektir. Şekil 2.12'de elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta örneği görülmektedir.



Şekil 2.12. Elektromanyetik alanlardan koruyucu çanta.

2.4. Tekstil Malzemelerinin Ekranlama Etkinliği Ölçümü

Bu bölümde ilk olarak ekranlama ve ekranlama teorisi anlatılmış ardından da ekranlama etkinliği (SE- Shielding effectiveness) ölçüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

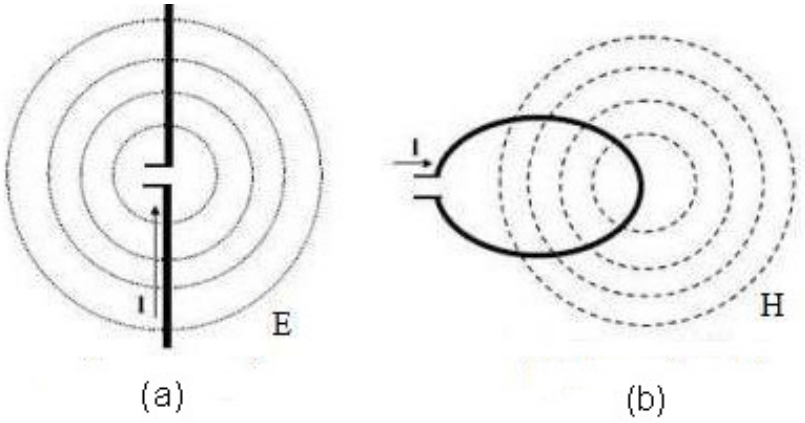
2.4.1. Ekranlama ve Ekranlama Teorisi

Elektromanyetik alanlar frekansa bağlı olarak farklı davransalar da genellikle kendilerini oluşturan kaynaktan uzaklaştıkça şiddetlerinde hızlı azalma görülür [1]. Elektromanyetik radyasyondan korunmanın en basit ve etkili yolu, elektromanyetik radyasyon kaynağından uzak durmaktır. Fakat bu her zaman mümkün olmayacağı için farklı korunma yöntemleri geliştirilmiştir. Ekranlama, elektromanyetik radyasyondan korunmadaki başlıca yöntemlerden birisidir.

Ekranlamayı basit olarak; bir elektronik ürünün tamamının veya bir kısmının metalik bir muhafaza ile tamamen kapatılması şeklinde ifade etmek mümkündür. Ekranlama için kullanılan malzemeye de ekran denir.

Bir ekranın görevi, dâhili bozucuları içeride, harici bozucuları dışarıda tutarak ışıma yollu girişimi önlemektir [35]. Ekranlamanın etkili olması ekranlanacak kaynağın cinsine bağlıdır. Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility - EMC) problemlerinde iki tip girişim kaynağı söz konusudur; elektrik dipol gibi davranan kaynaklar, manyetik dipol gibi davranan kaynaklar (Şekil 2.13.). Elektrik dipolü birbirine çok yakın iki zıt yük (ya da eşdeğer olarak içinden akım akan çok küçük doğrusal bir iletken) ile oluşur. Elektrik dipolü, etrafında elektromanyetik alanlar oluşturur. Elektrik dipolünün yakın civarındaki elektromanyetik alanların baskın bileşeni elektrik alandır. İçinden akım akan halka şeklindeki parçalar ise manyetik dipol gibi davranır. Manyetik dipollerin de etrafında elektrik ve manyetik alanlar oluşur. Manyetik dipolün yakın civarında ise şiddet olarak manyetik alan bileşeni, elektrik alan bileşenine göre çok güçlüdür. Elektrik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında elektriksel ekranlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında manyetik ekranlama gereklidir [2].

Manyetik ekranlama pratikte düşük frekanslarda ($f < 30$ MHz) önemlidir. Manyetik ekranlamada zayıflama frekansla artar. Ekran içindeki direnç mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Delikler ve açıklıklar daha az önemlidir.



Şekil 2.13. Temel elektrik alan ve manyetik alan kaynakları, (a) Elektrik dipol, b) Manyetik dipol [1].

Elektriksel alan ekranlama pratikte yüksek frekanslarda (f > 30 MHz) önemlidir. Değişik parçalar arasındaki kontak direncinin kalitesi önemlidir (izole edilmiş parçalar anten gibi davranır). Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkiler [19]. Elektromanyetik alanı tanımlamada kullanılan belirleyici parametrelerden birisi de dalga empedansı Z=E/H olarak bilinen, elektrik alan bileşeni E'nin manyetik alan bileşeni H'a oranıdır.

Kaynak-ekran arasındaki uzaklık; dalga boyu (λ)=Işık hızı (c = $3x10^8$ m/s) / frekans (f) olmak üzere λ/2π'yi aştığında her iki dipol için de aynı dalga empedansına ulaşılmaktadır. Bu değer uzak alan için açık uzayda veya havada etkileşimli yayılma ile dalga empedansı $Z=Z_0=377\ \Omega$ olup, boşluk dalga empedansı adını alır. λ/2π değeri yakın alan/uzak alan sınırı olarak kabul edilmektedir. Bazen güvenlik payı olarak bu değerin iki katı alınmaktadır [2].

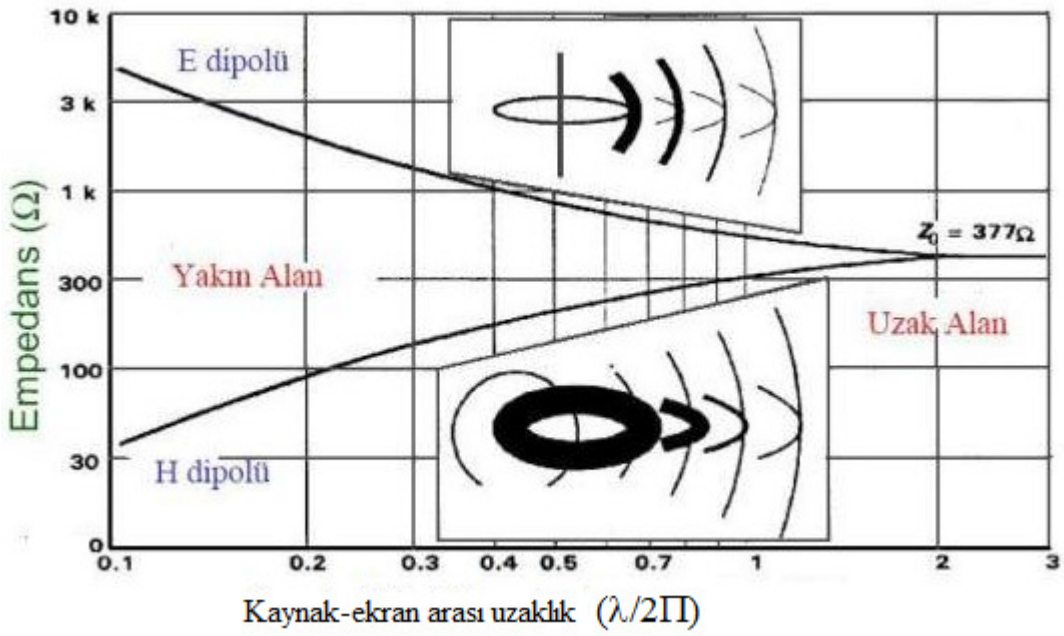
Elektromanyetik radyasyon kaynağının etrafındaki alanı 3'e ayırabiliriz (Şekil 2.9).

- Yakın Alan (İndüksiyon) Bölgesi: Kaynağın yüzeyinden λ/2π'ye kadar olan uzaklıktaki bölgeye yakın alan bölgesi denilir. Yakın alanda empedans, elektromanyetik alan kaynağının özelliklerine, kaynağın ölçüm noktasına uzaklığına ve yayılma ortamı parametrelerine bağlıdır.

- Uzak Alan (Işıma) Bölgesi: λ/2π uzaklıktan başlayıp sonsuza kadar uzanan bölgeye uzak alan bölgesi denilir. Bu bölgedeki elektromanyetik dalga düzlem dalga olarak adlandırılır. Çünkü yayılan dalganın cephesi düzlem olarak kabul

edilir. Bu bölgede elektrik ve manyetik dipol kaynaklarının etkileri açısından bir fark yoktur.

- Geçiş Alanı: Yakın ve uzak alanın sınırındaki bölgeye geçiş alanı denilir [36].



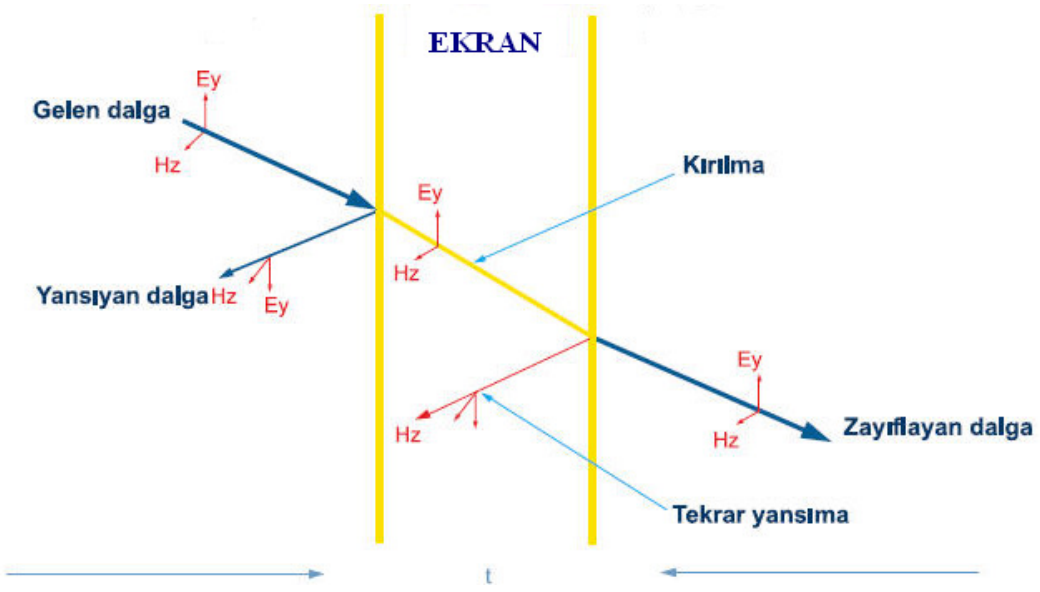
Şekil 2.14. Bir elektromanyetik etkileşim kaynağının etrafındaki tipik alanlar [2].

Şekil 2.14'de yatay eksen dipolden itibaren uzaklığı, düşey eksen ise dalga empedansını göstermektedir. Şekil 2.14'de görüldüğü gibi elektrik dipolün yarattığı dalgaların dalga empedansı dipol yakınında çok yüksektir (5-10 kΩ kadar olabilmektedir). Oysa manyetik dipolün yarattığı dalgaların empedansı birkaç ohm'lar seviyesindedir.

Manyetik alanların elektrik alanlar ile ilişkisi ilk kez 19. Yüzyılda fizikçi James Clerk Maxwell tarafından açıklanmıştır [1]. Elektromanyetik teorinin temeli olan Maxwell denklemleri zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alan oluşturması gibi, zamanla değişen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını belirtmektedir. Bir düzgün (üniform) düzlem dalga; E'nin (Aynı zamanda H'ın) yayınım yönüne dik sonsuz düzlemler içinde, aynı yöne, aynı büyüklüğe ve aynı faza sahip olduğunu kabul ederek elde edilen, Maxwell denklemlerinin özel bir çözümüdür. Düzgün düzlem dalga uygulamada mevcut değildir. Çünkü böyle bir dalga oluşturmak için sonsuz genişlikli bir kaynak gerekir, fakat pratik dalga kaynakları daima sonlu genişliktedirler. Ancak, bir

kaynaktan yeterince uzaktaysak, dalga cephesi hemen hemen küresel hale gelir ve büyük bir kürenin çok küçük bir kısmı yaklaşık olarak düzlemdir [37].

Elektromanyetik alan bir cismin içinden geçtiğinde, cisimle etkileşime girdiğinde alanın gücünün nasıl azaldığını belirleyen üç olay vardır; absorbsiyon ile zayıflama, yansımaya bağlı zayıflama ve çoklu yansımaya bağlı zayıflama (ikincil yansıma kayıpları). Çoklu yansımaya bağlı zayıflamalar genellikle ihmal edilmektedir [36]. Şekil 2.15'de kalınlığı " t " olan kayıplı bir duvarda ekranlama için mekanizma gösterilmiştir [2, 19].



Şekil 2.15.Kalınlığı t olan duvarın ekranlama etkinliği.

Bir elektromanyetik dalga bir cismin yüzeyine çaptığında, cisimdeki yükleri kendisi ile aynı frekansta salınım yapmaya zorlar. Bu zorlanmış salınım yapan yük bir anten gibi davranır ve mevcut dalgayı geri yansıtarak yansımaya neden olur [3, 38, 39]. Bir başka ifade ile dalganın uzaydaki empedansı ekrandaki empedansından farklı olduğunda elektromanyetik ekrandan yansıma olur. Bu ekranın kalınlığından bağımsız ve materyalin iletkenliğinin, manyetik geçirgenliğinin ve frekansın bir fonksiyonudur. Dalga empedansı, manyetik alanlar (düşük empedans) ve elektrik alanlar (yüksek empedans) için farklı olduğundan her dalga tipi için ekrandaki yansıma farklı karakteristikler gösterir. Metaller gibi elektrik iletken materyaller elektromanyetik alanların ekranın içine işlemesini önleyecek şekilde yansıtır [38]. Yansıma, ekran özellikli malzemenin hem dış yüzeyinde, hem de iç kısmında gerçekleşmektedir. Ayrıca mevcut elektrik alan etkisi ile kutuplaşan zıt yükler, ters yönlü bir elektrik alan

oluştururlar ki bu da elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşenini zayıflatır [3, 38, 39].

Elektromanyetik dalgaların tamamı geri yansıtılmayıp bir kısmı bariyeri geçerek ölçülen sinyali oluşturur. Bu bariyerin etkisi ile elektromanyetik alan birçok yönde yayılarak saçılır. Elektromanyetik dalganın bir kısmı titreşime zorlandığından enerji ısı formunda kaybedilir. Bu şekildeki elektromanyetik enerji kaybı absorbsiyon nedeni ile azalma şeklinde tanımlanabilir. Elektromanyetik ekrandaki absorbsiyon elektromanyetik enerjiyi termal enerjiye çevirir. Elektromanyetik soğurucu ekranlar istenmeyen elektromanyetik dalgaları zayıflatır ve böylece elektromanyetik girişimi (EMI-Electromagnetic Interference) çözer. Absorbsiyon kaybı alanın dalga empedansına bağlı değildir ve bundan dolayı yakın veya uzak alan şartları ile de ilgili değildir .

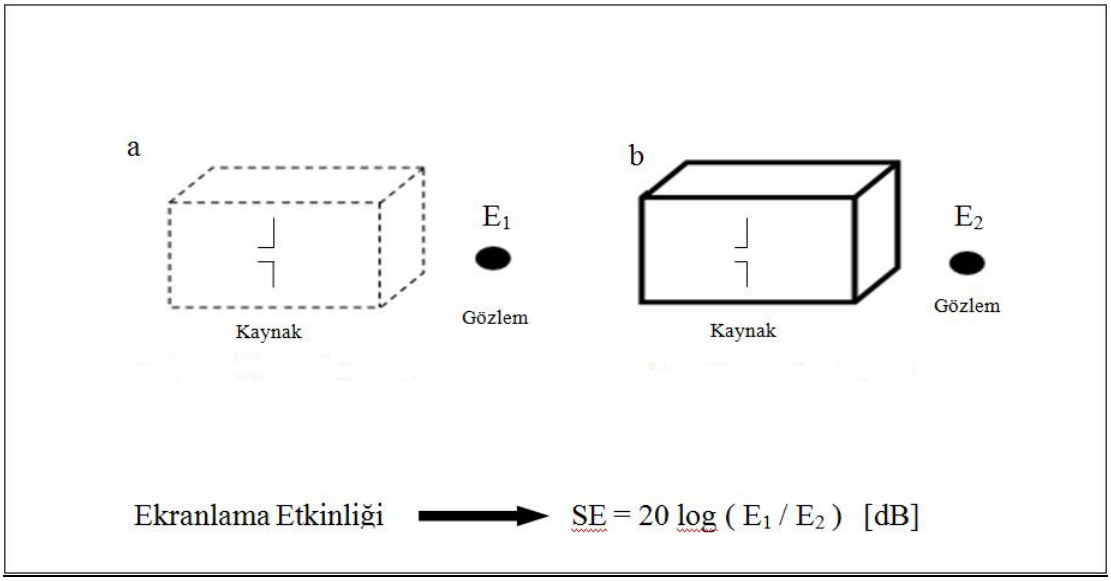
Metalik yüzeye çarpan bir elektromanyetik dalganın bir kısmı geri yansıtılırken diğer kısmı da ortamdan geçtiği esnada iletilir ve zayıflar. Bu kayıpların (yansıma ve absorbsiyon) kombine efekti ekranın etkinliğini (SE-Shielding effectiveness) belirler. Ekranlama etkinliği frekansla, ekran geometrisiyle, ekranın içerisindeki yerleşimle, zayıflatılan alan tipiyle, çarpma yönüyle ilişkilidir [38].

SE, ekranlamanın tipik bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. SE, kaynak ile gözlem noktası arasında ekran yok iken ölçülen (ya da hesaplanan) elektrik alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranı şeklinde tanımlanmaktadır [19]. Bu durum şekil 2.16'da gösterilmiştir.

Ekranlama etkinliği hesaplanırken (2.2) ve (2.3) denklemleri kullanılabilir [3, 38].

$$SE = \frac{10 \log P_1}{P_2} \tag{2.2}$$

$$SE = \frac{20 \log E_1}{E_2} \tag{2.3}$$



Şekil 2.16. Ekranlama etkinliğinin tanımı, (a) Ekran yok iken yapılan ölçüm, (b) Ekran varken yapılan ölçüm [19].

P_1 = Ekran olmadan alınan güç (watt)

P_2 = Ekran varlığında alınan güç (watt)

E_1 = Ekran olmadan ölçülen alan şiddeti (volt/m)

E_2 = Ekran varlığında ölçülen alan şiddeti (volt/m)

SE frekansla değişmektedir. Değişimin nasıl olacağı ise ancak ölçü ya da sayısal benzetimler yoluyla saptanabilmektedir.

SE değeri ekranlama etkinliğini gösteren logaritmik bir değerdir. Elektrik alanın yüzdesel olarak ne kadar zayıfladığını göstermek için ise % Azalma kullanılır. % Azalma (2.4) denklemine göre hesaplanabilir.

$$\%\ Azalma = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \tag{2.4}$$

(2.4) denkleminde $\frac{E_2}{E_1}$ yerine (2.3) denkleminden elde edilecek değer yazılırsa % Azalmanın SE cinsinden değeri (2.5) denklemindeki gibi bulunur.

$$\%\ Azalma = (1 - 10^{-SE/20}) \times 100 \tag{2.5}$$

Pratikte verilen ekranlama etkinliği değerlerinin anlamlı olabilmesi için tablo 2.1'de SE ve % Azalma değerleri belirtilmiştir.

Tablo 2.1. SE ve % azalma değerleri [40].

SE (dB)	**% Azalma**	**Açıklama**
0-10	0-68,377	Ekranlama beklenmez
10-30	68,377-99,838	Basit Ekranlama
30-60	99,838-99,900	Normal Ekranlama
60-90	99,900-99,997	Yeterli Ekranlama
90-120	99,997-99,999	Mükemmele Yakın Ekranlama
120-	99,999 ve yukarısı	Maksimum Ekranlama

Tablo 2.1'den görüldüğü gibi genel olarak 30 dB ekranlama etkinliği ortalama değer olarak kabul edilmektedir. Pratikte birçok sorunu 40 dB ekranlama etkinliği çözebilir. Askeri sistemlerde 100-120 dB ekranlama etkinliği istenebilmektedir. Telefon kabloları için şartnamelerde istenen değerler 80-90 dB civarındadır [2, 19].

Pratikte ekranlamada aşağıdaki noktalar önemlidir:

- Ekranlama elektrik alanın düşük frekanslarda yansıtılması, yüksek frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Ekranlama manyetik alanın düşük frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Yüksek iletkenlik, yansıma ve yutulmayı pozitif yönde etkiler.
- Yüksek manyetik geçirgenlik yüksek yutulmaya neden olurken, düşük yansıma oluşturur.
- Çok düşük frekanslı manyetik kaynakların ekranlanacağı hallerde yüksek manyetik geçirgenlikli malzemeler kullanılır.
- Ekran kalınlığı arttıkça yutulma artar.

- Manyetik alan için kalın ekranlara ihtiyaç duyulurken elektrik alan için ince yapılar (folyo kalınlığında) kullanılabilir.

- Kaynak ile ekran arasındaki uzaklık yansıma özeliklerini değiştirir.

- Elektrik alan etkileri daha baskın olan kaynaklar ekrana yakın, manyetik alan etkileri daha baskın olan kaynaklar ekrana uzak yerleştirilmelidir [2, 19].

İlerleyen bir dalganın genliğinin e^{-1} veya 0,368'lik bir çarpan kadar zayıfladığı δ mesafesi bir iletkenin **deri kalınlığı (skin depth)** veya **sızma derinliği** olarak tanımlanır. Pratikte mikrodalga frekanslarında iyi bir iletkenin deri kalınlığı öyle küçüktür ki, alanlar ve akımlar, pratik amaçlar için, iletken yüzeyinin çok ince bir tabakası içinde (yani deri içinde) sınırlanmış olarak kabul edilebilir [37]. Deri Kalınlığı (2.6) denklemi ile hesaplanabilir.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} \tag{2.6}$$

Burada; δ (m) deri kalınlığı, $\omega=2\pi f$ (f dalganın frekansı), σ (Siemens/m) ortam iletkenliği, μ (Henry/m) ortamın manyetik geçirgenliğidir.

Gelen elektrik alanın bir kısmı, ekranın ön yüzeyindeki yansıtma katsayısına bağlı olarak geri yansıtılır. Gelen dalganın empedansı ekranınkinden çok farklı ise, dalga büyük oranda geri yansıtılacaktır. Eğer dalganın ve ekranın empedansları birbirlerine çok yakın ise enerji en az yansıma ile ekranın içine girebilecektir. Ön yüzeyden geçen dalganın genliği, ekranın arka yüzeyine ulaşana kadar $e^{-\alpha z}$ (α, ekran malzemesi için zayıflama katsayısı ve Z, dalga empedansı) çarpanı ile zayıflar ve bu soğurulma kaybına karşılık gelir. İyi iletken bir malzemede (α) zayıflama katsayısı ve (δ) deri kalınlığı arasındaki ilişki $\alpha = 1/\delta$ olduğundan zayıflama çarpanı $e^{-z/\delta}$ olacaktır .

Eğer ekran kalınlığı d, ekran malzemesinin gelen dalga frekansındaki deri kalınlığından çok büyük ($d>>\delta$) olursa, ekranın ön yüzünden giren dalga arka yüzüne ulaştığında önemli oranda zayıflamış olur. Arka yüzeye ulaşan dalganın bir kısmı tekrar geri yansıtılma ve soğurulma işlemine maruz kalırken, bir kısmı da ekranlanan bölgeye

geçer. Ekranın kalınlığı, malzemenin gelen alanın frekansındaki deri kalınlığından çok büyük olursa, ekran içinde çoklu yansımalar, soğurulmalar ve geçişler olacaktır [37].

İnce sonsuz levha yüzeyin mevcut kabul edilmiş ekranlama teorisi, 1943'te Schelkunoff tarafından önceden türetilmiş ilişkileri temel almaktadır [36]. Pasif elektromanyetik ekranlamada Schelkunoff'un teorisine göre bir metal tabaka tarafından gösterilen ekranlama etkisi, absorbsiyon kaybı, yansıma kaybı ve çoklu yansıma kaybı olmak üzere üç tip kaybın sentezi olarak tanımlanır [28]. Genel olarak, elektromanyetik dalgalar metal tabakaya etki ettiğinde bireysel ekranlama etkinliklerinin toplamları, SE (2.7) denkleminde verilmiştir [28].

$$SE = S_A \cdot S_R \cdot S_{MR} \qquad \text{veya} \qquad SE(dB) = S_A\,(dB) + S_R\,(dB) + S_{MR}\,(dB) \tag{2.7}$$

Burada; S_A alanın düzlemden geçişinde meydana gelen soğurma (absorbsiyon) katkısı, S_R yansımadan gelen katkı, S_{MR} çoklu yansımalardan (veya saçılmalardan) gelen katkıdır.

3. BÖLÜM

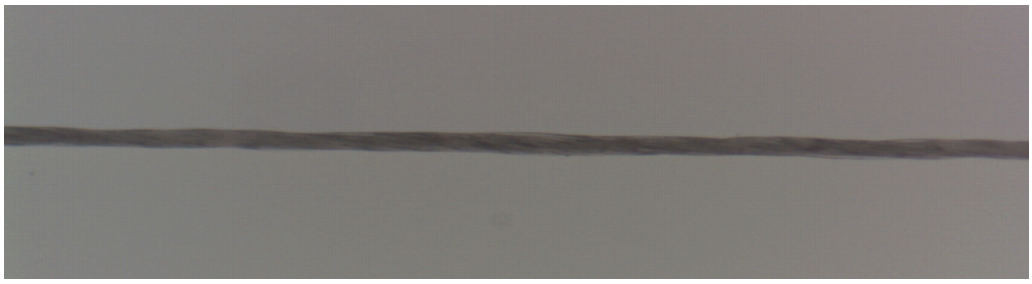
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, öncelikle kontrollü şartlarda, içi oyuk iğ kaplama tekniği kullanılarak farklı kompozit iplikler üretilmiştir. Ardından üretilen bu kompozit iplikler ile elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte dokuma perde kumaş tipleri geliştirilmiştir.

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında kumaş tiplerinin dokunmasında kullanılan kompozit ipliklerin üretiminde hammadde olarak 100 denye PES (36 filament), 35 mikron (Nm 131) AISI 316 L tipi paslanmaz çelik tel (SS), 50 mikron (Nm 53) gümüş kaplı bakır tel, % 100 PES şönil (Nm 7) ipliği kullanılmıştır. Kompozit ipliklerin üretiminde kullanılan metal tellerin ve ipliklerin Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuar'ında bulunan Olympus SZ61 stereo mikroskobuyla çekilen görüntüleri Şekil 3.1'de verilmiştir.

Dokuma kumaşların üretiminde, geliştirilen kompozit ipliklerin yanı sıra 80 denye gümüş kaplı poliamid ve farklı inceliklerde % 100 PES iplikler de kullanılmıştır.



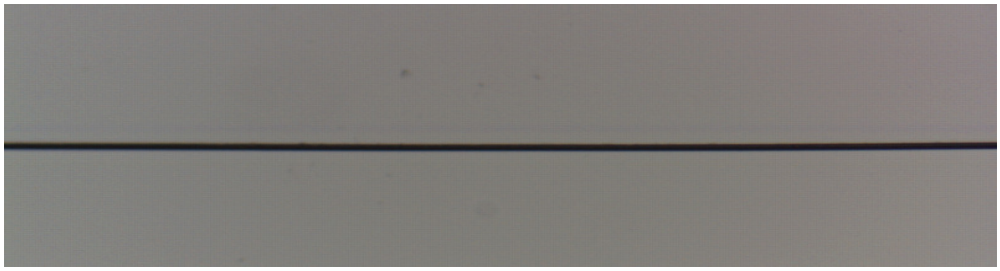
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.1. Kompozit iplik üretiminde kullanılan metal tel ve ipliklerin görüntüleri, (a)100 denye PES (25X), (b) 35 mikron paslanmaz çelik (25X), (c)Nm 7 şönil (25X), (d) 50 mikron gümüş kaplı bakır (25X).

Bu çalışmada kullanılan 316 L kalite paslanmaz çelik telin nikel oranı % 11 olup tekstilde kullanım için ideal yapıdadır. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının varlığıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler, kimyasal reaksiyonlarda pasif davranarak korozyona karşı dayanım kazanırlar [41].

3.2. Yöntem

Elektromanyetik radyasyonu ekranlama özelliğine sahip perde olabilecek yapıda dokuma kumaşların üretimi için öncelikle metal içerikli kompozit ipliklerin üretimi gerçekleştirilmiş ardından Tablo 3.1'de temel özellikleri verilen kumaşların üretimi yapılmıştır.

3.2.1. Numune İplik ve Kumaşların Üretilmesi

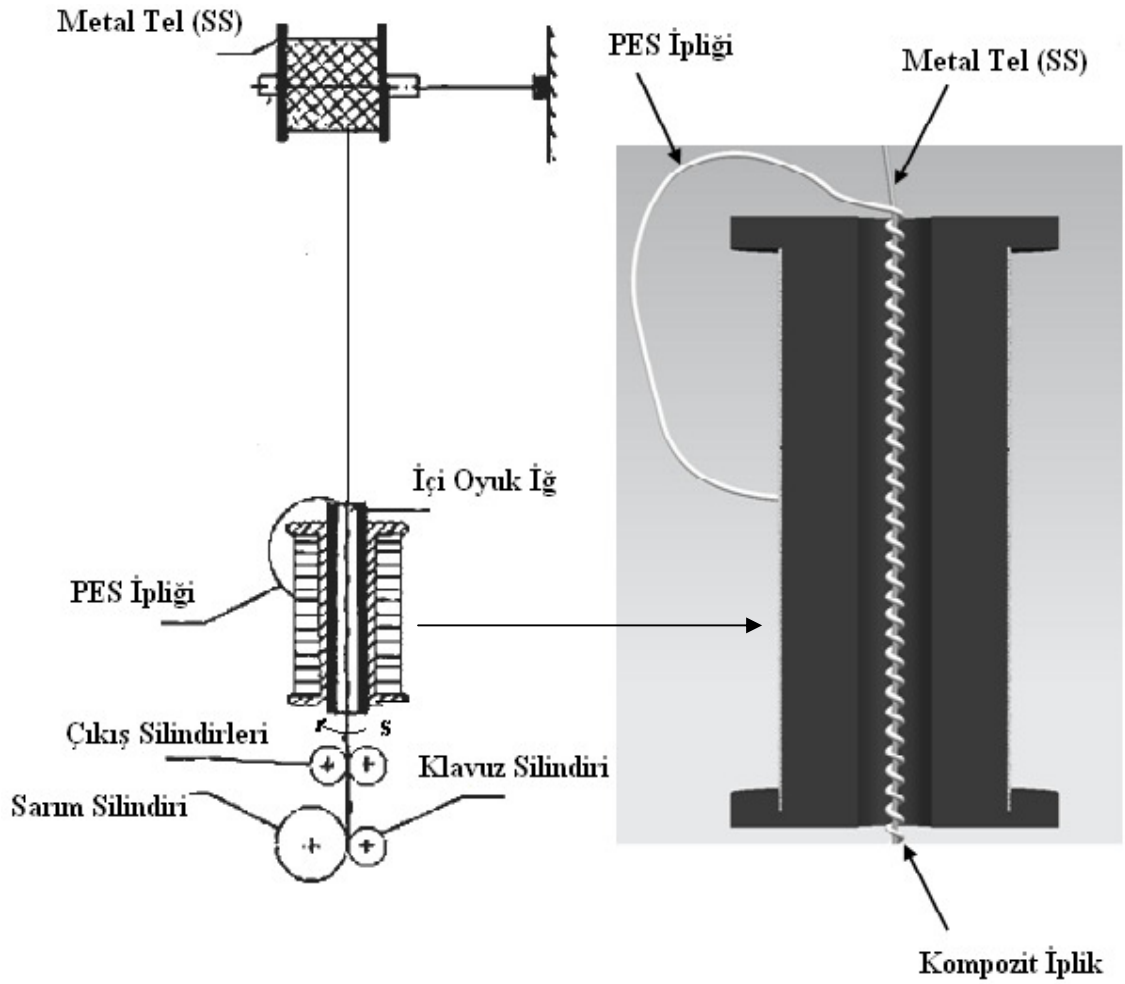
İçi oyuk iğli kaplama tekniği kullanılarak metal içerikli kompozit iplikler üretilmiştir. Bu tekniğin uygulanmasında detayları ilerleyen bölümlerde verilen iki ayrı makine kullanılmıştır. Kompozit ipliklerin üretiminin ardından, bu iplikler kullanılarak tasarlanan kumaşların üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.1. Kompozit İpliklerin Üretilmesi

İçi oyuk iğli kaplama tekniği ile, merkezdeki iletken mikro incelikte metal telin zarar görmeden yüksek seviyede örtülmesi sağlanmaktadır. Elde edilen kompozit ipliğin yapısı ve özellikleri; kullanılan malzemenin özelliğine, kaplama malzemesinin tipine ve özelliklerine, büküm miktarı ve yönüne, merkezdeki metalin kalınlığına ve üretilen kompozit ipliğin kalınlığına bağlıdır. İçi oyuk iğ tekniği ile üretilen kompozit iplikler merkezdeki malzeme diğer bir iplik tarafından kaplama şeklinde sarıldığı için, dengeli bir yapıya sahiptirler. Ancak kaplama ipliğinin tur sayısı belirlenirken merkezdeki malzeme üzerinde oluşabilecek deformasyonlar göz önünde bulundurulmalıdır.

İçi oyuk iğ saat yönünde döndüğü zaman, içi oyuk iğ üzerindeki bobinde yer alan kaplama ipliği S yönünde metal üzerine sarılır. İçi oyuk iğli kompozit iplik üretim sistemi Şekil 3.2'de şematize edilmiştir.

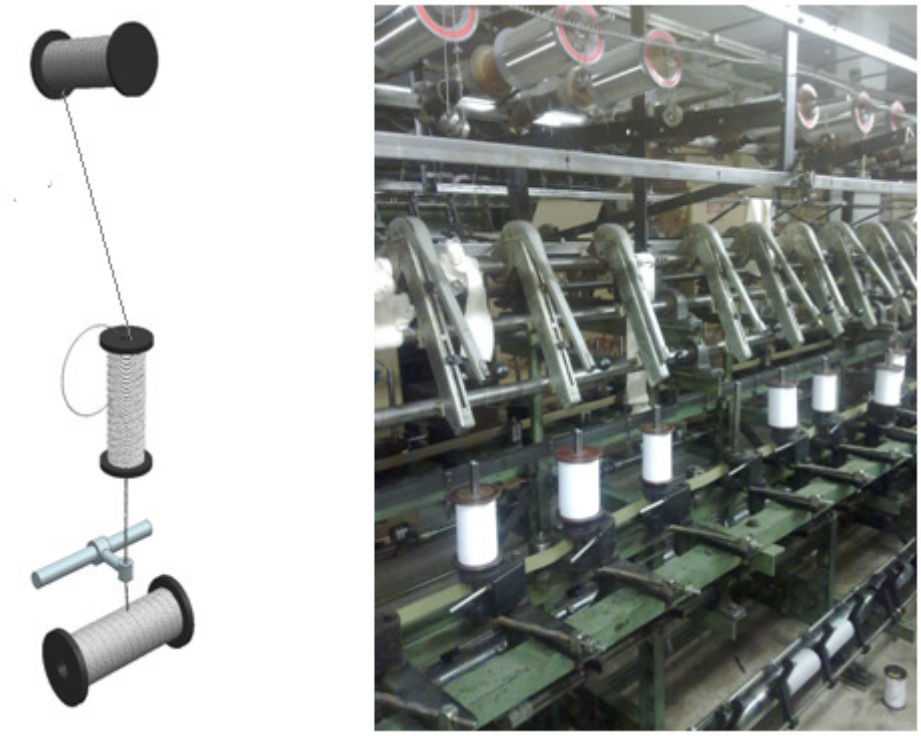
Bu çalışmada içi oyuk iğ kaplama tekniği kullanılarak metal içerikli kompozit iplikler üretilmiştir. Şekil 3.3'de 35 mikron SS üzerine 100 denye PES ipliğinin 300 Tur/m bükümle içi oyuk iğli kaplama tekniği kullanılarak kaplandığı makinenin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.2. İçi oyuk iğli kompozit iplik üretim sistemi.

Şekil 3.4'de ise kompozit iplik üretiminde kullanılan 35 mikron paslanmaz çelik telin, 100 denye PES'in ve üretilen kompozit ipliğin içi oyuk iğli kaplama makinesi üzerindeki yerleşimi görülmektedir.

Ayrıca 50 mikron inceliğindeki gümüş kaplı bakır tel, Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuar'ında bulunan kompozit iplik üretim makinesinde Nm 7 şönil ipliği üzerine 300 Tur/m büküm verilerek Z yönünde kaplanmıştır. Şekil 3.5'de çalışmada kullanılan Agteks kompozit iplik üretim makinesi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İçi oyuk iğli kaplama makinesi şematik görünümü ve fotoğrafı.



Şekil 3.4. Paslanmaz çelik tel, PES ve üretilen kompozit ipliğin içi oyuk iğli kaplama makinesi üzerindeki yerleşimi.



Şekil 3.5. Agteks kompozit iplik üretim makinesi.

3.2.1.2. Numune Kumaşların Üretimi

Çalışma kapsamında, numune kumaşların üretimi Leonardo Silver HI Driver Vamatex armürlü, kancalı dokuma makinelerinde gerçekleştirilmiştir. Dokuma makinesi 4 ana 2 kenar olmak üzere toplam 6 çerçeveye sahiptir. Vamatex armürlü dokuma makinesinin resmi Şekil 3.6'da verilmiştir.

Kumaş numunelerinin kodları ve atkı sıklıkları Tablo 3.1' de özetlenmiştir. S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 ve S10 kumaş numunelerinde çözgü ipliği olarak 35 mikron paslanmaz çelik tel ve 100 denye PES ipliğinden oluşan kompozit iplik kullanılmıştır. S11, S12, S13 ve S14 kumaş numunelerinde ise çözgü ipliği olarak 90 denye iletken özellikte gümüş kaplı PA ipliği kullanılmıştır.

3.2.2. Uygulanan Test Yöntemleri

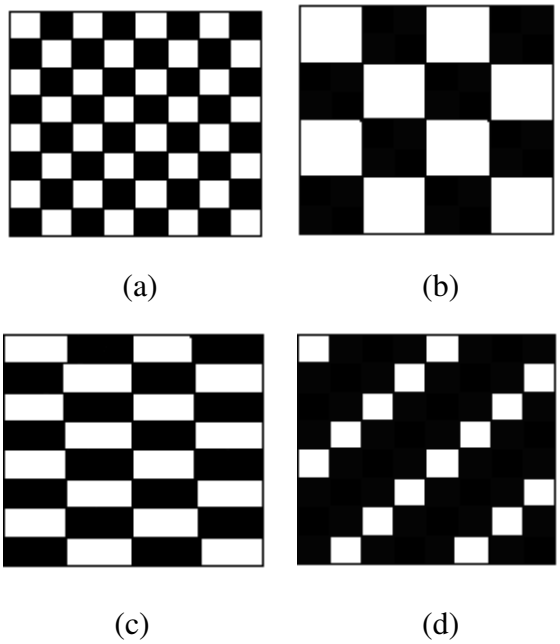
3.2.2.1. Fotoğraf Çekimi

Numune ipliklerin ve kumaşların fotoğraf çekimi Olympus SZ61 marka stereo mikroskop ile BABSOFT görüntü işleme yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Vamatex dokuma makinesi.

Şekil 3.7'de kumaş örgü yapıları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kumaş örgü yapıları, (a) Bezayağı örgü (1/1), (b) 2/2 Panama, c)2/2 Atkı ribsi, (d) 3/1 Dimi.

Tablo 3.1. Kumaş numunelerinin özellikleri.

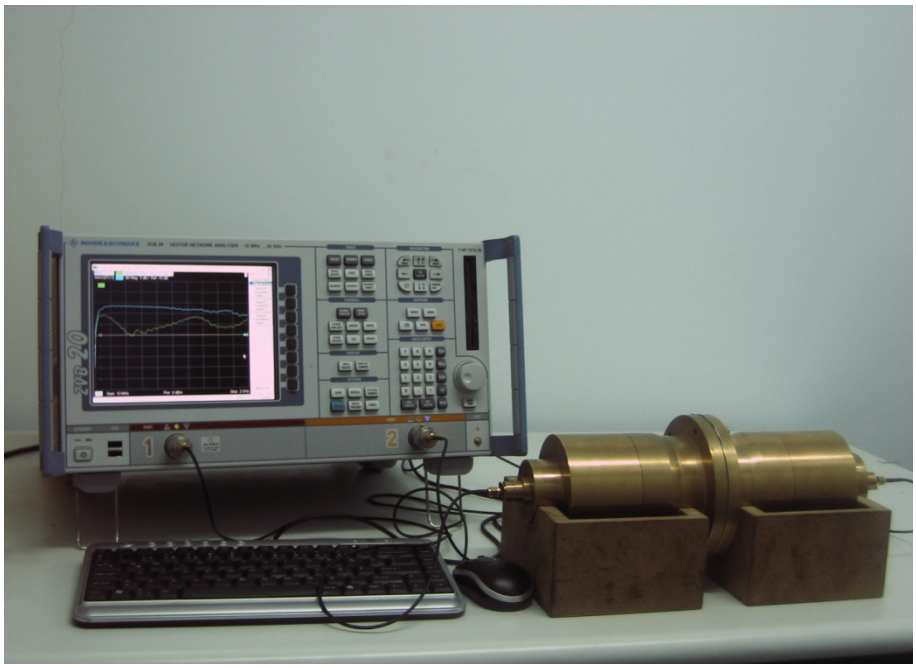
Kumaş Kodu	Kumaş Örgü	Atkı İpliği	Atkı sıklığı (tel/cm)	Çözgü İpliği	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Kumaş Gramajı (g/m^2)
S1	Bezayağı	35 mikron SS + 100 denye PES	21	35 mikron SS + 100 denye PES	25	106
S2	Bezayağı	35 mikron SS + 100 denye PES	23	35 mikron SS + 100 denye PES	25	112
S3	Bezayağı	35 mikron SS + 100 denye PES	25	35 mikron SS + 100 denye PES	25	116
S4	Bezayağı	35 mikron SS + 100 denye PES	28	35 mikron SS + 100 denye PES	25	120
S5	Bezayağı	70 denye PES	25	35 mikron SS + 100 denye PES	25	93
S6	Panama	35 mikron SS + 100 denye PES	28	35 mikron SS + 100 denye PES	25	117
S7	Ribs	35 mikron SS + 100 denye PES	28	35 mikron SS + 100 denye PES	25	118
S8	Dimi	35 mikron SS + 100 denye PES	28	35 mikron SS + 100 denye PES	25	118
S9	Panama	50 mikron güm. kaplı bakır + Nm 7 şönil	22	35 mikron SS + 100 denye PES	25	249
S10	Panama	Nm 7 şönil	22	35 mikron SS + 100 denye PES	25	267
S11	Bezayağı	35 mikron SS + 100 denye PES	25	Gümüş kaplı poliamid	30	91
S12	Bezayağı	35mikron SS + 150 denye PES	25	Gümüş kaplı poliamid	30	84
S13	Bezayağı	50 mikron Gümüş kaplı bakır + 100 denye PES	25	Gümüş kaplı poliamid	30	91
S14	Bezayağı	Gümüş kaplı poliamid	25	Gümüş kaplı poliamid	30	90

3.2.2.2. Kumaşların Ekranlama Etkinliğinin (SE) Belirlenmesi İçin Uygulanan Testler

Kumaş numunelerinin ekranlama etkinliklerinin (SE) ölçümü koaksiyel tutucu metodu (Coaxial Holder Method) ve yankısız oda metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method) olmak üzere iki ayrı ölçüm metodu ile yapılmıştır.

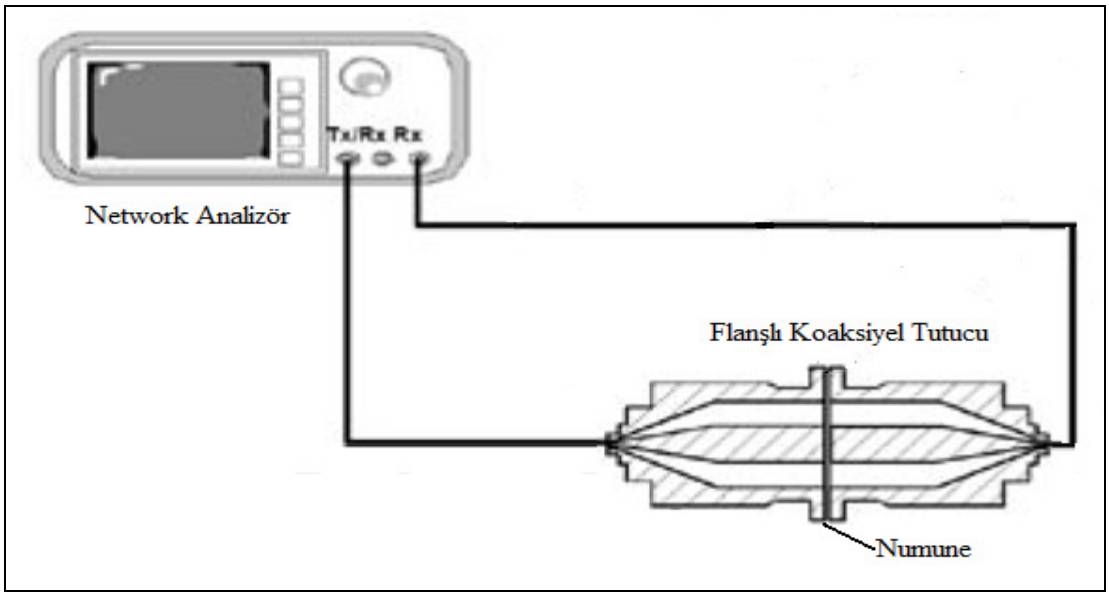
3.2.2.2.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method) ile Yapılan SE Ölçümleri

Kumaş numunelerinin SE ölçümleri, ASTM-D 4935 standardını esas alan koaksiyel tutucu metodu ile yapılmıştır. Ölçümlerde, ASTM D-4935 standardına uyarlanarak yapılan ölçüm aparatı kullanıldı. Şekil 3.8'de ölçümleri yaptığımız test düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.8. Kumaşların koaksiyel tutucu metodu ile SE ölçümlerinin yapıldığı test düzeneği.

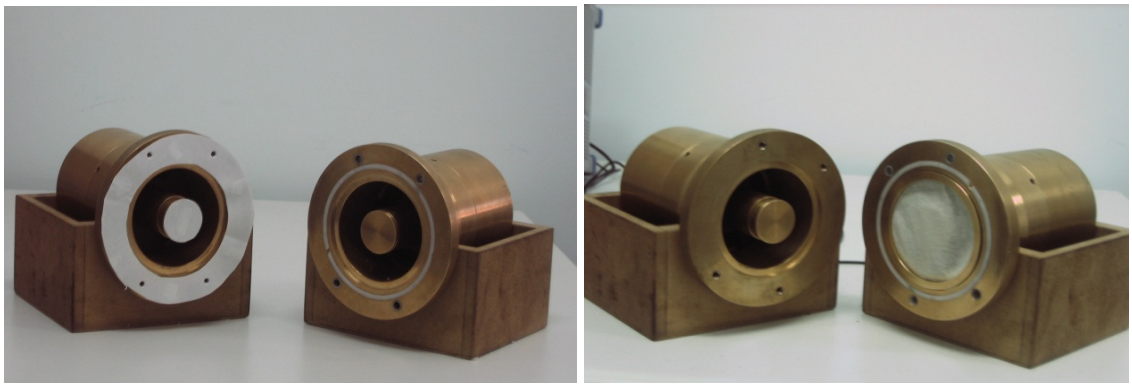
Bu ölçüm sisteminde, flanşlı bir koaksiyel tutucu ve S parametrelerini (**S_{11} ve S_{21} yansıma ve araya girme kayıpları**) ölçebilen R&S ZVB20 model bir network analizör bulunmaktadır. S parametrelerinin ölçümü ile toplam ekranlama etkinliği içerisinde yansıma ve soğurmanın katkıları belirlenebilmektedir. Koaksiyel tutucu metodu ile SE ölçümlerinin yapıldığı ölçüm test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.9'da görülmektedir.



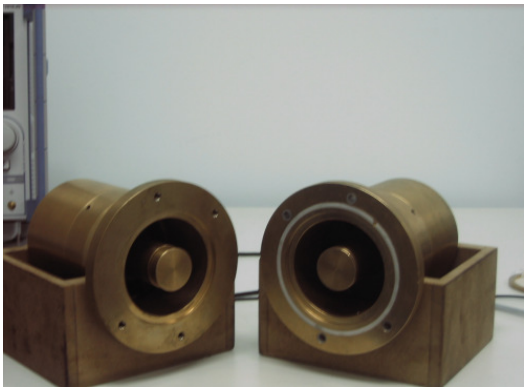
Şekil 3.9. Koaksiyel tutucu metodu için ölçüm test düzeneği.

Bu metottaki test adaptörünün dış iletken iç çapı (D) 76.2 mm ve iç iletken dış çapı (d) 33 mm'dir. Test adaptörü ölçüm adaptörünün iki yarısı arasındaki kapasitif bağlantıyı arttıran 133 mm'lik flanş ile hazırlanmıştır.

Kumaş numunelerinin SE değerlerini belirleyebilmek için ölçüm aparatında (Şekil 3.10-c) ölçümleri iki basamakta gerçekleştirdik. Birinci basamakta, referans değerler için referans ölçüm yapıldı (Şekil 3.10-a). İkinci basamakta ise ölçüm alanına uygun olarak 133-76 mm bilezik içinde 33 mm dairesel formda hazırlanan fiili test numunelerinin ölçümleri yapıldı (Şekil 3.10-b).



(a) (b)



(c)

Şekil 3.10. ASTM D-4935 standardı esas alınarak yapılan ölçüm aparatı.

Ölçümler sonunda, kumaş numunelerinin herbiri için network analizörden S21 değerleri alındı. Kumaşların ekranlama etkinliği değerleri belirlenirken (3.1) denklemi kullanıldı.

SE (dB) = Referans ölçüm sonucu (dB) - Zayıflatma ölçüm sonucu (dB) (3.1)

(3.1) denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlar negatif çıktığında o frekans için SE değeri sıfır kabul edilmiştir.

Ölçüm aparatının üst frekansının maksimum değerini hesaplamak için (3.2) denklemi kullanıldı [32].

$$f_{\max} = \frac{c}{\frac{\pi}{2}(D+d)} \qquad (3.2)$$

c - ışık hızı ($3x10^8$m/s).

D – Dış iletken iç çapı (mm).

d - iç iletken dış çapı (mm).

(3.2) denklemi ile elde edilen sonuca göre ölçüm aparatımızın üst frekansının maksimum değerinin 1.73 GHz'i aşmaması gerektiği bulundu. SE ölçümlerinde alt frekans değeri ise 10 MHz olarak alındı. SE ölçümleri için network analizörden 10 MHz-2 GHz frekans aralığında ölçüm değerleri alındı. Numunelerin SE değerlerinin

hangi frekans aralığında değerlendirileceğine karar verirken de kumaş numunelerinin kalınlıkları kullanıldı. Çünkü test yapılan numunelerin kalınlığı serbest uzayda elektromanyetik dalganın dalga boyunun 1/100'nü geçmemelidir. Örneğin numune kalınlığı 1500 MHz test frekansı için 2mm'den, 1000 MHz test frekansı için 3mm'den kalın olmamalıdır [32].

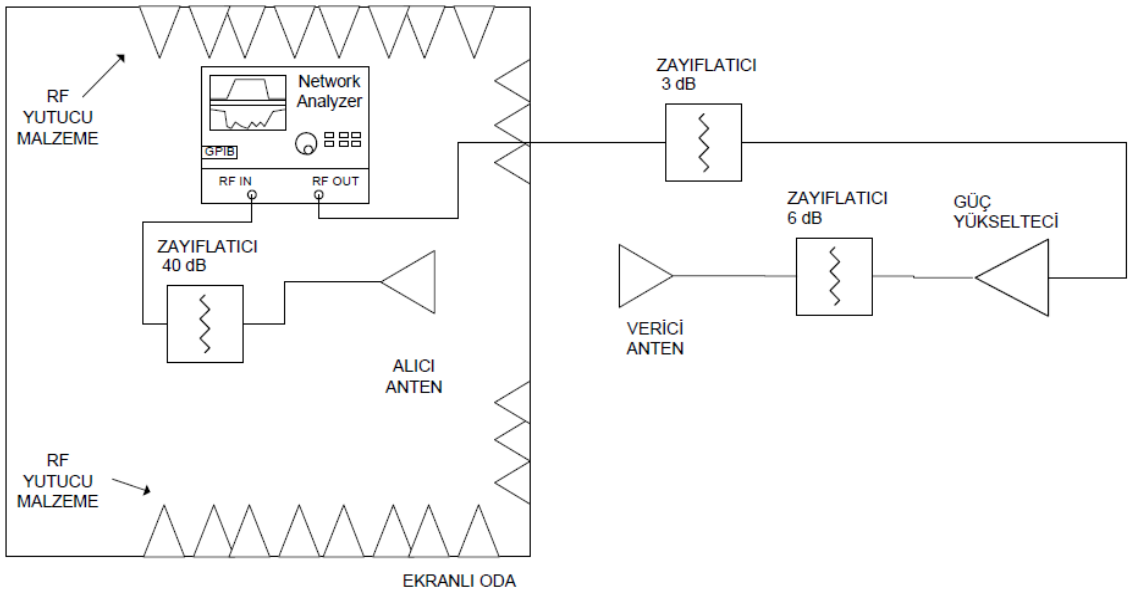
3.2.2.2.2. Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method) ile Yapılan SE Ölçümleri

Kumaş numunelerinin yankısız oda metodu ile SE ölçümleri 0.5 MHz ile 10 GHz frekans aralığında TÜBİTAK–UEKAE EMC/TEMPEST Test Merkezi (ETTM), Gebze, Kocaeli'de yapılmıştır. Ekranlama etkinlikleri ölçümü TÜBİTAK-UEKAE tarafından inşa edilmiş olan yankısız odada (ekranlı oda) açılan 60x60 cm^2'lik bir pencerede gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde IEEE Std 299-1997 ve IEEE Std 1302-1998 standartları referans alınmıştır. 500 kHz-30 MHz frekans aralığında Agilent EMC analizör (E7405A) cihazı ve 30 MHz-10 GHz frekans aralığında Agilent network analizör (E8362B) kullanılmıştır.

Ölçümlerde, 500 kHz-10 GHz frekans aralığında sırasıyla halka anten (9 kHz–30 MHz), bikonik anten (30 MHz-300 MHz), log-peryodik anten (300 MHz-2200 MHz) ve horn anten (1-18 GHz) olmak üzere dört anten çifti kullanılmıştır. Ölçümler, bütün kumaş numuneleri için antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmış olup antenler arasındaki mesafe halka antende 60 cm, diğer antenlerde ise 200 cm olarak muhafaza edilmiştir. Ekranlı odanın duvarlarında oluşabilecek yansımaları azaltmak amacıyla RF (radyo frekans) yutucu malzemeler kullanılmıştır.

Şekil 3.11'de referans ve zayıflatma ölçümlerine temel teşkil edecek olan genel test düzeneği görülmektedir.

Şekil 3.12'de ETTM ekranlı odası ve kumaşların ekranlama etkinliğini ölçmek için kullanılan pencerenin dışarıdan görünümü, Şekil 3.13'de ise içeriden görünüm verilmiştir.



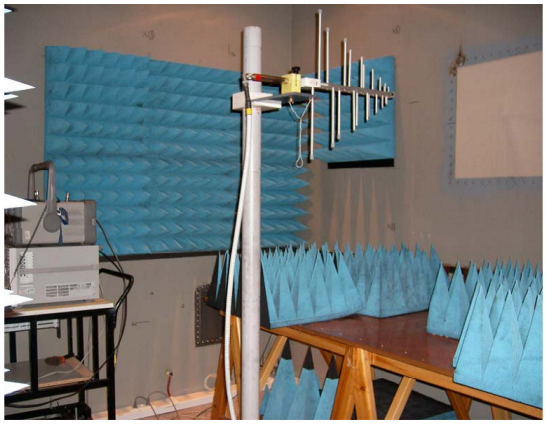
Şekil 3.11. Ekranlama etkinliği genel test düzeneği.



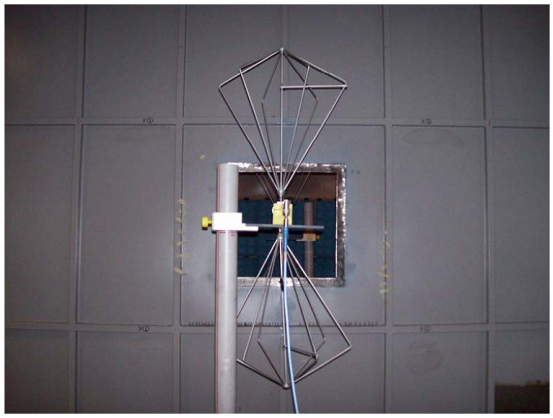
Şekil 3.12. Yankısız oda dış kısım, pencere, kumaş ve test düzeneği.

Referans ölçümleri, ekranlı odanın penceresi açık, alıcı anten içeride verici anten dışarıda olduğu halde ve antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmıştır. Şekil 3.14'de dikey polarizasyon referans ölçüme örnek bir resim görülmektedir.

Zayıflatma ölçümleri, kumaşlar ekranlı odanın penceresine monte edilmiş, alıcı anten içeride verici anten dışarıda ve antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmıştır. Şekil 3.15'de numune bir kumaşın ölçümü yapılırken örnek test düzeneği görülmektedir.

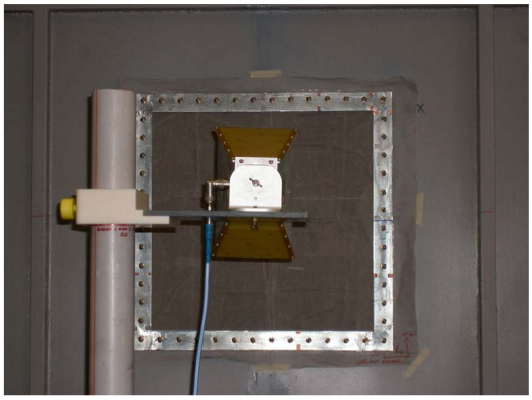


Şekil 3.13. Yankısız oda iç kısım, pencere, kumaş ve test düzeneği.



Şekil 3.14. Dikey polarizasyon referans ölçüme ait örnek bir resim.

Kumaş ekranlama etkinliği değeri belirlenirken (3.1) denklemi kullanılmıştır. (3.1) denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlar negatif çıktığında o frekans için SE değeri sıfır kabul edilmiştir.



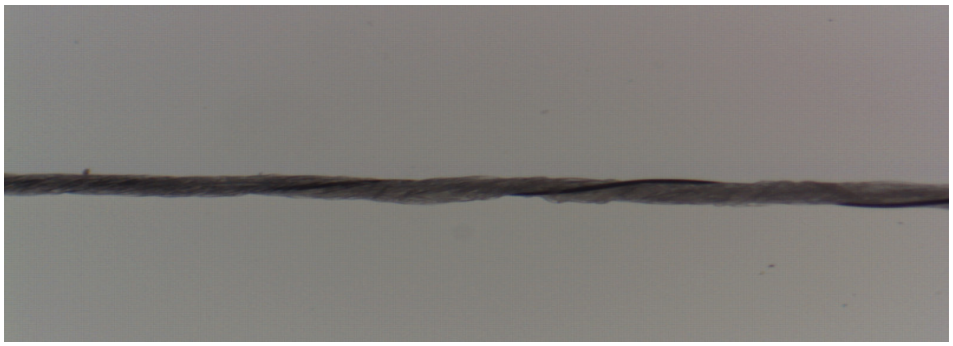
Şekil 3.15. Yankısız oda dış kısım, pencere, kumaş ve test düzeneği.

4. BÖLÜM

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çalışmada Sonunda Elde Edilen İplik Görüntüeri

Detayları 3. Bölümde verilen içi oyuk iğli kaplama tekniği ile elde edilen ipliklerin Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuar'ında bulunanOlympus SZ61 stereo mikroskobuyla çekilen görüntüleri Şekil 4.1' de verilmiştir.



(a)

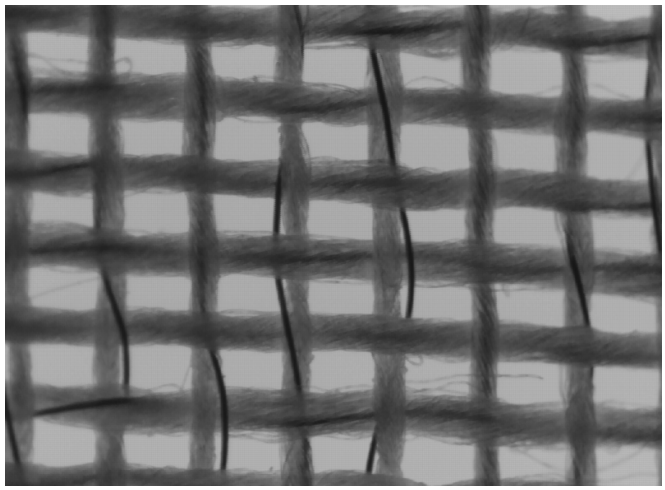


(b)

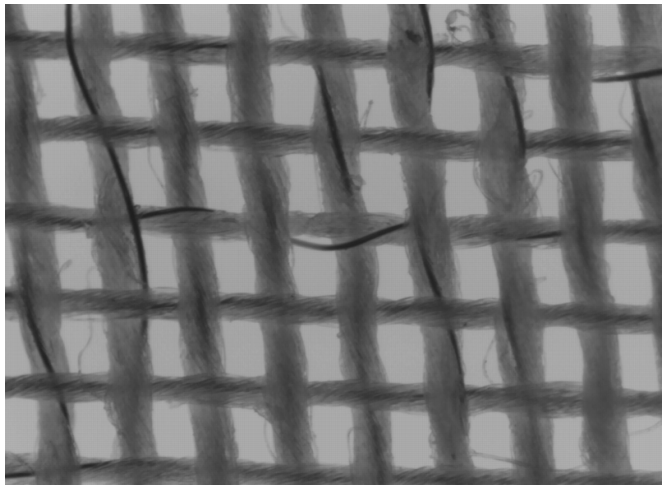
Şekil 4.1. Çalışmada elde edilen iplik görüntüleri, (a) 35 mikron SS+100 denye PES (25X), (b) 50 mikron gümüş kaplı bakır + şönil (25X).

4.2.Çalışma Sonunda Elde Edilen Kumaş Görüntüleri

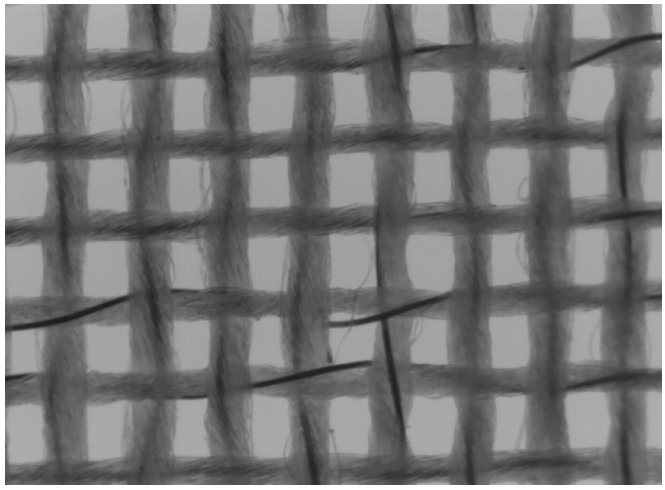
Leonardo Silver HI Driver Vamatex armürlü, kancalı dokuma makinelerinde üretilen detayları tablo 3.1'de verilen kumaşlarıngörüntüleri aşağıda verilmiştir.



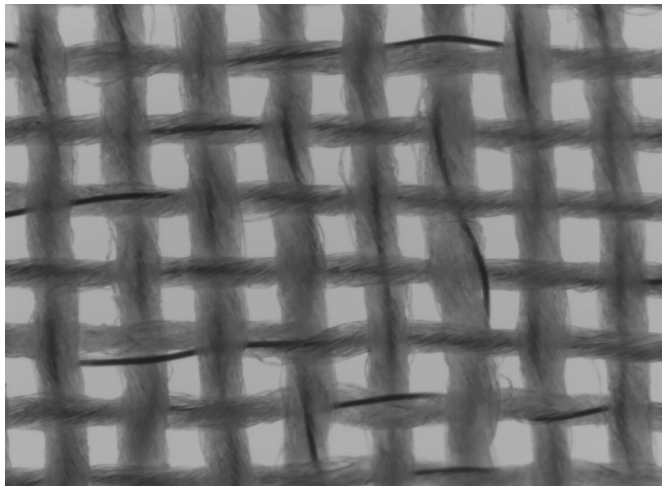
Şekil 4.2. S1 kumaşının görüntüsü (30X).



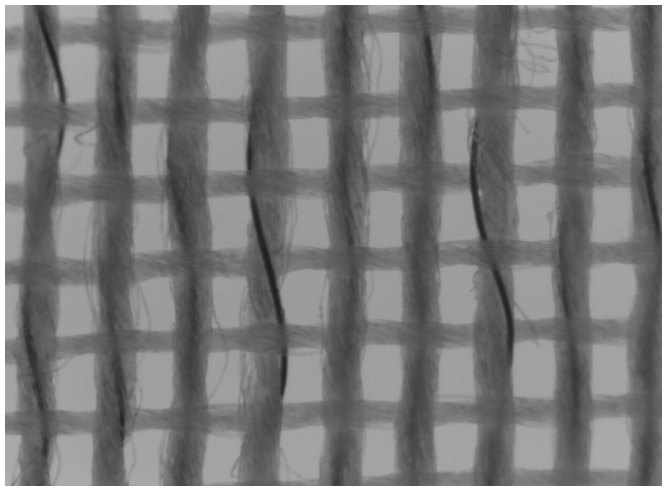
Şekil 4.3. S2 kumaşının görüntüsü (30X).



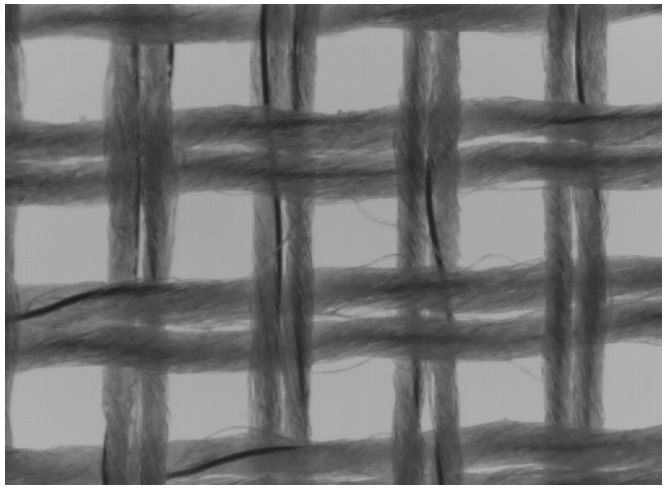
Şekil 4.4. S3 kumaşının görüntüsü (30X).



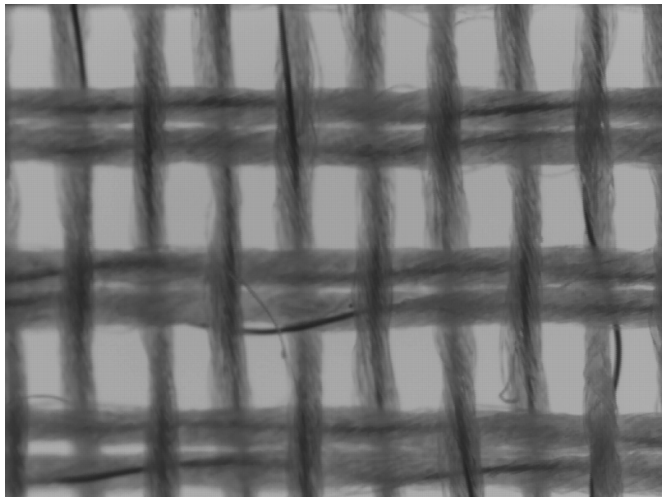
Şekil 4.5. S4 kumaşının görüntüsü (30X).



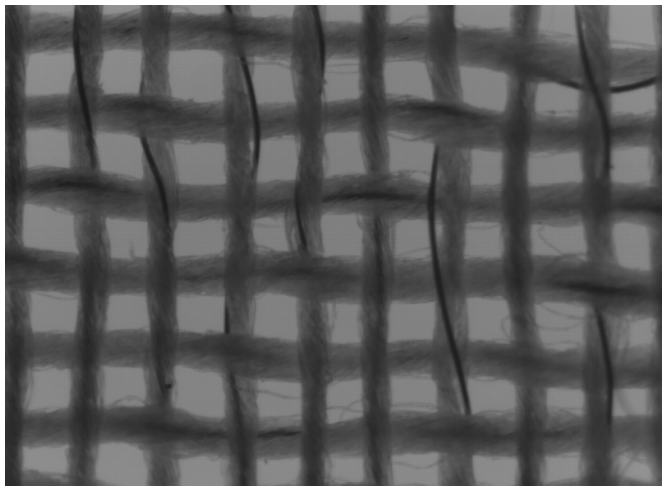
Şekil 4.6. S5 kumaşının görüntüsü (30X).



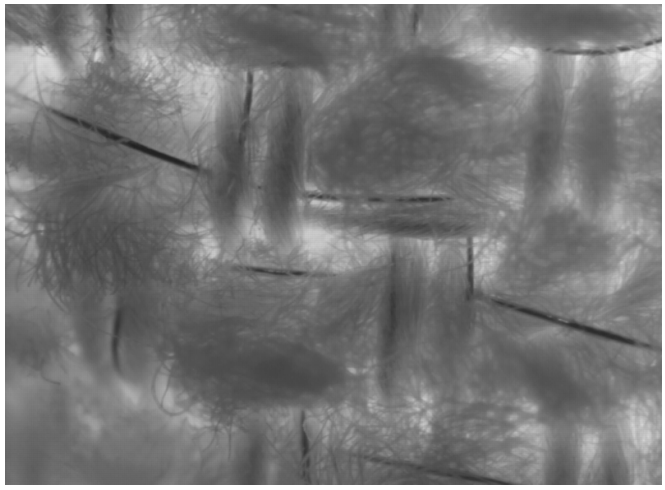
Şekil 4.7. S6 kumaşının görüntüsü (30X).



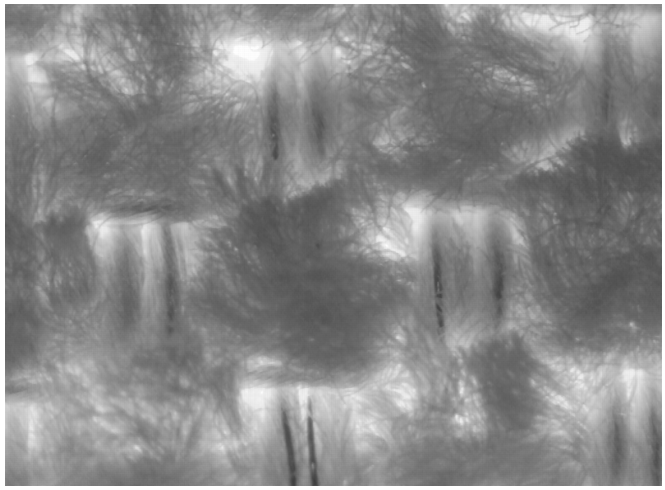
Şekil 4.8. S7 kumaşının görüntüsü (30X).



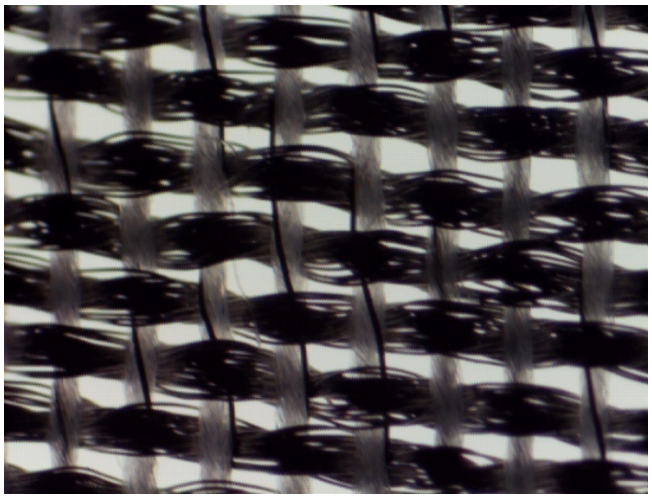
Şekil 4.9. S8 kumaşının görüntüsü (30X).



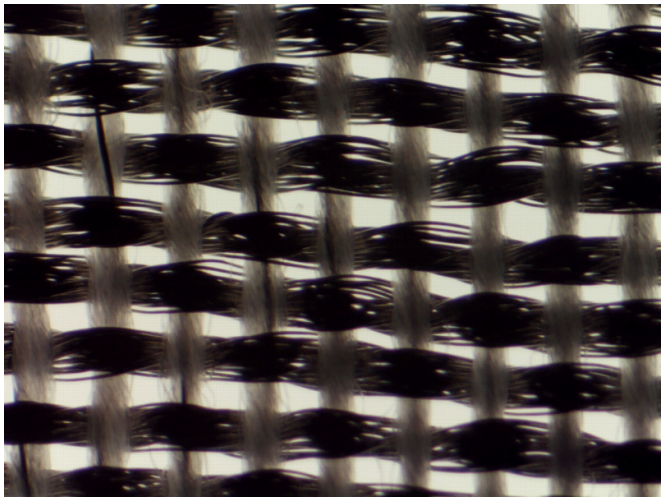
Şekil 4.10. S9 kumaşının görüntüsü (30X).



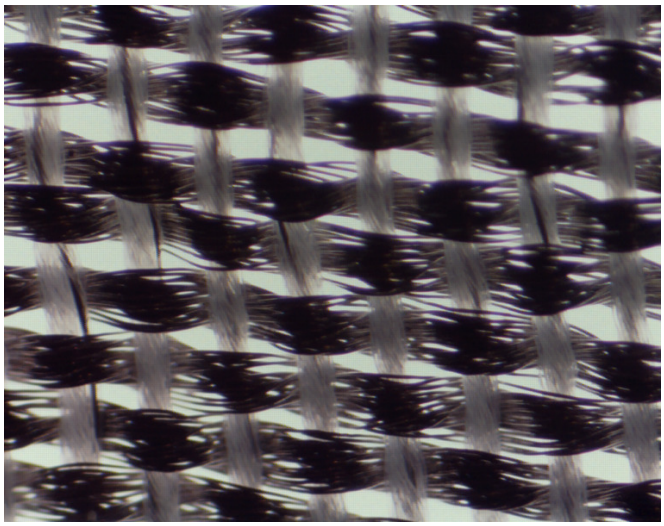
Şekil 4.11. S10 kumaşının görüntüsü (30X).



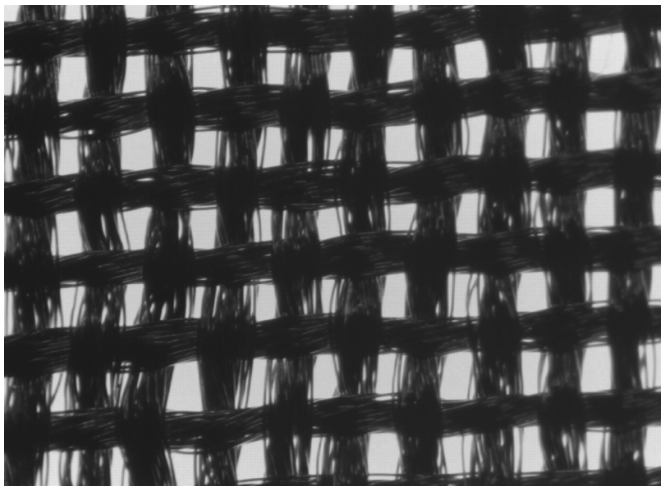
Şekil 4.12. S11 kumaşının görüntüsü (30X).



Şekil 4.13. S12 kumaşının görüntüsü (30X).



Şekil 4.14. S13 kumaşının görüntüsü (30X).



. Şekil 4.15. S14 kumaşının görüntüsü (30X).

4.3. Kumaşların Ekranlama Etkinliğinin (SE) Belirlenmesi İçin Yapılan Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, numune kumaşların koaksiyel tutucu metodu ve yankısız oda metodu ile yapılan SE ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

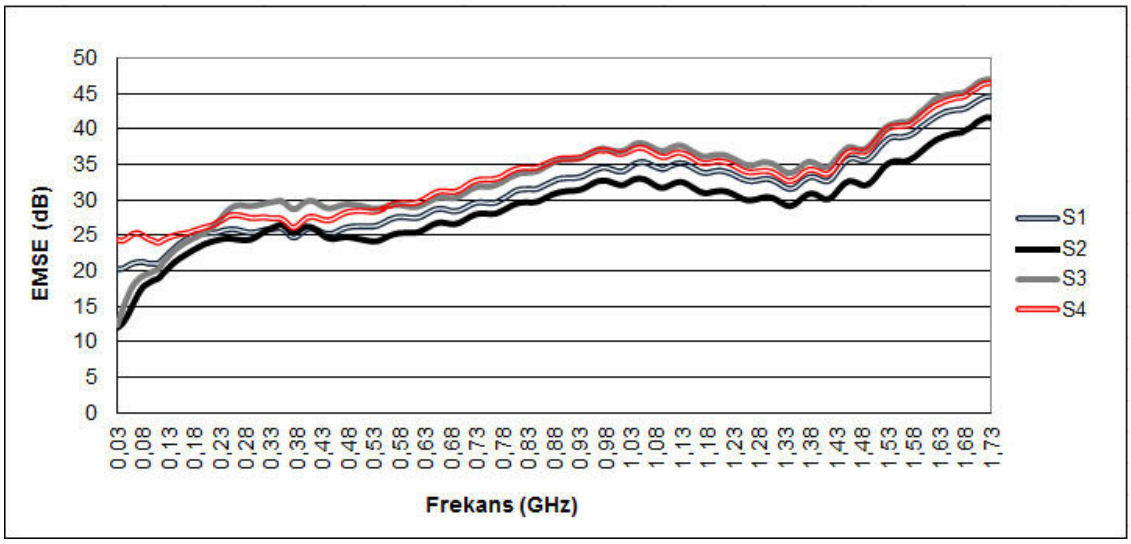
4.3.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method) ile Yapılan SE Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Numune kumaşların ekranlama etkinliği, ASTM D-4935 standardı esas alınarak geliştirilen test aparatıyla yapılan SE ölçüm sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Atkı sıklıkları sırasıyla 21, 23, 25 ve 28 tel/cm olan S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune bezayağı dokuma kumaşlara ait koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.16'da grafiksel olarak gösterilmiştir. S1, S2, S3 ve S4 kumaşlarının ekranlama etkinlikleri, kumaş kalınlıkları 2 mm'den az olduğu için 30 MHz-1.73 GHz aralığında değerlendirilmiştir.

S1 kodlu numune kumaşın 1590-1730 MHz frekans aralığında, S2 kodlu numune kumaşın 1690-1730 MHz frekans aralığında, S3 kodlu numune kumaşın 1520-1730 MHz frekans aralığında ve S4 kodlu numune kumaşın 1530-1730 MHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. Bezayağı örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S3 kodlu kumaşın ölçümünde 1720 MHz'de 46.97 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 35 mikron paslanmaz çelik tel kullanımı ile kumaşların ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. S1, S2, S3 ve S4 kodlu kumaşların belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

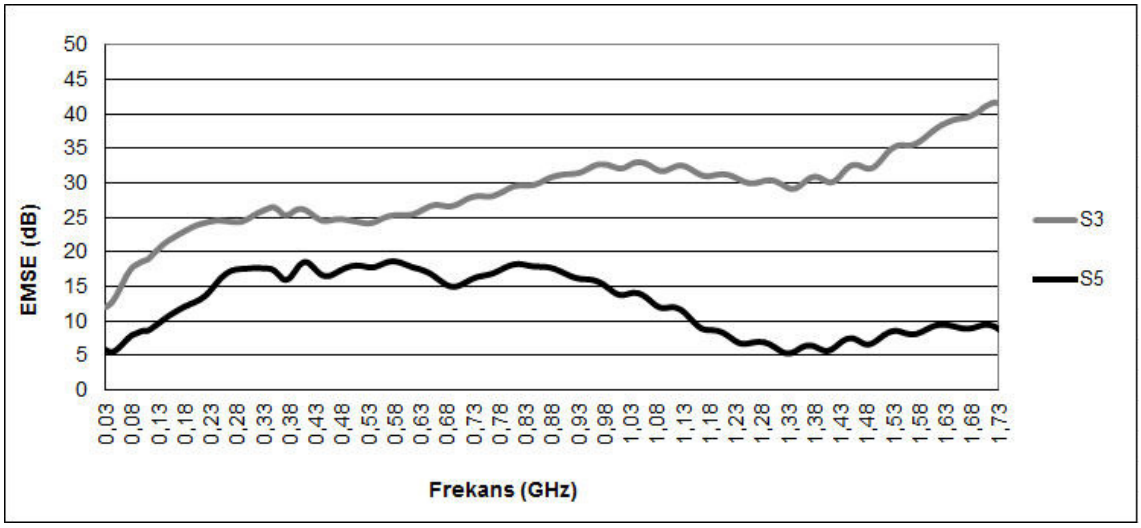
4 farklı sıklığa sahip S1, S2, S3 ve S4 kodlu kumaşların SE değerlerini karşılaştırdığımızda, S3 ve S4 kodlu kumaşların diğer numune kumaşlara göre daha yüksek ekranlama etkinliğine sahip olduğu ve bütün kumaş numunelerinin 1.43-1.73 GHz frekans aralığında sürekli artan bir ekranlama etkinliği gösterdikleri görülmüştür. (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları.

Atkı sıklıkları 25 tel/cm olan S3 ve S5 kodlu numune bezayağı dokuma kumaşlara ait koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.17'de grafiksel olarak gösterilmiştir. S3 kodlu numune kumaşın atkı ve çözgüleri aynı olup kompozit iplik kullanılmıştır. S5 kodlu kumaşta ise çözgü olarak kompozit iplik kullanılırken, atkı olarak ise %100 PES ipliği kullanılmıştır. S3 ve S5 kumaşlarının ekranlama etkinlikleri, kumaş kalınlıkları 2 mm'den az olduğu için 30 MHz-1.73 GHz aralığında değerlendirilmiştir.

S3 kodlu numune kumaşın 1530-1980 MHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülürken, S5 kodlu numune kumaşın 140-1140 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliğinin 10dB ve üzeri bir değere ulaştığı görülmektedir. Bezayağı örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S3 kodlu kumaşın ölçümünde 1730 MHz'de 42.21 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre hem atkıda hem de çözgüde 35 mikron paslanmaz çelik tel içeren kompozit ipliğin kullanılmasıyla, kumaşların daha fazla ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. Metal içerikli kumaşlarda belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin S3 kodlu kumaşta normal ekranlama aralığında (30-60 dB) iken S5 kodlu kumaşta basit ekranlama aralığında olduğu görülmüştür.



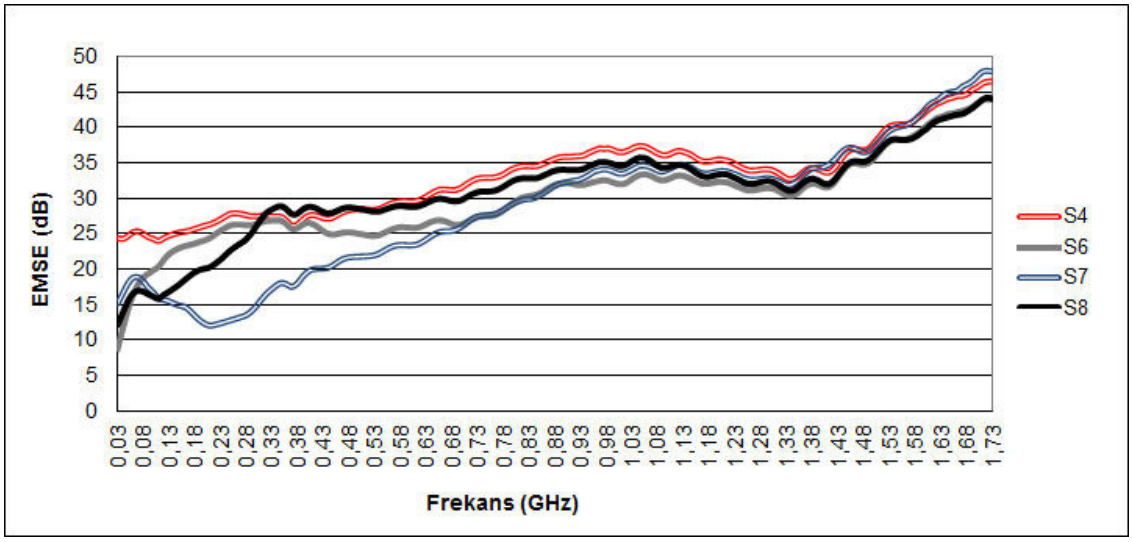
Şekil 4.17. S3 ve S5 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları.

Örgü yapıları sırasıyla bezayağı, panama, ribs ve dimi olan 28 tel/cm atkı sıklığa sahip S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune dokuma kumaşlara ait koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.18'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

S4, S6, S7 ve S8 kumaşlarının ekranlama etkinlikleri, kumaş kalınlıkları 2 mm'den az olduğu için 30 MHz-1.73 GHz aralığında değerlendirilmiştir.

S4 kodlu numune kumaşın 1530-1730 MHz, S6 kodlu numune kumaşın 1600-1730 MHz, S7 kodlu numune kumaşın 1550-1730 MHz ve S8 kodlu numune kumaşın 1610-1730 MHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. En yüksek ekranlama etkinliği değeri S7 kodlu kumaşta 1720 MHz' de 47.97 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre bütün örgü yapılarında, belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

4 farklı örgü yapısına sahip S4, S6, S7 ve S8 kodlu kumaşların SE değerlerini karşılaştırdığımızda, tüm frekans aralığı boyunca genel olarak bezayağı örgü yapısındaki S4 kodlu kumaşın en yüksek ekranlama etkinliğine sahip olduğu görülmüştür. (Şekil 4.18).

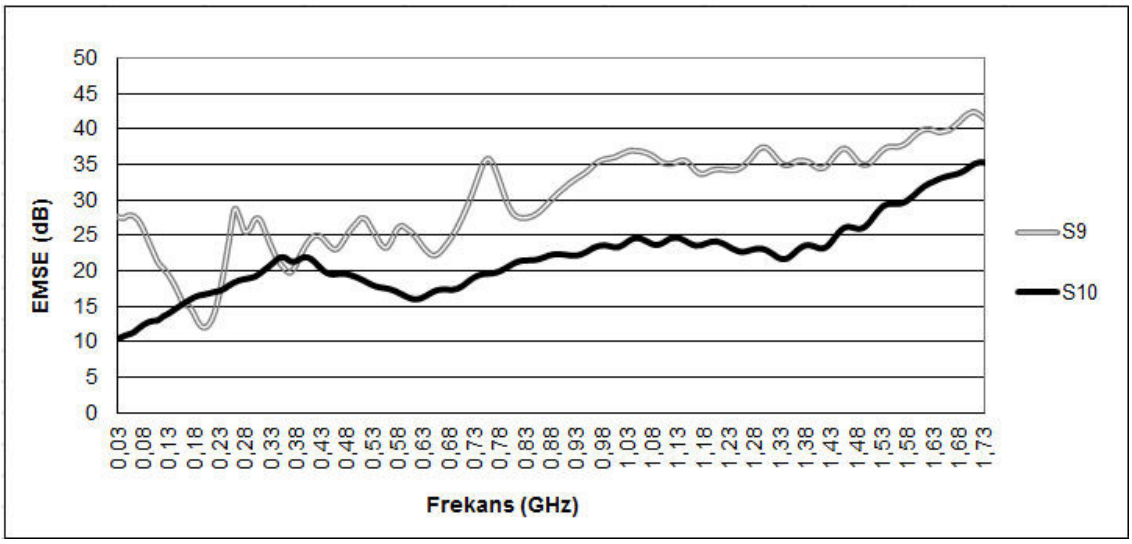


Şekil 4.18. S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune kumaşın ekranlama etkinliği test sonuçları.

Örgü yapıları panama, atkı sıklıkları 22 tel/cm olan S9 ve S10 kodlu şönilli numune kumaşlara ait koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4. 19'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

S9 ve S10 kodlu kumaşta çözgü olarak kompozit iplik kullanılırken, atkı olarak ise S9 kodlu kumaşta gümüş kaplı bakır+şönil içeren kompozit iplik kullanılırken S10 kodlu kumaşta sadece şönil kullanılmıştır. S9 ve S10 kumaşlarının ekranlama etkinlikleri, kumaş kalınlıkları 2 mm'den az olduğu için 30 MHz-1.73 GHz aralığında değerlendirilmiştir.

S9 kodlu numune kumaşın 1670-1730 MHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülürken, S10 kodlu numune kumaşın 1580-1730 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliğinin 30dB ve üzeri bir değere ulaştığı görülmektedir. Panama örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S9 kodlu kumaşın ölçümünde 1710 MHz'de 42.39 dB olarak ölçülmüştür. S9 kodlu kumaşın hem atkı hem de çözgüsünde 35 mikron paslanmaz çelik tel içeren kompozit ipliğin kullanılmasıyla, bu kumaşın daha fazla ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. Metal içerikli kumaşlarda belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin S9 ve S10 kodlu kumaşlarda normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

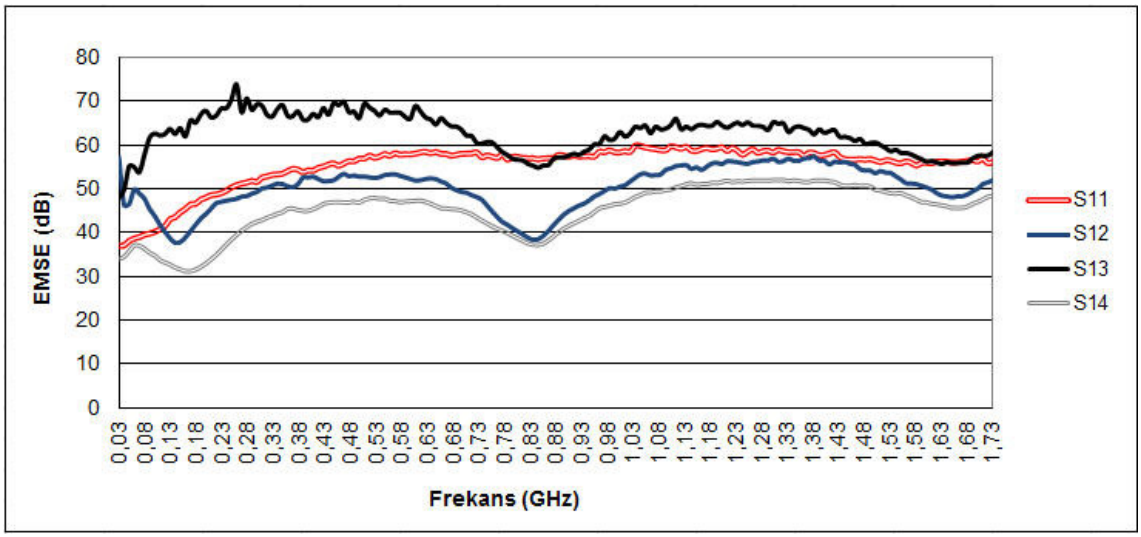


Şekil 4.19. S9 ve S10 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları.

Atkı sıklıkları 25 tel/cm olan S11, S12, S13 ve S14 kodlu numune bezayağı dokuma kumaşlara ait koaksiyel tutucu metoda göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.20'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

S11, S12, S13 ve S14 kumaşlarının ekranlama etkinlikleri, kumaş kalınlıkları 2 mm'den az olduğu için 30 MHz-1.73 GHz aralığında değerlendirilmiştir.

S11 kodlu numune kumaşın 250-1730 MHz frekans aralığında 50 dB ve üzeri, S12 kodlu numune kumaşın 310-680 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliğinin 50 dB ve üzeri, S13 kodlu numune kumaşın 290-770 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliğinin 60 dB ve üzeri, S14 kodlu numune kumaşın 1110-1490 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliğinin 50 dB ve üzeri değere ulaştığı görülmektedir. Bezayağı örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S13 kodlu kumaşın ölçümünde 260 MHz'de 73.87 dB olarak ölçülmüştür. Metal içerikli kumaşlarda belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin S11, S12 ve S14 kodlu kumaşlarda normal ekranlama aralığında (30-60 dB) iken S13 kodlu kumaşta yeterli ekranlama aralığında olduğu görülmüştür. S13 kodlu kumaşın tüm frekans aralığı boyunca genel olarak diğer numune kumaşlara oranla daha yüksek ekranlama etkinliğine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20. S11, S12, S13 ve S14 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları.

4.3.2. Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method) ile Yapılan SE Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

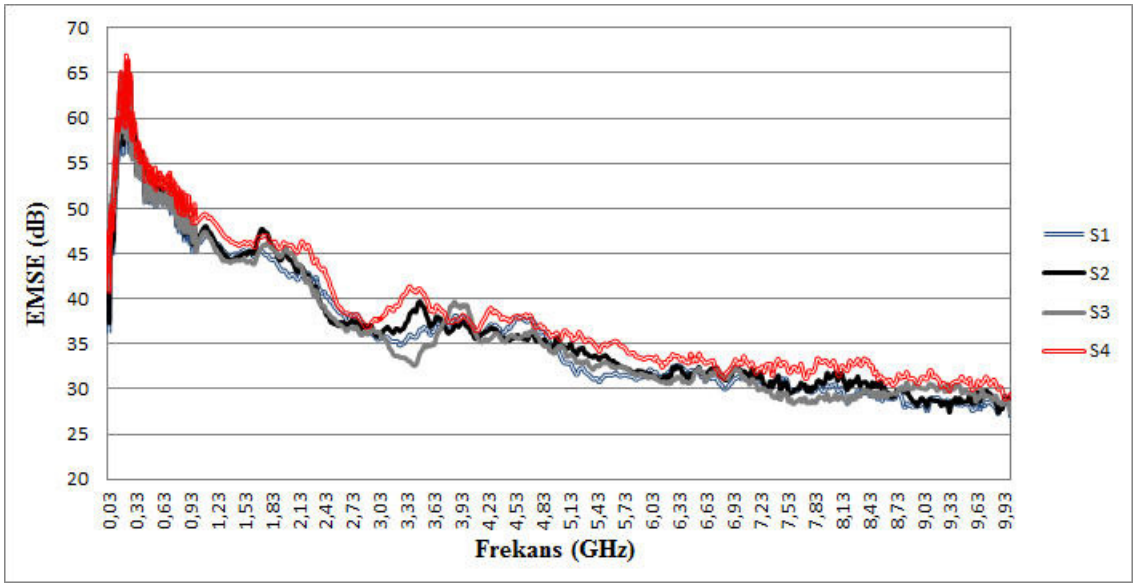
Numune kumaşların ekranlama etkinliği, Tübitak-UEKAE'de 0.5 MHz-10 GHz frekans aralığında yankısız oda metodu ile yapılan SE ölçüm sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Ölçümler kumaş numuneleri için, antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmıştır.

Antenlerin yatay polarizasyonlarında yapılan ölçümlerde; S1 kodlu numune kumaşın 95-750 MHz, S2 kodlu numune kumaşın 30-830 MHz, S3 kodlu numune kumaşın 30-800 MHz, S4 kodlu numune kumaşın 147-928 MHz frekans aralığında genellikle 50 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. S1 kodlu numune kumaşın 753 MHz-2.4 GHz, S2 kodlu numune kumaşın 860 MHz-2.3 GHz, S3 kodlu numune kumaşın 860 MHz-2.3 GHz, S4 kodlu numune kumaşın 930 MHz-2.5 GHz frekans aralığında ise genellikle 40 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir.

Antenlerin yatay polarizasyonunda yapılan ölçümlerde, bezayağı örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S4 kodlu kumaşın ölçümünde 230 MHz'de 66.94 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 35 mikron paslanmaz çelik tel kullanımı ile kumaşların ekranlama etkinliği özelliği kazandığı

görülmektedir. Belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

4 farklı sıklığa sahip S1, S2, S3 ve S4 kodlu kumaşların SE değerlerini karşılaştırdığımızda önemli bir değişimin meydana gelmediği ve sürekli azalan bir eğilim gösterdikleri görülmüştür (Şekil 4.21).



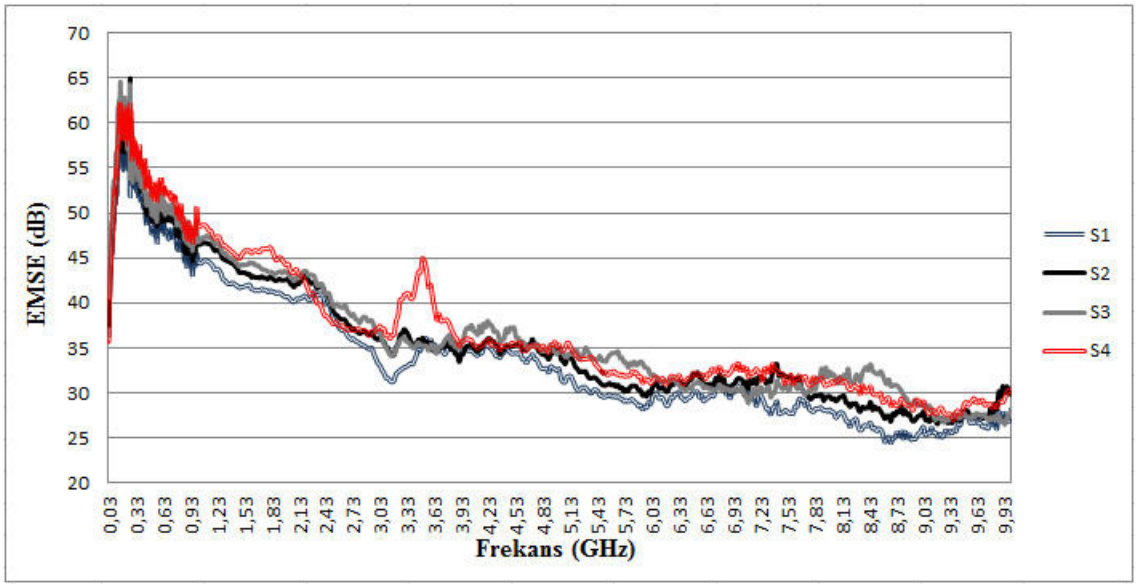
Şekil 4.21. S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon).

Atkı sıklıkları sırasıyla 21, 23, 25 ve 28 tel/cm olan S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune bezayağı dokuma kumaşlara ait yankısız oda metodu ile yapılan ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları şekil 4.22'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Antenlerin yatay polarizasyonlarında yapılan ölçümlerde; S1 kodlu numune kumaşın 90-430 MHz, S2 kodlu numune kumaşın 82-643 MHz, S3 kodlu numune kumaşın 72-760 MHz, S4 kodlu numune kumaşın 81-830 MHz frekans aralığında genellikle 50 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. S1 kodlu numune kumaşın 462 MHz-2.4 GHz, S2 kodlu numune kumaşın 667 MHz-2.4 GHz, S3 kodlu numune kumaşın 769 MHz-2.4 GHz, S4 kodlu numune kumaşın 831 MHz-2.3 GHz frekans aralığında ise genellikle 40 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir.

Bezayağı örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S3 kodlu kumaşın ölçümünde 158 MHz'de 64.55 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 35 mikron paslanmaz çelik tel kullanımı ile kumaşların ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. Metal içerikli kumaşlarda belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

4 farklı sıklığa sahip S1, S2, S3 ve S4 kodlu kumaşların SE değerlerini karşılaştırdığımızda önemli bir değişimin meydana gelmediği görülmüştür (Şekil 4.22).

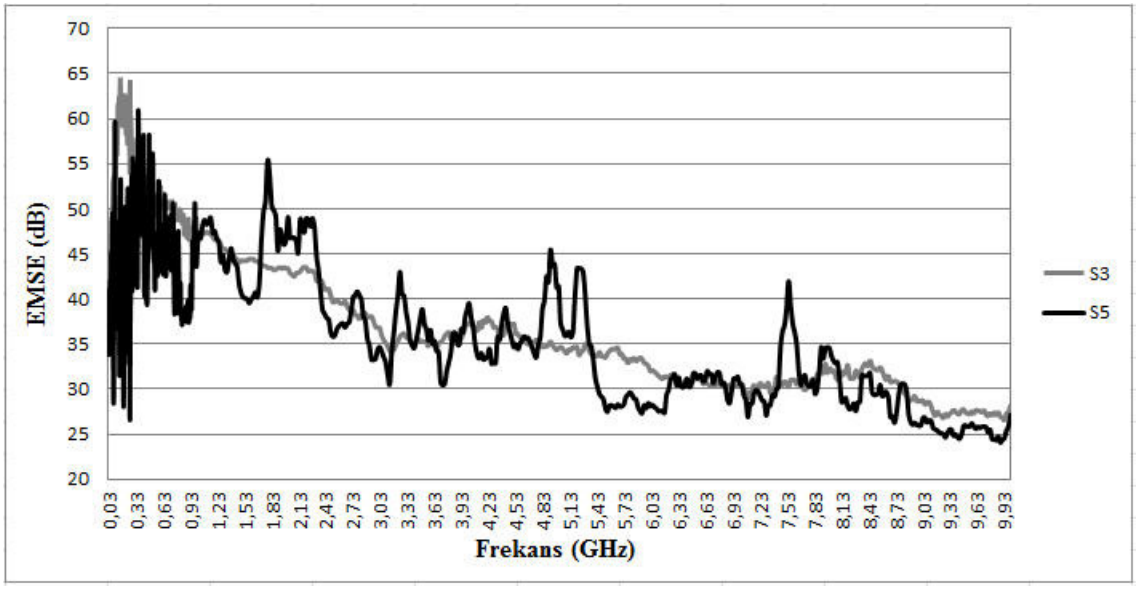


Şekil 4.22. S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (dikey polarizasyon).

Atkı sıklıkları 25 tel/cm olan S3 ve S5 kodlu numune bezayağı dokuma kumaşlara ait antenlerin yatay polarizasyonlarında, yankısız oda metoduna göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.23'de grafiksel olarak gösterilmiştir. S3 kodlu numune kumaşın atkı ve çözgüleri aynı olup kompozit iplik kullanılmıştır. S5 kodlu kumaşta ise çözgü olarak kompozit iplik kullanılırken, atkı olarak ise %100 PES ipliği kullanılmıştır. Atkıda ve çözgüde kullanılan kompozit iplik parazitlik elektronik bileşenler içerir. Bu parazitlik bileşenler telin çapına, uzunluğuna, bir diğer tele olan uzaklığa ve frekansa bağlı olarak değişir. Grafikte görülen rezonans piklerinin veya EMSE değerlerinin salınımlı olmasının nedeni budur. S5 kodlu kumaşın yatay polarizasyonu için yapılan ölçüm sonuçlarındaki rezonans piklerinin sayıca fazla

olmasının ve daha geniş aralıkta EMSE değerine sahip olmasının nedeni de sadece çözgüde kompozit iplik kullanılmasıdır. Diğer kumaşta ise hem atkıda hem de çözgüde kompozit iplik kullanılması sebebiyle örneğin atkıda bulunan iletkenlerin sebep olduğu olası rezonanslar çözgü iplikleri tarafından kısmen dengelenir.

S3 kodlu numune kumaşın 725-5013 MHz frekans aralığında 50 dB ve üzeri, 5030 MHz-2.5 GHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. S5 kodlu numune kumaşın 457 MHz-2.3 GHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri, 2.4-7 GHz frekans aralığında ise 30 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. Belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin S3 ve S5 kodlu kumaşlarda normal ekranlama aralığında (30-60 dB) aralığında olduğu görülmüştür.



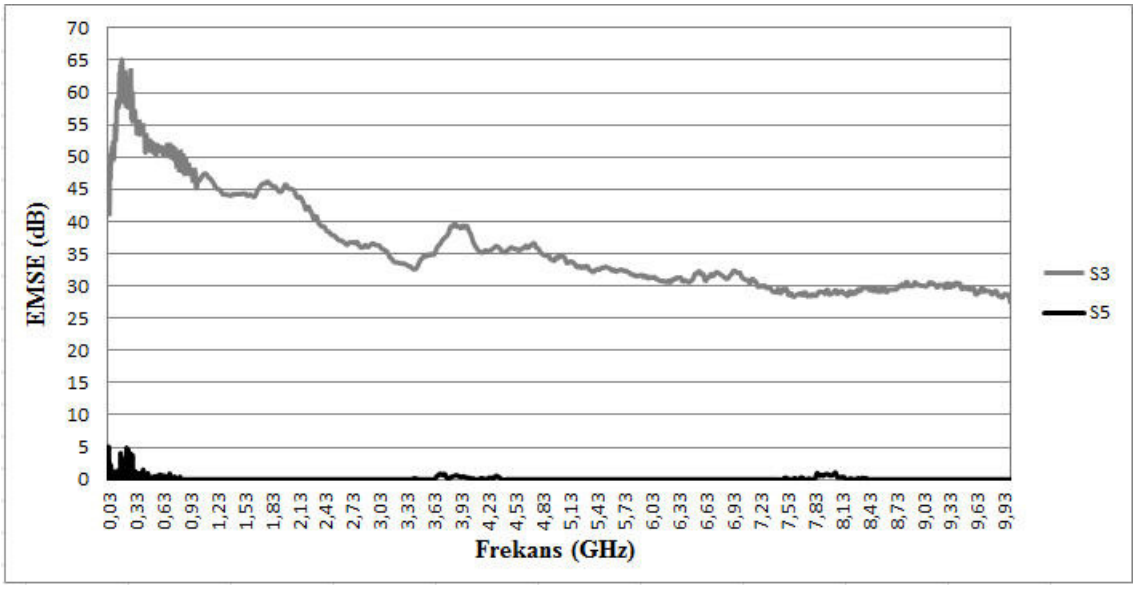
Şekil 4.23. S3 ve S5 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon).

Atkı sıklıkları 25 tel/cm olan S3 ve S5 kodlu numune bezayağı dokuma kumaşlara ait antenlerin dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.24'de grafiksel olarak gösterilmiştir. S3 kodlu numune kumaşın atkı ve çözgüleri aynı olup kompozit iplik kullanılmıştır. S5 kodlu kumaşta ise çözgü olarak kompozit iplik kullanılırken, atkı olarak ise %100 PES ipliği kullanılmıştır.

S3 kodlu numune kumaşın 75-830 MHz frekans aralığında 50 dB ve üzeri, 860 MHz-2.5 GHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı

görülmektedir. S5 kodlu numune kumaşta ise sıfıra yakın bir değerde ekranlama etkinliği değeri gözlenmiştir. Bezayağı örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S3 kodlu kumaşın ölçümünde 180 MHz'de 65.15 dB olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlara göre hem atkıda hem de çözgüde 35 mikron paslanmaz çelik tel içeren kompozit ipliğin kullanılmasıyla, kumaşların daha fazla ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. Metal içerikli kumaşlarda belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin S3 kodlu kumaşta normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür. Atkısında metal kullanılmayan S5 kodlu kumaşın ise herhangi bir ekranlama etkinliğe sahip olmadığı gözlenmiştir.



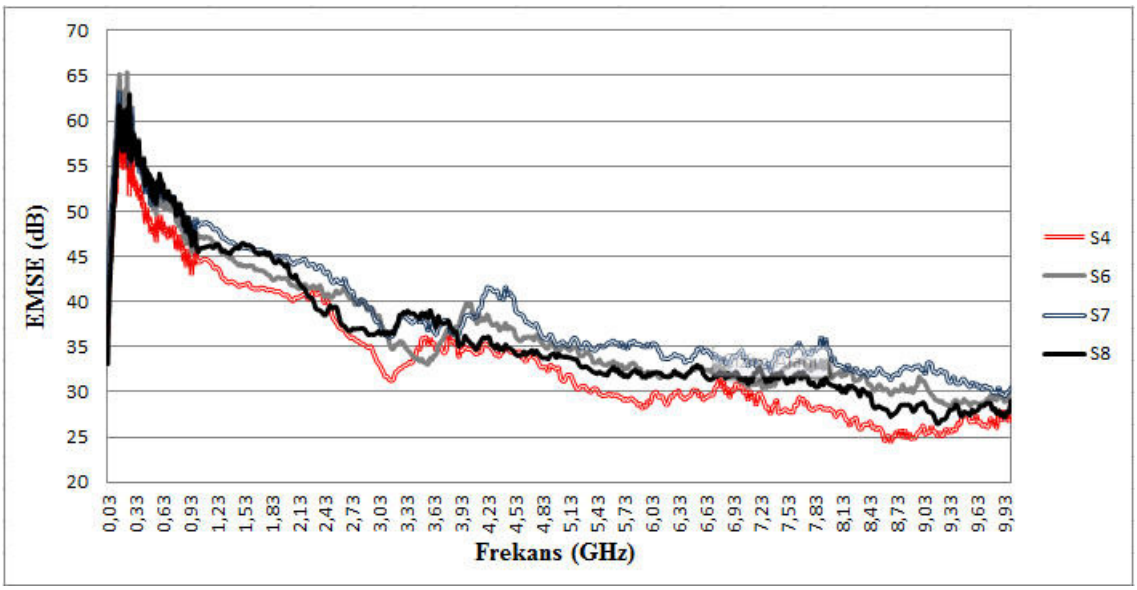
Şekil 4.24. S3 ve S5 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (dikey polarizasyon).

Antenlerin yatay polarizasyonlarında yapılan, örgü yapıları sırasıyla bezayağı, panama, ribs ve dimi olan 28 tel/cm atkı sıklığa sahip S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune dokuma kumaşlara ait yankısız oda metoduna göre yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.25'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

S4 kodlu numune kumaşın81-830 MHz frekans aralığında, S6 kodlu numune kumaşın 96-744 MHz frekans aralığında, S7 kodlu numune kumaşın 98-740 MHz frekans aralığında ve S8 kodlu numune kumaşın 68-865 MHz frekans aralığında 50 dB ve üzeri

ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. En yüksek ekranlama etkinliği değeri S6 kodlu kumaşta 242 MHz' de 65.36 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 35 mikron paslanmaz çelik tel kullanımı ile kumaşların ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. Bütün metal içerikli kumaşlarda, belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

4 farklı örgü yapısına sahip S4, S6, S7 ve S8 kodlu kumaşların SE değerlerini karşılaştırdığımızda önemli bir değişimin meydana gelmediği görülmüştür (Şekil 4.25).



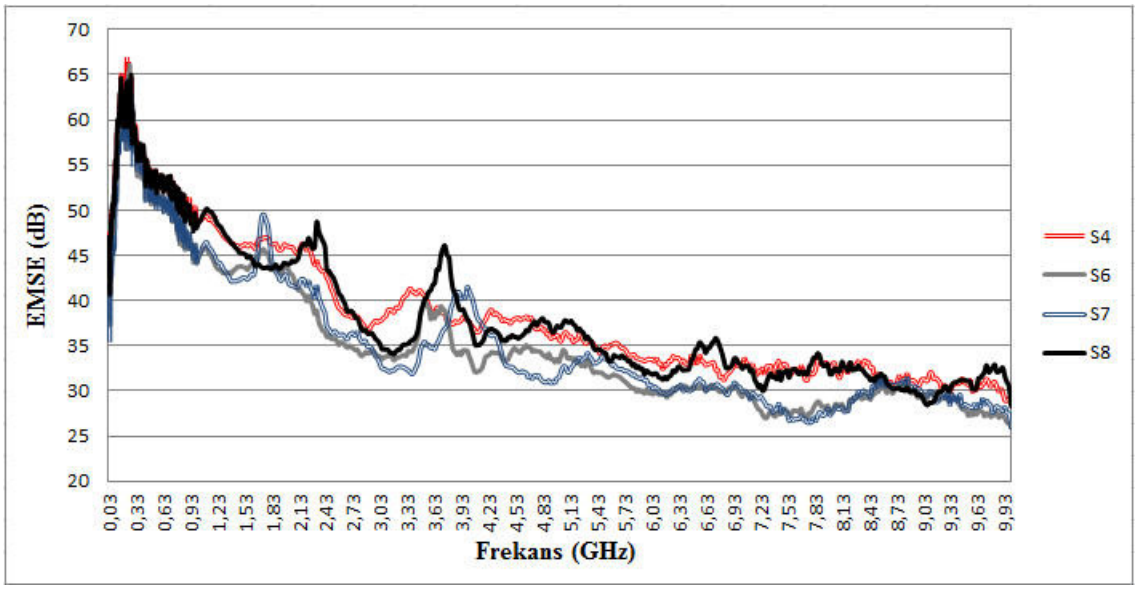
Şekil 4.25. S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune kumaşın ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon).

Örgü yapıları sırasıyla bezayağı, panama, ribs ve dimi olan 28 tel/cm atkı sıklığa sahip S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune dokuma kumaşlara ait yankısız oda metoduna göre, antenlerin dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4.26'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

S4 kodlu numune kumaşın81-830 MHz frekans aralığında, S6 kodlu numune kumaşın 96-744 MHz frekans aralığında, S7 kodlu numune kumaşın 98-740 MHz frekans aralığında ve S8 kodlu numune kumaşın 68-865 MHz frekans aralığında 50 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. En yüksek ekranlama etkinliği değeri S6 kodlu kumaşta 261 MHz' de 66.08 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre 35 mikron paslanmaz çelik tel kullanımı ile kumaşların ekranlama etkinliği özelliği

kazandığı görülmektedir. Bütün metal içerikli kumaşlarda, belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.

4 farklı örgü yapısına sahip S4, S6, S7 ve S8 kodlu kumaşların SE değerlerini karşılaştırdığımızda önemli bir değişimin meydana gelmediği görülmüştür (Şekil 4.26).



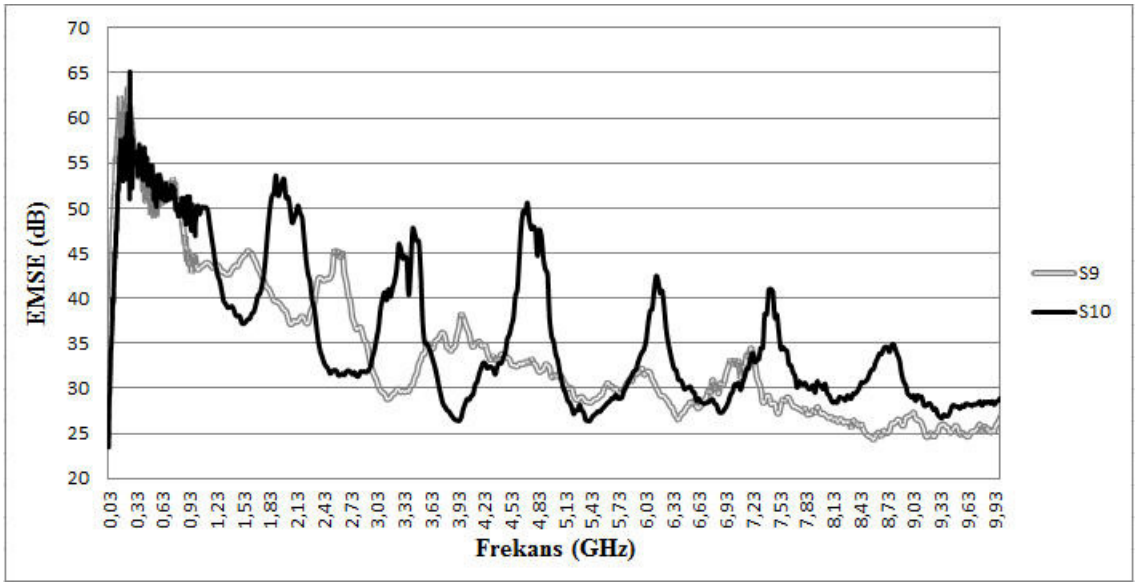
Şekil 4.26. S4, S6, S7 ve S8 kodlu numune kumaşın ekranlama etkinliği test sonuçları (dikey polarizasyon).

Örgü yapıları panama, atkı sıklıkları 22 tel/cm olan S9 ve S10 kodlu şönilli numune kumaşlara ait yankısız oda metoduna göre antenlerin yatay polarizasyonlarında yapılan ölçümlerin ekranlama etkinliği sonuçları şekil 4. 27'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

S9 ve S10 kodlu kumaşta çözgü olarak kompozit iplik kullanılırken, atkı olarak ise S9 kodlu kumaşta gümüş kaplı bakır+şönil içeren kompozit iplik kullanılırken S10 kodlu kumaşta sadece şönil kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı S9 ve S10 kodlu kumaşları S3 ve S5 kodlu kumaşlar da olduğu gibi sayıca fazla rezonans piklerine sahiptir.

S9 kodlu numune kumaşın 835-1800 MHz, 940-2200 MHz frekans aralığında ekranlama 40 dB ve üzeri ekranlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. Panama örgü yapısında dokunmuş kumaşlarda en yüksek ekranlama etkinliği değeri S10 kodlu kumaşın ölçümünde 267 MHz'de 65.13 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre hem

atkıda hem de çözgüde 35 mikron paslanmaz çelik tel içeren kompozit ipliğin kullanılmasıyla, kumaşların daha fazla ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmektedir. Metal içerikli kumaşlarda belirli frekanslarda elde edilen ekranlama etkinliği değerinin S9 ve S10 kodlu kumaşlarda normal ekranlama aralığında (30-60 dB) olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27. S9 ve S10 kodlu numune kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (yatay polarizasyon).

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Geliştirilen kumaşların ekranlama etkinlik değerleri, hem koaksiyel tutucu metoduyla hem de yankısız oda metodu ile ölçülerek belirlenmiştir. Örgü yapıları, çözgü sıklıkları aynı olan; atkı sıklıkları sırasıyla 21, 23, 25, 28 tel/cm olan S1, S2, S3 ve S4 kodlu numune kumaşların koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerinde ekranlama etkinlik değerleri frekansla birlikte artmakta ve tüm kumaşlar için değerler paralellik göstermektedir.

Atkı ve çözgü sıklıkları ile örgü yapıları aynı olan S3 ve S5 kodlu kumaşlarda; S3 kumaşında atkı ve çözgü ipliği olarak kompozit kullanılırken S5 kumaşında atkı ipliği olarak %100 PES, çözgü ipliği olarak kompozit iplik kullanılmıştır. Koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerde S5 kumaşı 10 dB ve üzeri , S3 kodlu kumaş ise 40 dB ve üzeri bir ekranlama etkinliğine sahiptir.

Çözgü ve atkı sıklıkları aynı olan, örgü yapıları sırasıyla bezayağı, panama, ribs ve dimi olan S4, S6, S7 ve S8 kodlu kumaşların koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerinde ekranlama etkinlik değeri dört kumaş için de normal ekranlama aralığında olduğu belirlenmiştir.

Atkı ve çözgü sıklıkları ile örgü yapıları aynı panama olan S9 ve S10 kodlu kumaşların koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerde ekranlama etkinlik değeri; S9 kodlu kumaşta 40 dB ve üzeri bir değere sahipken S10 kodlu kumaş 30 ve üzeri bir değere

sahiptir. Bunun nedeni ise; S9 kodlu kumaşta atkı ipliği gümüş kaplı bakır+şönil kullanılırken S10 kodlu kumaşta atkı ipliği olarak metalsiz şönil kullanılmasıdır.

Örgü yapıları, atkı ve çözgü sıklıkları aynı olan fakat atkı ipliği farklı olan S11, S12, S13 ve S14 kodlu kumaşların koaksiyel tutucu metoduna göre yapılan ölçümlerinde ekranlama etkinlik değerleri genellikle 50 dB ve üzeri bir değere sahiptir.

Yankısız oda metoduna göre antenlerin yatay ve dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlerde; S1, S2, S3 ve S4 kodlu kumaşların ekranlama etkinlik değerlerinin frekans artışı ile azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Atkı sıklığındaki artış genel anlamda elektromanyetik dalganın yatay ve dikey polarizasyonu için ekranlama etkinliğinde artış anlamına gelmektedir. Metal içerikli kompozit ipliklerden dokunan kumaşlarda atkı sıklığı değişiminin, kumaşın ekranlama etkinliği üzerindeki etkisinin elektromanyetik dalganın dikey polarizasyonunda daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.

S3 ve S5 kodlu kumaşların antenlerin yatay polarizasyonlarında yapılan ölçümlerinde her iki kumaşta belirli bir ekranlama değerine sahiptir. S5 kodlu kumaşın yatay polarizasyonu için yapılan ölçüm sonuçlarındaki rezonans piklerinin fazla olmasının ve daha geniş aralıkta EMSE değerine sahip olmasının nedeni de sadece çözgüde kompozit iplik kullanılmasıdır. Diğer kumaşta ise hem atkıda hem de çözgüde kompozit iplik kullanılması sebebiyle atkıda bulunan iletkenlerin sebep olduğu olası rezonanslar çözgü iplikleri tarafından kısmen dengelenir. Antenlerin dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlerde S3 kumaşı 50 dB ve üzeri ekranlama etkinliğine sahipken S5 kumaşı sıfıra yakın bir ekranlama etkinliğina sahiptir. Bunun nedeni de yine S3 kumaşında atkı ve çözgü ipliği olarak kompozit iplik kullanılıp; S5 kodlu kumaşta çözgü ipliği olarak kompozit iplik, atkı ipliği olarak ise %100 PES kullanılmasıdır.

Yankısız oda metoduna göre; S4, S6, S7 ve S8 kodlum kumaşların antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlerinde ekranlama etkinlik değerleri birbiriyle benzerlik göstermektedir.

S9 ve S10 kodlu kumaşların yankısız oda metoduna göre antenlerin yatay polarizasyonlarında yapılan ölçüm sonuçlarında; S10 kodlu kumaşının sayıca fazla

rezonans piklerine sahip olmasının nedeni sadece çözgüsünde kompozit iplik kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Her iki kumaşın ekranlama etkinlik değerleri 40 dB ve üzeri bir değere sahiptir.

5.2. Öneriler

Kumaşlarda ekranlama etkinliği adına birçok EMI probleminin çözümüne yetecek düzeyde değerlere ulaşılmıştır. Ancak kumaşların estetik performanslarının artırılması adına atkı ve çözgü ipliklerinin içi oyuk kaplama tekniğiyle elde edilen kompozit iplikler yerine core spun, core kompakt eğirme teknikleri gibi farklı teknikler kullanılarak edilen metal kompozit iplikler kullanılabilir. Ayrıca kumaşların üretiminde kullanılan gümüş kaplı poliamid filament iplikler core spun eğirme metodu kullanılarak pamuk lifleri ile bir araya getirilebilir. Böylelikle, elektromanyetik dalgaları ekranlama amaçlı olarak bu tarz ipliklerden üretilen perde kumaşlarındaki estetik performans problemi giderilmiş olacaktır. .

Ayrıca üretilen kumaşların ASTM D-4935 standardına göre ekranlama etkinliği ölçümü için kullanılan test aparatında yapılacak revizyonlar ile ölçüm frekansı üst sınırı artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Şeker, S., Çerezci, O., Radyasyon Kuşatması-elektriğin ve nükleer enerjinin sağlığımıza etkileri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2000.
2. Sevgi, L., Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik, EMO İstanbul, Ekim 2000.
3. Ersoy, M.S., Önder, E., Shielding Textiles Against Electromagnetic Radiation, International Nonwoven Technical Textiles Technology Magazine,1.çeyrek, Sayı:18, 52-61, 2008.
4. Roh, J., -S., Chi, Y., -S, Kang, T., J., Nam, S., -W., Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics, T. Res., Journal, 78 (9), 2008, pp. 825-835.
5. http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/e_radyasyon.pdf, Eylül 2008.
6. www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf , Nisan 2010.
7. Palamutçu S., Dağ N., Fonksiyonel Tekstiller I : Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 3, No: 1, (87-101), 2009.
8. Su, C. I., Chern, J. T., Effect of Stainless Steel-Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness, Textile Res. J. 74(1), 51-54, 2004.
9. http://www.iso.org.tr/tr/documents/cevre/elektromanyetik%20kirlilik%20rapor.pdf, Eylül 2008.
10. Kılıç, B., Elektromanyetik Test Altyapıları ve Montaj Yöntemleri, UEKAE Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, (50-59), 2010
11. Kumbasar, H., TEMPEST, UEKAE Dergisi, Cilt:2, Sayı:3,(22-27), 2010
12. Saraç, U., TEMPEST'in Keşfi ve Sinyal Analizi, Cilt:2, Sayı:3, (30-35), 2010
13. Koyaz Üç, Yazıcı A., TEMPEST Nedir,Nerede,NeSeviyede?).
14. http://www.tankado.com/index.php?2005/11/20/50-elektromanyetik-dinleme-ve guvenlik edg (Kasım 2008)
15. Sevgi L., Elektronik Savaşlar, Bilgi Casusluğu ve Tempest, Endüstriyel & Otomasyon, Ocak 2005
16. Türetken, B., Kumbasar, H., Bina TEMPEST Değerlendirme Kriterleri ve Ölçüm

Sistemi, UEKAE Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, (38-41), 2010

17.Aniołczyk, H., Koprowska, J., Mamrot, P., Lichawska, J., Application of Electrically Conductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy, Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol. 12, No. 4 (48), October / December 2004.

18.http://www.bilesim.com.tr/tr/index.nsf?lf=/tr/leftbarfuarcilik.html&rf=http://www.bilesim.com.tr/mistoportal/showmakale.nsf?xd=1470.xml, Ekim 2008.

19.http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Eylul04.pdf, Eylül 2008.

20.http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_shielding, Eylül 2008.

21.http://www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm, Ekim 2008.

22.http://akademik.maltepe.edu.tr/~aliozcan/kompozit%20malzemeler.pdf, Ekim 2008.

23.Yang, S., Y., Chen, C., Y., and Parng, S., H., Effects of Conductive Fibers and Processing Conditions on the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Injection Molded Composites, Polymer Composites, 23(6): 1003–1013, December 2002.

24.Amarasekera, J., Conductive Plastics for Electrical and Electronic Applications, Reinforced plastics, A Review, September 2005.

25.Atlas, S., İletken Özellikteki Metal İpliklerin Üretim Yöntemleri, Tekstil&Teknik, 162-176, Haziran 2006

26.http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/biliminsanlari/tubitakbilimodulleri/S432-6.pdf, Ekim 2008.

27.Lee, C., Y., Song, H., G., Jang, K., S., Oh, E., J., Epstein, A., J., and Joo, J., Electromagnetic Interference Shielding Efficiency of Polyaniline Mixtures and Multilayer Films, Synthetic Metals 102, 1346-1349, 1999.

28.Yasufuku, S., Technical Progress of EMI Shielding Materials in Japan, IEEE Electrical Insulation Magazine Vo1.6, No.6., Nov. /Dec. 1990.

29.http://www.ortusyapi.com/index.php?uid=4&pid=4

30.Lou, C.W., Process of Complex Core Spun Yarn Containing a Metal Wire, Textile Res.J., 75 (6), 466-473, 2005.

31.Cheng, K., B., Cheng, T., W., Lee, K., C., Ueng, T., H., Hsing, W., H., Effects of

Yarn Constitutions and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, Composites Part A:applied science and manufacturing, 34, 971 978, 2003

32. Chen, H., C., Lee, K., C., Lin, J., H., Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites, Composites Part A:applied science and manufacturing, 35, 1249-1256, 2004.
33. Ueng, T., H., Cheng, K., B., Friction core-spun yarns for electrical properties of woven fabrics, Composites Part A:applied science and manufacturing, 32, 1491 1496, 2001.
34. Pinar, A., Michalak, L., Influence of Structural Parameters of Wale-Knitted Fabrics on their Electrostatic Properties, Fibres&Textiles in Eastern Europe, Vol. 14, No. 5 (59), January / December 2006.
35. Goedbloed, J. J., Electromagnetic Compatibility, Prentice Hall International (UK) Ltd., 1992.
36. Więckowski, T. W., Janukiewicz J. M., Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles, Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol. 14, No. 5 (59), January/December 2006.
37. Özsoy, S., Elektromanyetik Dalga Teorisi, Erciyes Üniversitesi Matbaası,Kayseri, 1998.
38. Roh, J., -S., Chi, Y., -S, Kang, T., J., Nam, S., -W., Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics, T. Res., Journal, 78 (9), 825-835, 2008.
39. Janda, N., B., Development of a Predictive Shielding Effectiveness Model for Carbon Fiber/Nylon Based Composites, M.Sc. Thesis, Michigan Technological University, 2004.
40. Yasufuku, S., Tecnical Progress of EMI Shielding Materials in Japan, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 6, No. 6, 21-30, 1990.
41. Baykal, P., Sığnak, N., Metal İplik İçeren Dokuma Kumaşların Performans Özelliklerinin İncelenmesi, Tekstil ve Konfeksiyon, vol.1, 39-44, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kayseri'de doğdu. Ortaöğrenimini ve lise öğrenimini Sema Yazar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Halen Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Tekstil Mühendisliği Yüksek Lisans Programına devam etmektedir.