**T.C.**
**ERCİYES ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**
**ANABİLİM DALI**

# KOMPOZİT MALZEMELERİN EKRANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

**Hazırlayan**
**Ebru Seza TÜRKSOY**

**Danışman**
**Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

**Doktora Tezi**

**Haziran 2016**
**KAYSERİ**

**T.C.**
**ERCİYES ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**
**ANABİLİM DALI**

# KOMPOZİT MALZEMELERİN EKRANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

**(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan**
**Ebru Seza TÜRKSOY**

**Danışman**
**Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

**Haziran 2016**
**KAYSERİ**

# BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ebru Seza TÜRKSOY

# YÖNERGEYE UYGUNLUK

**"Kompozit Malzemelerin Ekranlama Etkinliği Ölçümü için Yeni bir Test Cihazı Geliştirilmesi ve Optimizasyonu"** adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

| **Hazırlayan** | **Danışman** |
|---|---|
| Ebru Seza TÜRKSOY | Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU |

**Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı**

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

**Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU** danışmanlığında **Ebru Seza TÜRKSOY** tarafından hazırlanan **"Kompozit Malzemelerin Ekranlama Etkinliği Ölçümü için Yeni bir Test Cihazı Geliştirilmesi ve Optimizasyonu'"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

…./…. /2016

**JÜRİ:**

Başkan : ..... .....

Üye : ..... .....

Üye : ..... .....

Üye : ..... .....

Üye : ..... .....

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun ……...… tarih ve ……..sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /…… /2016

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

# TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında beni daima destekleyen, her konuda çok değerli bilgi ve deneyimiyle yönlendiren, tezimin tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca, Tekstil Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Sümeyye ÜSTÜNTAĞ'a ve Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Esra AKGÜL'e yardımları için teşekkür ederim.

Ebru Seza TÜRKSOY

Haziran 2016, KAYSERİ

**KOMPOZİT MALZEMELERİN EKRANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

**Ebru Seza TÜRKSOY**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Doktora Tezi, Haziran 2016**
**Tez Danışmanları: Doç. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

# ÖZET

Medeniyetin ilerlemesi ile elektrikli ve elektronik cihazlar günlük hayatımızda çok daha önemli bir konuma gelmiştir. Yaşamımızın her safhasına girmiş olan bu cihazların kullanımı, hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte elektromanyetik çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmiştir. Elektromanyetik radyasyondan korunmada kullanılan başlıca yöntemlerinden birisi ekranlamadır. Günümüzde klasik ekranlama malzemelerinin sınırlı esneklik, ağırlık, korozyon ve ekranlama verimliliğini ayarlama zorluğu gibi dezavantajlarından dolayı ekranlamada daha hafif, esnek ve daha düşük maliyetli tekstil esaslı malzemeler tercih edilmektedir. Ayrıca artan sağlık ve çevre bilinci ile elektromanyetik ışımanın zararlı etkilerinden korunmak amaçlı tekstil esaslı yapıların geliştirilmesi ile ilgili bilimsel çalışmaların sayısı da sürekli artmaktadır. Malzemelerin ekranlama etkinliği (SE-Shielding Effectiveness) uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Klasik metal malzemeler için ekranlama etkinliği, sadece materyalin elektrik ve manyetik parametrelerine bağlı olarak kolayca hesaplanabilirken; kompozit materyaller ve/veya tekstil esaslı yapıların SE değeri sadece fiili olarak ölçülerek belirlenebilir. Ekranlama amacıyla geliştirilen tekstil esaslı malzemelerin ekranlama etkinliği ölçümünde kullanılan en yaygın iki metot; yankısız oda ve koaksiyel tutucu metodudur.

Tez çalışması üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşama, ASTM D 4935 standardına dayalı koaksiyel tutucunun ölçme hatalarını giderecek modelleme çalışmasıdır. Bu çalışma, Farksal Gelişim Algoritması kullanarak, geliştirilen model parametrelerinin optimizasyonuna dayanmaktadır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında, yine ASTM D 4935 standardını esas alan, ancak malzemesi ve boyutları değiştirilerek, ölçüm yapılabilen frekans üst sınırının yükseltildiği yeni bir test aparatı geliştirilmiştir. Tasarlanan yeni test aparatı ile 10 MHz-5.25 GHz frekans aralığında sağlıklı SE ölçümleri yapılabilmektedir. Ayrıca bu cihazın diğer bir avantajı da SE ölçümlerinde diğerlerine göre nispeten daha küçük boyutlu numunelerin kullanılmasına imkân vermesidir.

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında, yeni geliştirilen test aparatının ölçüm hatalarının giderilmesi için yeni bir model önerilmiş, yine Farksal Gelişim Algoritması kullanarak bu modelin parametrelerinin de optimizasyonu yapılmıştır. Tezin birinci ve üçüncü aşamasında önerilen ve optimize edilen her iki model de, yankısız oda ölçüm sonuçları ile mükemmel uyum sağlamıştır.

Tez çalışması sırasında geliştirilen test aparatının, hafif, geniş frekans aralıklı, pratik kullanımlı ve hızlı ölçümlere imkan vermesi en çarpıcı yönleridir. Ancak, en önemli sorunu, söz konusu geniş frekans aralığı boyunca bazı frekans bölgelerinde beklenen davranıştan sapmasıdır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, bu sorunu da ortadan kaldırmak için, ekranlama etkinliği sonuçlarını doğrusal olmayan bir modelle düzelterek, standart ölçümlerle uyumlu hale getirilmesi sağlanmıştır. Model geliştirme ve optimizasyon için rasgele seçilmiş bir hibrit kumaşa ait standart ölçüm sonuçları kullanılmış ve diğer kumaşların standart ölçümleri, optimize edilmiş modelle test edilmiştir. Test sonuçlarının, standart ölçüm sonuçları ile mükemmel uyum sergilediği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik radyasyon, metal içerikli kompozit iplikler, iletken kumaşlar, ekranlama etkinliği(SE)

**DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF A NEW TESTING DEVICE FOR ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECTIVENESS OF COMPOSITE MATERIALS**

**Ebru Seza TÜRKSOY**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**
**Phd. Thesis, June 2016**
**Thesis Supervisors: Assist. Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU**

# ABSTRACT

With the advancement of civilization, electrical and electronic equipments have become much more important position in our daily lives. The use of these equipments which entered into every stage of our lives, not only makes our lives easier but also has brought the electromagnetic pollution problem. One of the main methods used to protect from electromagnetic radiation is shielding. Nowadays lighter, flexible and more cost-effective textile-based materials are preferred for shielding, instead of conventional shielding materials which have some disadvantages such as limited flexibility, weight, corrosion and the difficulty of adjusting the shielding efficiency. Also the number of scientific researches related to the development of the textile-based structure aiming function of protection from the harmful effects of electromagnetic radiation are steadily increasing. Shielding effectiveness (SE) of material is a parameter that determines the application area of materials. While the SE value of conventional metal materials can be easily calculated depending on the electric and magnetic parameters of the material, the SE of composite and/or textile-based materials can be determined only by measuring. The two most common methods used for SE measurement of textile-based materials developed for the purpose of shielding are anechonic chamber and coaxial holder methods.

Thesis consists of three stages: first stage is modeling study to eliminate measurement errors of coaxial holder method based on the ASTM D 4935 standard. This study is based on the optimization of the model parameters developed by using Differantial Evoluation Algorithm.

In the second stage of thesis, a new test apparatus based on the ASTM D 4935 standard is designed and implemented by changing the material and dimensions. Thus capable of

measuring frequency upper limit is also raised. Accurate measurements can be made in 10 MHz-5.25 GHz frequency range with this new test apparatus. Also a further advantage of this test apparatus is that allowing the use of relatively smaller sample size.

In the third stage of the thesis, a new model for the elimination of measurement error of newly developed test apparatus has been proposed, though the optimization of the parameters of this model are made using Differential Evolution Algorithm. Both models proposed and optimized in the fist and third stages of the thesis are perfect fit with the test results of anechonic chamber method.

The test apparatus developed during the thesis, have some striking aspects, such as, lightweight, broad frequency range and opportunities for practical use and fast measurements. However, the test apparatus show the deviation from the expected behavior of the certain frequency over a wide frequency range. Therefore, in this study, to eliminate this problem, correcting the results of shielding effectiveness of a non-linear model, to be aligned with the standard measurement is provided. The standard measurement results of the hybrid fabric sample selected randomly were used for model development and optimization and the standard measurements of other hybrid fabric samples were tested with optimized model. It was observed that, the test results exhibit excellent compatibility with standard measurement results.

**Keywords:** Electromagnetic radiation, composite yarns containing metal, conductive fabrics, shielding effectiveness (SE)

# İÇİNDEKİLER

## KOMPOZİT MALZEMELERİN EKRANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ..... i

YÖNERGEYE UYGUNLUK ..... ii

KABUL ONAY ..... iii

TEŞEKKÜR ..... iv

ÖZET ..... v

ABSTRACT ..... vii

İÇİNDEKİLER ..... ix

TABLOLAR LİSTESİ ..... xii

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... xiii

**GİRİŞ** ..... 1

**1. BÖLÜM**

**GENEL BİLGİLER**

**1.1. Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri** ..... 4

**1.1.1. Elektromanyetik Alanların İnsan Vücuduna Etkileri** ..... 8

**1.1.2. Elektromanyetik Alanların Cihazlar Üzerindeki Etkileri** ..... 10

**1.2. Elektromanyetik Alanlardan Korunmada Kullanılan Malzemeler** ..... 11

**1.2.1. Klasik Malzemeler** ..... 11

**1.2.2. Kompozit Malzemeler** ..... 11

**1.2.3. Elektro-İletken Boyalar** ..... 13

**1.2.4. İletken Özellikte Tekstil Yüzeyleri** ..... 13

**1.3. Tekstil Malzemelerinin Ekranlama Etkinliği Ölçümü** ..... 21

**1.3.1. Ekranlama ve Ekranlama Teorisi** ..... 21

**1.3.1.1. Ekranlama Etkinliğine Soğurma Katkısı ($S_A$)** ..... 29

**1.3.1.2. Ekranlama Etkinliğine Çoklu Yansıma Katkısı ($S_{MR}$)** ..... 30

**1.3.1.3. Ekranlama Etkinliğine Yansıma Katkısı ($S_R$)** ..... 30

**1.3.1.3.1. E-Dipolün Yakın Alanının Zayıflatılması** ..... 31

**1.3.1.3.2. H-Dipolün Yakın Alanının Zayıflatılması** ..... 31

**1.3.1.3.3. Uzak Alanın (Düzlem EM Dalgalar) Zayıflatılması** ..... 31

**1.3.2. Ekranlama Etkinliği Ölçüm Yöntemleri** ..... 32

**1.3.2.1. Kontrollü Test Alanlarında Ekranlama Etkinliği Ölçümü** ..... 32

**1.3.2.1.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method)** ..... 32

**1.3.2.1.2. Çift-TEM Hücre Ölçüm Metodu (The Dual-TEM Cell Method-(DTEM))** ..... 34

**1.3.2.1.3. Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method)** ..... 35

**1.3.2.2. Serbest Uzay Ölçüm Metotları** ..... 36

**1.3.2.2.1. Frekans Bölgesinde Serbest Uzay Ölçüm Teknikleri** ..... 36

**1.3.2.2.2. Zaman Bölgesinde Serbest Uzay Ölçüm Teknikleri** ..... 38

**2. BÖLÜM**

**GEREÇ VE YÖNTEM**

**2.1. Deneysel Kumaş Numuneleri** ..... 41

**2.2. Kumaş Numunelerinin Ekranlama Etkinliğinin Yankısız Oda ve Koaksiyel Tutucu Metoda Göre Test Edilmesi** ..... 43

**2.2.1. Koaksiyel Tutucu Metodu ile Yapılan SE Ölçümleri** ..... 43

**2.2.2. Yankısız Oda Metodu Yapılan SE Ölçümleri** ..... 44

**3. BÖLÜM**

**BULGULAR VE TARTIŞMA**

**3.1. Test Aparatının Geliştirilmesi** ..... 47

**3.2. Geliştirilen Test Aparatı ile Elde Edilen Sonuçların Koaksiyel Tutucu Metoda Göre Yapılan Test Sonuçları ile Karşılaştırılması** ..... 53

**3.3. Koaksiyel Tutucu Metoda Göre Yapılan Testten Elde Edilen Sonuçların Yankısız Oda Sonuçlarıyla Karşılaştırılması** ..... 57

**3.4. Geliştirilen Test Aparatından Elde Edilen Test Sonuçlarının, Yankısız Oda Sonuçlarıyla Karşılaştırılması** ..... 67

**4. BÖLÜM**

**SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

**4.1. Sonuçlar** ..... 76

**4.2. Öneriler** ..... 78

**KAYNAKÇA** ..... 79

**ÖZGEÇMİŞ** ..... 84

# TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. SE ve % Azalma değerleri ..... 27

Tablo 2.1. Elektromanyetik dalgaları ekranlama amaçlı üretilen kumaş numunelerinin özellikleri. ..... 42

Tablo 3.1. DGA için kontrol parametreleri ..... 58

Tablo 3.2. DGA için kontrol parametreleri ..... 67

# ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dalga boyu. ..... 5
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar ..... 6
Şekil 1.3. Elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan tekstil yüzey örnekleri. ..... 15
Şekil 1.4. Elektromanyetik radyasyondan koruyucu tekstil ürünlerinin çeşitli kullanım alanları. ..... 16
Şekil 1.5. Ekranlamadan önce ve sonra fizyoterapi odasının içinde ve dışında elektromanyetik alan dağılımı. ..... 18
Şekil 1.6. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta. ..... 21
Şekil 1.7. Temel elektrik alan ve manyetik alan kaynakları ..... 22
Şekil 1.8. Bir elektromanyetik etkileşim kaynağının etrafındaki tipik alanlar ..... 23
Şekil 1.9. Kalınlığı t olan duvarın ekranlama etkinliği. ..... 24
Şekil 1.10. Ekranlama etkinliğinin tanımı ..... 26
Şekil 1.11. Koaksiyel Tutucu Metot ..... 33
Şekil 1.12. Koaksiyel tutucu metodu uygulaması. ..... 33
Şekil 1.13. Çift-TEM hücre ..... 34
Şekil 1.14. Yankısız oda metodu uygulaması. ..... 35
Şekil 1.15. SE ölçümü için MIL-STD-285 metodunun adaptasyonu ..... 35
Şekil 1.16. Serbest-uzay iletim ölçüm metodu ..... 37
Şekil 1.17. Serbest uzay iletim ölçüm metodu uygulaması ..... 37
Şekil 1.18. Serbest-Uzay yansıma ölçüm metodu ..... 38
Şekil 1.19. Zaman Bölgesi İletim Ölçüm Tekniği ..... 39
Şekil 1.20. Zaman Bölgesi Yansıma Ölçüm Tekniği ..... 40
Şekil 2.1. Hibrit ipliklerin üretim sisteminin şematik gösterimi ve fotoğrafı. ..... 42
Şekil 2.2. Farklı örgü yapılarındaki numune kumaşların optik mikroskop altındaki görünümleri. ..... 43
Şekil 2.3. Koaksiyel Tutucu Metodu Test Uygulaması. ..... 44

Şekil 2.4. Ekranlama etkinliği genel test düzeneği.....45
Şekil 2.5. Yankısız oda iç-dış kısımları, pencere, kumaş ve test düzeneği. .....46
Şekil 3.1. ASTM D4935-99 ile uyumlu bir metot için referans (a), test adaptörü (b) ölçüleri ve koaksiyel hat içinde elektrik ve manyetik alan (c).....48
Şekil 3.2. Geliştirilen Test Aparatının üç boyutlu çizimi (a), 1/1 boyuttaki prototipi (b), ve gerçek hali (c). .....49
Şekil 3.3. Koaksiyel hattın etkin döngüsü (effective circle of coaxial line).....50
Şekil 3.4. Geliştirilen Koaksiyel Tutucu Test Aparatının görünümü. .....52
Şekil 3.5. K1 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....53
Şekil 3.6. K2 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....54
Şekil 3.7. K3 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....54
Şekil 3.8. K4 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....55
Şekil 3.9. K5 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....55
Şekil 3.10. K6 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....56
Şekil 3.11. K7 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları. .....56
Şekil 3.12. K1 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri .....60
Şekil 3.13. K2 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri .....61
Şekil 3.14. K3 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri .....62
Şekil 3.15. K4 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri .....63

Şekil 3.16. K5 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 64

Şekil 3.17. K6 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 65

Şekil 3.18. K7 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 66

Şekil 3.19. K1 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 69

Şekil 3.20. K2 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 70

Şekil 3.21. K3 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 71

Şekil 3.22. K4 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 72

Şekil 3.23. K5 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 73

Şekil 3.24. K6 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 74

Şekil 3.25. K7 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri ..... 75

# GİRİŞ

Elektrik yüklerinin hareketinden doğan, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerine sahip elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanına elektromanyetik alan denilir. Gelişen teknoloji ve değişen yaşam koşullarına bağlı olarak, günlük hayatımızda elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı artmıştır. Elektronik haberleşme ağları, 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, baz istasyonları, bilgisayarlar ve kullandığımız tüm elektrikli cihazlar ve sistemler çalışırken kasıtlı veya kasıtsız olarak elektromanyetik alan oluşturmaktadırlar. 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 "elektromanyetik dalgalar" şeklinde tanımlanmaktadır.

Elektromanyetik alanın cihazlar ve insanlar üzerindeki olumsuz etkileri bilinmektedir. Elektromanyetik alanlar, hassas elektronik cihazlar üzerinde etki yaparak bu cihazların doğru çalışmasını engellemektedir. Cihaz veya sistemlerin çalışmalarında meydana gelen bu bozulma veya kötüleşmeye Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference-EMI) problemi adı verilmektedir [1, 2]. Ayrıca elektromanyetik alanlar, elektronik bir sistem olarak kabul edilebilecek insan vücudunda da istenmeyen etkilere yol açmaktadır [2-4]. Artan sağlık ve çevre bilinci ile elektromanyetik radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için gerek ulusal gerekse uluslararası alanda yapılan bilimsel çalışmaların sayısı da sürekli artmaktadır.

Elektromanyetik radyasyondan korunmada başlıca yöntemlerden birisi ekranlamadır. Elektromanyetik ekranlama, elektromanyetik dalgalanın bir materyal tarafından soğrulması ve/veya yansıtılması ile dalganın içeri girmesine engel olunmasına denir. Günümüzde elektronik cihazların sosyal yaşamdaki rolünün artması ve yayınım

kaynaklarındaki hızlı gelişim, elektromanyetik alanın insan ve cihazlar üzerindeki olumsuz etkilerinin giderilmesinde ekranlamayı stratejik açıdan önemli hale getirmiştir.

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 çeşitli yapılarda kompozit ve tekstil malzemeleri tercih edilmektedir.

Malzemelerin ekranlama etkinliği uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Tekstil ve çeşitli kompozit materyallerin ekranlama etkinliği (SE-Shielding Effectiveness) değerinin, ekranlama amacıyla yaygın olarak kullanılan klasik metal plakalarda olduğu gibi hesaplanması mümkün olmadığından, ölçülmesi gerekmektedir. Bu tür malzemelerin ekranlama etkinliği ölçümlerini, serbest uzayda ve kontrollü test alanlarında yapılan ölçümler şeklinde iki ana bölüme ayırmak mümkündür. Geniş frekans aralığında ölçüm yapabilen serbest uzay ölçüm metotları, frekans bölgesinde ve zaman bölgesinde serbest uzay ölçüm teknikleri şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Ölçüm yerlerinde elektromanyetik çevrenin kontrol edilebildiği SE ölçümler ise, kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlerdir. Koaksiyel tutucu metodu ve yankısız oda metodunu bu gruptaki ölçüm metotlarına örnek gösterebiliriz. Ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları, test düzeneğinin geometrisine, frekans aralığına, numune boyutuna ve elektromanyetik alan kaynağının parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

Elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE değerlerinin ölçümü yankısız oda metodu ile ülkemizde çeşitli özel ve kamu kuruluşlarında yapılabilmektedir. Ancak, bu şekilde yapılan ölçümler bu konuda çalışan kişi ve kuruluşlar için zaman ve maliyet noktalarında büyük sorunlar içermektedir.. Kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlerden bir diğeri olan “Koaksiyel Tutucu Metodu”, ASTM D 4935 standardına dayanmaktadır. Koaksiyel tutucu metot, yankısız odaya nispeten daha pratik ölçüm imkânı sunsa da, özellikle ölçüm yapılabilen frekans aralığı ve test koşulları ile ilgili araştırmacıları zorlayan sınırlamalara sahiptir.

Bu tez çalışması kapsamında ASTM D 4935 standardına dayanan koaksiyel tutucu metodun dezavantajlarını ortadan kaldıracak ve araştırmacılara daha pratik test imkanı

sunabilecek yapıda bir test aparatı geliştirilmiştir. Geliştirilen test aparatı daha önceden elektromanyetik ekranlama amacıyla kontrollü şartlarda üretilen kompozit yapıdaki dokuma kumaşların ekranlama kabiliyeti değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yeni geliştirilen test aparatı ile elde edilen sonuçların, aynı kumaşların yankısız oda ve koaksiyel tutucu metot ile elde edilen test sonuçları ile ilişkilendirme ve benzetimleri yapılarak, aynı kumaşlar üzerinde farklı test sonuçlarının birbirine benzetimi gerçekleştirilmiştir.

# 1. BÖLÜM

# GENEL BİLGİLER

Yaşamımızın her safhasına girmiş olan elektronik cihazların kullanımı, hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte "elektrosmog" olarak da adlandırılan elektromanyetik çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmiştir. Elektromanyetik çevre kirliliğinden korunmanın en basit ve etkili yolu, elektromanyetik ışıma kaynağından uzak durmaktır. Fakat bu her zaman mümkün olmayacağı için farklı korunma yöntemleri geliştirilmiştir. Elektromanyetik ışımadan korunmada kullanılan başlıca yöntemlerinden 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 [5].

Malzemelerin ekranlama etkinliği (SE – Shielding Effectiveness) uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Metal ekranlar için ekranlama etkinliğini sadece materyalin elektrik ve manyetik parametreleri ile belirleyebilirken, bükülü metalik veya grafit teller içeren materyaller, metalize yüzeye sahip plastik materyaller, kompozit materyaller ve ekranlama özelliğine sahip tekstil materyallerinde ise SE değerini sadece fiili olarak ölçerek belirleyebiliriz.

Tez çalışmasının bu bölümünde elektromanyetik alanlar ve zararları, elektromanyetik alanlardan korunmada kullanılan tekstil yapıları, ekranlama teorisi ve ekranlama etkinliği ölçüm yöntemleri hakkında bilgi1ler verilecektir.

## 1.1. Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri

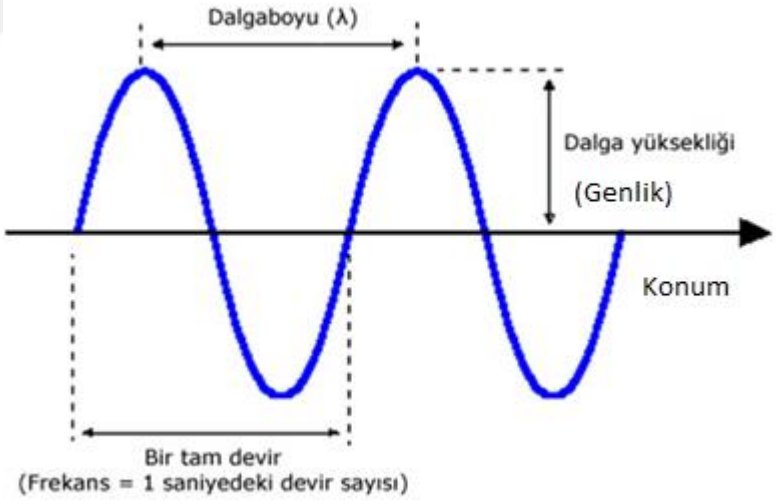
Elektromanyetik alan ya da dalga kuramı iki bağımsız değişken ile gösterilir. Bunlar elektrik alan (**E**) ve manyetik alan (**H**)'dır. E'nin birimi V/m ve **H**'ın birimi A/m'dir [1]. Elektrik yüklerinin hareketinden doğan, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerine sahip elektromanyetik enerji içeren kuvvet alanına elektromanyetik alan denir.

Elektromanyetik alan bir çubuk mıknatısın kuzey-güney kutbu gibi durağan (statik) olabileceği gibi, herhangi bir frekansla salınım da yapabilmektedir [2]. 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.

Elektromanyetik dalgalar, çoğu durumda çeşitli işlerin yapılabilmesi için bilerek üretilmektedirler. Örneğin; radyo haberleşmesi ya da TV resimlerinin alıcıya ulaşması, elektromanyetik dalgalar sayesinde olmaktadır [6]. Bu cihazların yaydığı dalgaları kasıtlı elektromanyetik radyasyon olarak sınıflandırabiliriz.

Her tür dalganın bir dalga boyu ve bir frekansı vardır. Sinüs ritmi şeklindeki bir dalgada birbirini izleyen iki tepe noktası ya da iki çukur arasındaki uzaklık ışık hızıdır ve c/f ile verilir ($c=3x10^8$ m/s).

Şekil 1.1'de dalga boyu şematize edilerek gösterilmiştir.



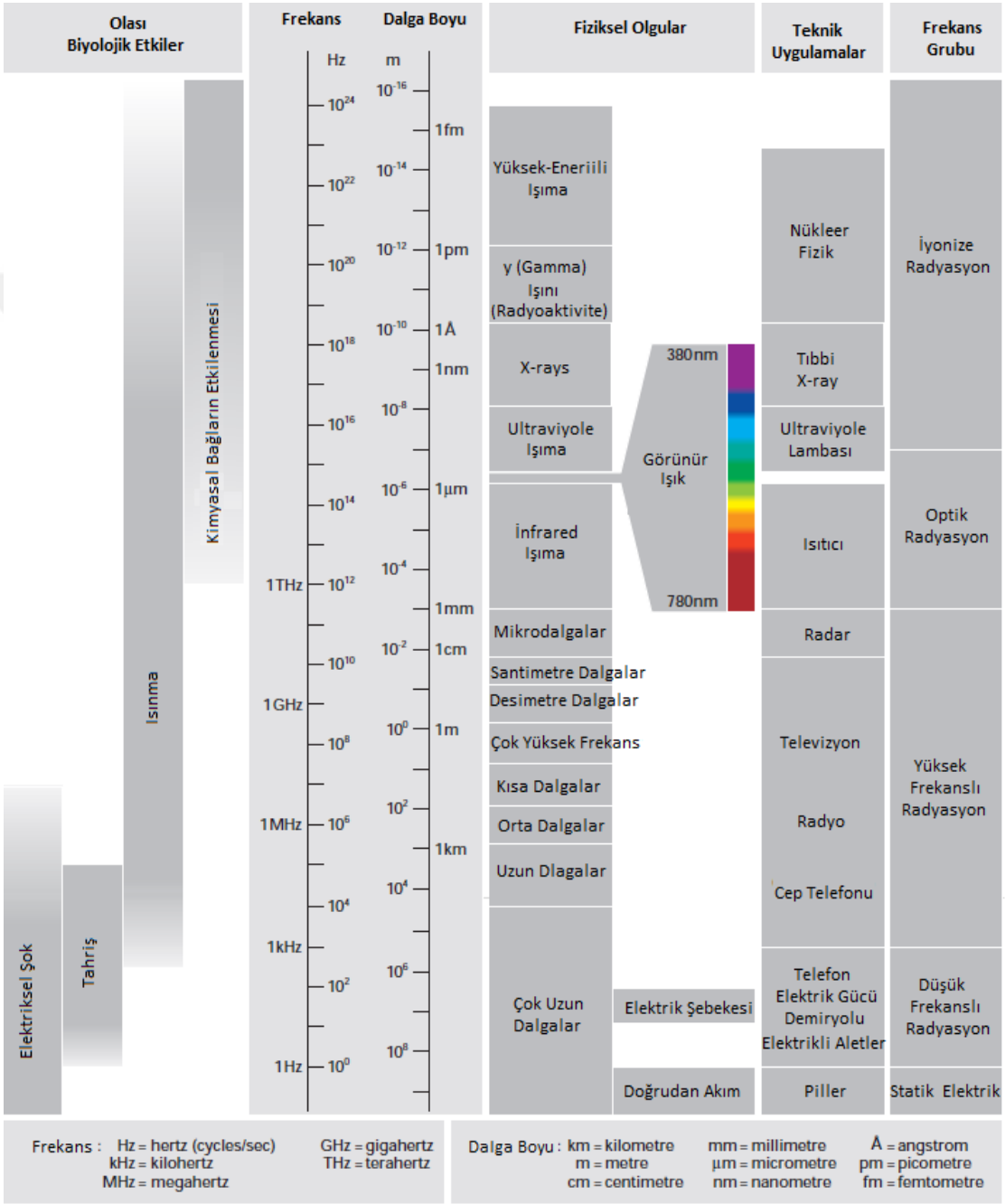

Şekil 1.1. Dalga boyu.

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 gerçekleşmektedir [1].

Dalganın yayılma hızı ile frekans arasında ilişki (1.1) denkleminde verilmiştir.

Hız = Frekans x Dalga Boyu (1.1)

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 1.2'de çeşitli elektromanyetik dalga kaynakları bir elektromanyetik spektrum ile birlikte gösterilmiştir.




Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar [7].

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, iyonlaştırmayan bölgedir ve radyo dalgalarını içerir.

- $10^{12}$-$10^{15}$ Hz arası optik bölgedir ve kızılaltı ışıma bölgesini içerir. Bütün nesneler bu frekanslarda ışınım yaparlar. Örneğin vücudumuzdaki ısının yaklaşık % 60'ı kızılaltı 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 [1].

Evlerdeki elektriksel tesisat ve güç iletim hatlarından yayılan elektromanyetik alanlar 50 Hz civarında frekansa sahip olup, bu frekanslardaki alanlara dalga boyu çok uzun (ELF, Extremely Low Frequency - Aşırı derecede düşük frekans) alanlar denir. 3 kHz - 300 GHz arasındaki frekans bölgesi radyo frekans bandı (RF, Radiofrequency ) olarak tanımlanmıştır. Bu frekans uydu haberleşmeleri, cep telefonları gibi alanlarda kullanılır. Mikrodalga frekans bandı, RF bandı içinde yer alıp birkaç yüz MHz'ten birkaç GHz'e kadar olan frekans bandını kapsar. Mikrodalga enerjinin en tanıdık ve en yaygın uygulaması 2450 MHz'de çalışan mikrodalga fırınlar ve kablosuz erişim noktalarıdır [8].

X-ışınları gibi kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalar, madde ile karşılaştıklarında, dalga olmaktan çok parçacıkmış gibi tepki görür ve gösterirler. Gerçekte bu dalgalar enerji demetleri olup "kuantum" ya da "foton" adını alırlar [2]. Foton ışıma dalga enerjisini taşıyan bir parçacıktır [9]. Her bir foton tarafından taşınan enerji, bu radyasyonun frekansına bağlıdır [2].

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 [1, 10]. 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. Sabit telekomünikasyon cihazları olan baz istasyonları, radyo ve televizyon vericileri ile elektrik iletim hatları, trafo merkezleri ve elektrikli ev aletlerinden (mikrodalga fırınlar, tıraş makinesi, saç kurutma makinesi v.b.) kaynaklanan radyasyon, elektromanyetik radyasyon grubunda yer almaktadır [10].

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.

### 1.1.1. Elektromanyetik Alanların İnsan Vücuduna Etkileri

İnsan bedeni fonksiyonlarının hepsi 1-250 mV 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 [2].

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 [2].

Ortamdaki iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgaların etkisinde kalma sonucunda canlılarda ısıl ve ısıl olmayan etkiler olmak üzere iki tür etki oluşabilir [8].

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 [3]. Ancak bu riskler çok yüksek deneysel dozlar ve sürelerde geçerlidir [8]. 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 [3].

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 [8]. 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 [4].

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. SAR değeri dokudan dokuya değiştiği gibi, doku içerisinde de noktadan noktaya (farklı noktalara farklı elektromanyetik enerji nüfuz edebileceğinden) değişir [1]. SAR, gelen dalganın frekansına, geliş açısına, canlı dokunun su muhtevasına ve biyolojik malzemenin elektriksel özelliklerine bağlıdır [2]. 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 [10]. 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 [11, 12].

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 (duyular), sinir ve kas hücrelerini etkiler. Alan şiddeti ne kadar büyükse etkileri de o oranda büyük olur [2].

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 [3].

### 1.1.2. 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 gibi olaylarla sık sık karşılaşılmaktadır. Bu tip sorunlardan dolayı elektrikli cihazların çalıştığı ortamlarda elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin belli bir değerin üzerine çıkması istenmez [2]. Elektrik/elektronik cihazlardan yayılacak olan elektromanyetik alanın şiddetinin değerleri belirlenirken, sadece cihazların hatasız çalışabilmeleri ve çalışırken de başka cihazların performansını düşürmemeleri istenir. Bu konu Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility-EMC) olarak adlandırılır. EMC mühendisliği girişim kaynağının etkilerini en aza indirmek, girişimden etkilenen cihazın alınganlığını gidermek ya da girişim yolunu ortadan kaldırmak konuları ile ilgilenmektedir [1].

## 1.2. 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) [12].

Yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemeler yüksek frekans aralığında (>300MHz) elektromanyetik kalkan 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. Bu yüzden elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, manyetik ekranlama ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır. Bazı uygulamalarda, sadece elektrik bileşeni E'nin azaltılması yeterlidir [13].

Elektromanyetik alanlardan korunmada kullanılan malzemeleri, klasik malzemeler, kompozit malzemeler, elektro-iletken boyalar ve iletken özellikte tekstil yüzeyleri şeklinde dört bölümde incelemek mümkündür.

### 1.2.1. 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 [12, 14]. Bu tip malzemeler; radyo dalgaları, görünür ışık, elektromanyetik ve elektrostatik alanların etkisini azaltmaktadır. Bu azalmadaki miktar: Kullanılan malzemeye, kalkanı oluşturan parçaların birleştirilme şekline ve elektromanyetik dalganın frekansına, bağlıdır [12, 15, 16].

### 1.2.2. Kompozit Malzemeler

Birbirlerinin zayıf yönlerini dengeleyerek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denilmektedir [16].

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 [17]. Elektromanyetik girişime (EMI-Electromagnetic Interference) karşı ekranlamada kompozitlerin kullanımı da oldukça yaygındır. Bu tarz kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılan iki metot; plastik yüzeyini iletken bir malzeme ile kaplamak ve polimeri iletken bir dolgu malzemesi ile birleştirmek şeklinde belirtilebilir [9].

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 (tipik olarak bakır veya nikel) 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 [15].

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 [18]. 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. Üretim yöntemleri iletken elemanlarla termoplastik yüzeylerin kaplanması veya karıştırılması şeklindedir [19].

İletken polimerler, 1979'lu yıllardan beri bilinen ve uygulamaları olan malzemelerdir. Bu malzemeler, 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 kızılaltı dalgalar gibi gönderilen bütün radyasyonu emdikleri için bu polimerler radar dalgalarına karşı görünmez cihazların yapımında kullanılmışlardır [20].

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 [9, 21]. 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 [9].

### 1.2.3. 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 [22]. Bu boyalar doğru şekilde uygulandığında elektromanyetik alanlara karşı etkin bir ekranlama sağlamaktadırlar.

### 1.2.4. İletken Özellikte Tekstil Yüzeyleri

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.

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 [23]. 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 [24].

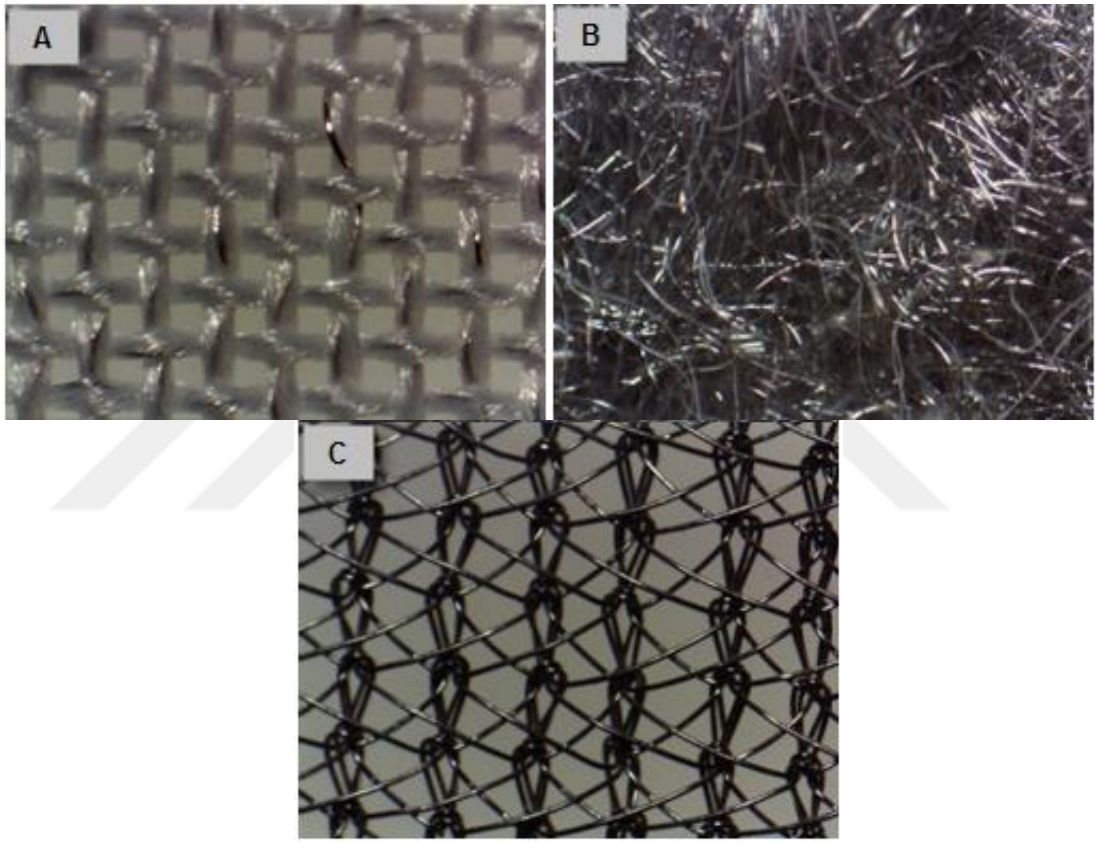
Chen ve arkadaşları kaplama metodu ile ürettikleri, merkezde bakır, sargı lifi olarak da paslanmaz çelik içeren kompozit iplikleri, dokuma ve örme tekniklerinin bir arada kullanıldığı bir sistemle kumaş haline getirmişlerdir. Ardından bu kumaşları, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte kompozit malzeme üretiminde güçlendirici eleman olarak kullanmışlardır [25].

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 [26].

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 [9].

Elektromanyetik alanların zararlı etkilerinden korunmak için kumaşlar etek, ceket astarlığı, perde, cibinlik, iç giyim, koruma çantası, çadır gibi farklı uygulamalar için üretilebilmektedir. Şekil 1.3'te elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan ve farklı uygulama alanlarında kullanılan tekstil yüzey örnekleri görülmektedir [27].




A- Metal tel içerikli hibrit ipliklerden dokunmuş kumaş yüzeyi
B- Nano kaplama ile yüzeyi iletken hale getirilmiş poliamid (PA) liflerinden dokusuz yüzey
C- Gümüş kaplı PA filament ipliklerinden üretilmiş çözgülü örme yüzey

Şekil 1.3. Elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan tekstil yüzey örnekleri.

Elektromanyetik radyasyondan korunma için üretilen tekstil yüzeylerini, kullanım alanlarına göre de iki temel grup altında incelemek mümkündür. Bunlar:

1. Sağlık alanında kullanılan tekstil yüzeyleri.

2. Endüstri ve savunma sistemlerinde kullanılan tekstil yüzeyleri.

Şekil 1.4'te elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan kumaşların kullanım alanlarına çeşitli örnekler görülmektedir.



(a) Koruyucu cibinlik. (b) Koruyucu giysi.

Şekil 1.4. Elektromanyetik radyasyondan koruyucu tekstil ürünlerinin çeşitli kullanım alanları.

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 [28].

Elektriksel iletken veya elektromanyetik ekranlama özelliği göstermeyen konvansiyonel tekstil yüzeyleri (dokuma, örme, dokusuz yüzey) bazı metotlarla metalize de edilebilmekte ve bu şekilde elektromanyetik ekranlama özelliği kazandırılabilmektedir. Bu metotları dört ana gruba ayırabiliriz:

**1. Yüzeylerin doğrudan kaplanması:** Tekstil yüzeyine, içerisinde iletken katkı maddeleri bulunan bir çözeltiyi köpükle kaplama yöntemiyle uygulamak veya iletken bir folyonun yüzeye uygulanması ile sağlanmaktadır. Kaplamadaki en önemli sorun ise; kumaşın lifleri arasında bir köprü oluşturan kaplamanın harekete maruz kaldığında kırılmalar göstermesidir [9].

**2. Kimyasal polimerizasyon metodu:** İletken bir polimerin ve çeşitli katkı maddelerinin kumaş yüzeyi üzerinde sentezlenmesi ile iletken yüzey oluşturulmaktadır [9].

**3. Vakum kaplama metodu:** Vakumlu ortamda metallerin buharlaştırılarak, metal atomlarının kaplanacak ürünün yüzeyinde yoğuşması ile elde edilen kaplama işlemidir. Homojen bir dağılım elde etmek ve solüsyon özelliklerini değiştirerek prosesi kontrol altında tutmak mümkündür [9].

**4. İyon implantasyon metodu:** İyon implantasyonu yüksek vakum içerisindeki metal iyonların bir ışın yoluyla katı içine doğru gömülmesi ve böylece katının yüzeye yakın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin modifiye edilmesi prosesidir. İyonlar malzemede yavaşladıkça, iyon enerjisine, iyonun gelme açısına ve alt tabaka bileşimine bağlı olarak, birkaç nanometre'den birkaç mikrometre'ye kadar değişen aralıktaki derinliklerde dağılırlar [29]. Bu şekilde tekstil yüzeylerinin elektriksel iletkenlik, optik, mekanik, anti bakteriyel vb. özellikleri modifiye edilebilmektedir. İyon implantasyonu, bir ya da daha çok elemente ait yüksek enerjili iyon ışınlarının, katının yüzeyine girişine izin veren bir prosestir. Diğer yüzey işlemlerindeki gibi, iyon implantasyonu ara yüzey oluşturmaz. Başka bir deyişle, bir kaplama değildir [9].

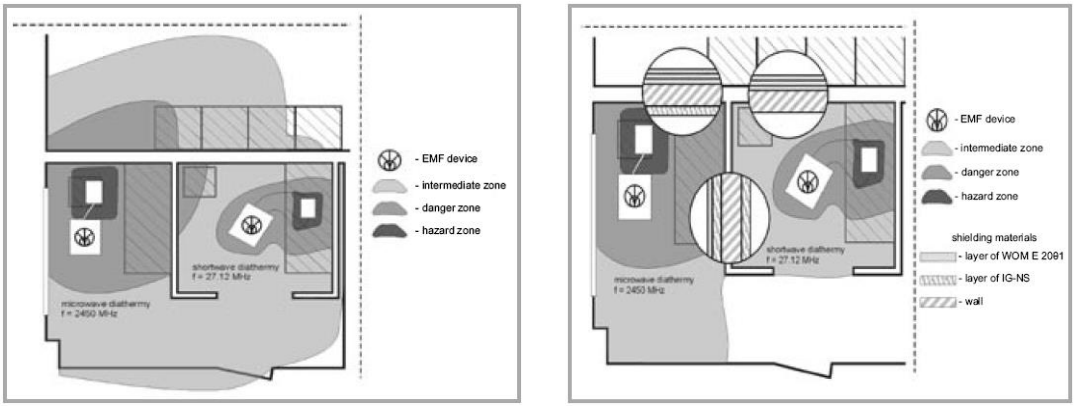
Literatürde iletken tekstil yüzeyleri ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Cheng ve arkadaşları çalışmalarında özlü iplik kullanarak, değişik örgü ve değişik sıklıklarda oluşturdukları dokuma kumaş yapılarında 30 MHz–3000 MHz frekans aralığında, 30-50 dB koruma verimliliği değerlerini belirlemişlerdir [24].

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 için uygulamışlardır. Fizyoterapide kullanılan belirli cihazların bulunduğu ortamda, fizyoterapistlerin işyerlerinde elektromanyetik alan bulunur. Bu işyerlerinde elektromanyetik alan etkisine karşı önlem almak gerekmektedir. Kısa dalga diyaterminin (27.12 MHz) ve mikrodalga diyaterminin (2450 MHz) çalışması esnasında fizyoterapi işyerlerinde oluşan elektromanyetik alan sadece yakındaki diyatermi odalarına değil, aynı zamanda yan

odalara da etki etmektedir. Bu odalar genellikle görüşme odaları, rehabilitasyon odaları ve koridorlardır [13].

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. Tekstil Araştırma Enstitüsünde 15 yıl süreyle ticari ismi Nitril-Static olan metal tuzlu Polyacrylonitrile (PAN) lifi üretilmiştir. Genel olarak 3,3 dtex/60 mm kesik elyaf lifler modifikasyona tabi tutulmuşlardır. Nitril-Static liflerinin en önemli parametresi özgül dirençtir. Elyafların %87'den fazlası 1-5Ω aralığında özgül dirence sahiptir. Elektrik iletken lifler diğer liflerle birlikte kullanılmaktadır. Ekranlama verimliliği için iki tip tekstil ürünü incelenmiştir: %75 elektrik iletken PAN lifi ve %25 polyester filament iplikten oluşan WOM-E dikişle birleştirilmiş dokusuz yüzey ve %100 elektrik iletken lif içeren IGNS iğnelenmiş dokusuz yüzey. İki ürün de yüzey ağırlığı ve kalınlık açısından oldukça farklı, fakat benzer yüzey direnç seviyesine sahip ve aynı zamanda elektrik iletkendirler. Tekstil ürününün tipine, modifikasyon derecesine ve elektromanyetik alan frekans aralığına bağlı olarak, elektrik bileşeni önemsenmeyecek kadar küçük değerlerden 60 dB'e kadar ve manyetik bileşen 0 ile 4 dB arasında azalmaktadır [13].

Şekil 1.5 gerçek koşullarda, yani fizyoterapi odasında, bireysel olarak korunmuş alanlarda tasarlanan ekranlamadan önce ve sonra elektromanyetik alan dağılımını göstermektedir [13].




(a) Ekranlamadan önce (b) Ekranlamadan sonra

Şekil 1.5. Ekranlamadan önce ve sonra fizyoterapi odasının içinde ve dışında elektromanyetik alan dağılımı [13] .

Sağlık işyerlerindeki cihazların özel ihtiyaçlarından (sterilizasyon, duvar, perde ve ekranların renkleri vs.) dolayı odaların koruma yönteminde özel sınırlamalar gereklidir. Özel tecrübe gerektiren durumlarda ekranlama verimliliğinin periyodik kontrolünün yapılması gerekebilir. Elektro-iletken tekstillerden yapılmış ekranlama malzemeleri kullanımıyla düşük maliyetle istenilen sonuç elde edilebilir. 2001 yılında tekstil malzemeleri kullanılarak iki hastanenin rehabilitasyon odaları ve bir tıbbi servis odasına ekranlama yapılmıştır [13].

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. Koruyucu giysi üretiminde elektro-iletken elyaf kullanımının özel avantajı, diğer yöntemlere göre, anti-elektrostatik efektin stabil olması ve havadaki rutubete bağlı olmamasıdır. Bir diğer avantaj da, anti-elektrostatik özellikleri korurken başka koruyucu özellikler elde edebilmek için terbiye işlemlerinde farklı kimyasallar kullanılabilmesidir [28].

Pinar ve Michalak, örgü yapıları çözgülü örme ile üretmek üzere geliştirmiş ve elektro-iletken ipliğin periyodik olarak, temel iplikten üretilmiş zeminin içerisinde çalışacağını varsaymışlardır. Test materyalleri üç iğneli sağ/sol çubuk örgülü kumaşın üç varyantıdır. Varyantlar zeminin PES ile doldurulma derecesine göre ayrılmışlardır. Elektro-iletken iplikler örgü kumaş yapılarında düşey atkı formunda yerleştirilmişlerdir. Uygulanan örgülerle, karışık yapıda anti-elektrostatik kumaşlar elde edilmiştir. Elektro-iletken iplik içeriğindeki farklılıklar, temelde zeminin polyester iplik tarafından dolgu derecesinden kaynaklanmaktadır. En düşük zemin dolgu derecesine sahip varyant, en yüksek elektro-iletken iplik içeriğine sahipken, tam tersi şekilde en yüksek zemin dolgu derecesine sahip varyant elektro-iletken iplik içeriği en düşüktür. Sonuçların analizine göre; elektro statik özellikler sadece örgü kumaş yapısındaki elektro-iletken iplik içeriğine değil, aynı zamanda zeminin yapısal özelliklerine de bağlı olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen örgü kumaşlar statik elektrik ile ilgili koruma gerekliliklerini sağlamakla kalmayıp aynı zamanda bugüne kadar kullanılmış olan anti-elektrostatik dokuma kumaşlarla karşılaştırıldığında temel avantaj olan yüksek hava geçirgenliğine sahiptirler. İlave olarak, geliştirilen örgü kumaşlar yüksek boyutsal stabiliteye de sahiptirler. Çözgü örme tekniği ile anti-elektrostatik materyallerin üretim teknolojisi,

bugüne kadar kullanılan koruyucu giysileri için üretilen dokuma kumaş teknolojisine göre yenilikçi bir çözümdür [28].

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 2.6'da elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta örneği görülmektedir.



Şekil 1.6. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta.

### 1.3. 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.

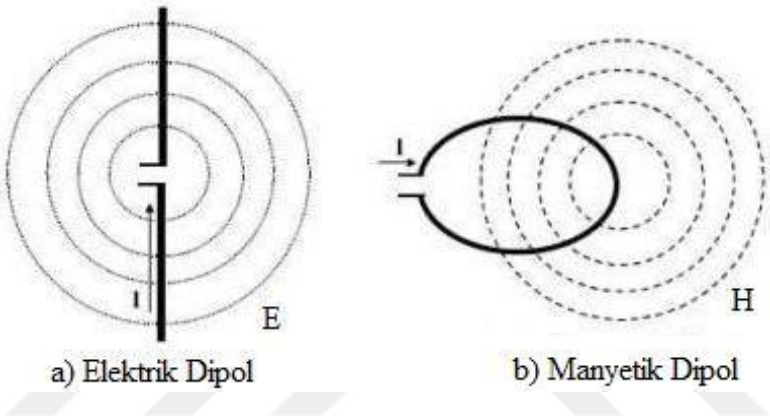
#### 1.3.1. Ekranlama ve Ekranlama Teorisi

Elektromanyetik alanlar frekansa bağlı olarak farklı davransalar da genellikle kendilerini oluşturan kaynaktan uzaklaştıkça şiddetlerinde hızlı azalma görülür [2]. 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 [30]. 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 1.7). 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 [1].




Şekil 1.7. Temel elektrik alan ve manyetik alan kaynakları [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 [31].

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 [31].

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 ($\lambda$)=Işık hızı ($c = 3x10^8$ m/s ) / frekans (f) olmak üzere $\lambda/2\pi$'yi aştığında her iki dipol için de aynı dalga empedansına

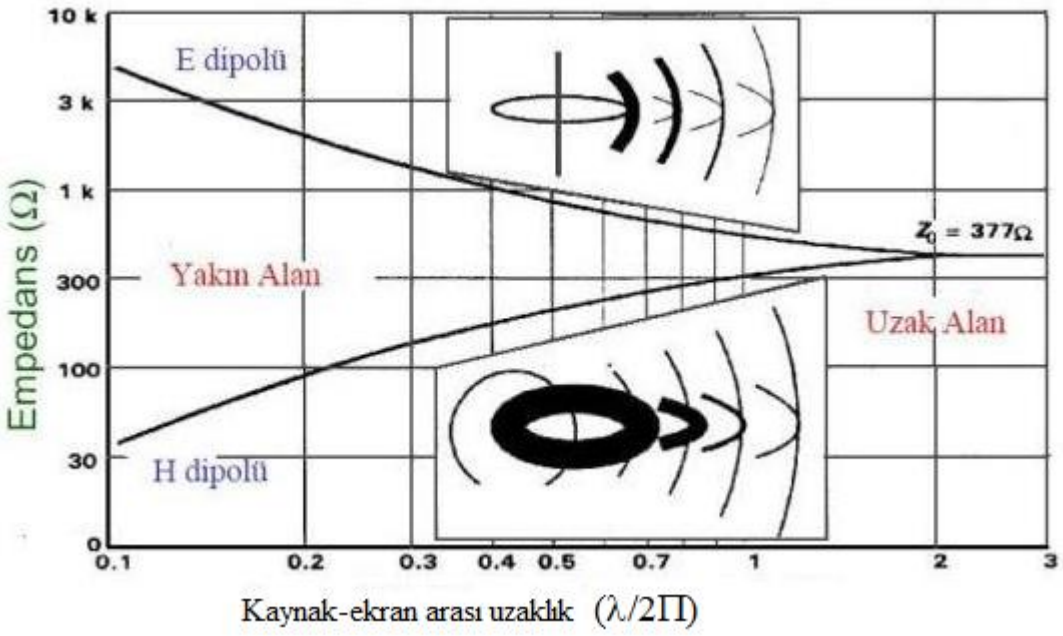
ulaşılmaktadır. Bu değer uzak alan için açık uzayda veya havada etkileşimli yayılma ile dalga empedansı $Z=Z_0=377\ \Omega$ olup, boşluk dalga empedansı adını alır. $\lambda/2\pi$ değeri yakın alan/uzak alan sınırı olarak kabul edilmektedir. Bazen güvenlik payı olarak bu değerin iki katı alınmaktadır [1].

Elektromanyetik radyasyon kaynağının etrafındaki alanı 3'e ayırabiliriz (Şekil 1.8).

- Yakın Alan (İndüksiyon) Bölgesi: Kaynağın yüzeyinden $\lambda/2\pi$'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 [32].

- Uzak Alan (Işıma) Bölgesi: $\lambda/2\pi$ 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 [32].

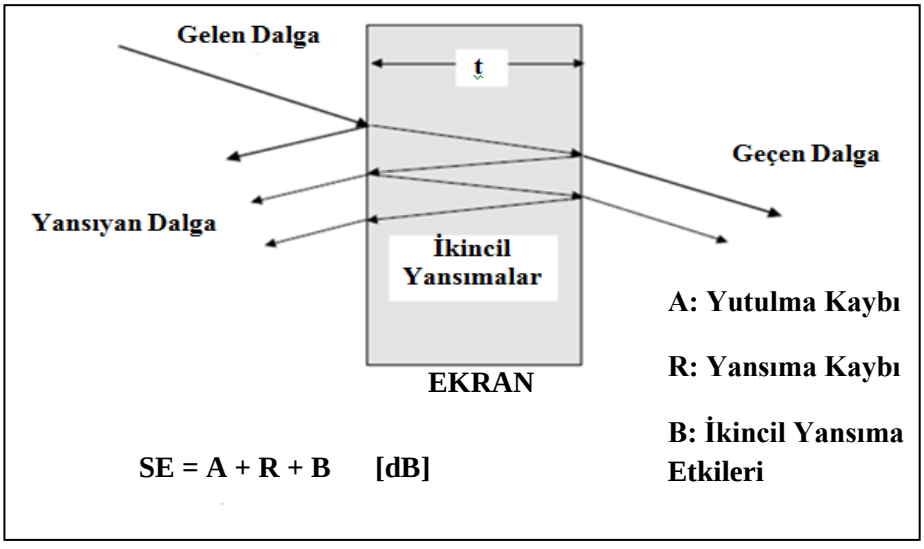



Şekil 1.8. Bir elektromanyetik etkileşim kaynağının etrafındaki tipik alanlar [1].

Şekil 1.8'de yatay eksen dipolden itibaren uzaklığı, düşey eksen ise dalga empedansını göstermektedir. Şekil 1.8'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 [2]. 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 [33].

Elektromanyetik alan bir cismin içinden geçtiğinde, cisimle etkileşime girdiğinde alanın gücünün nasıl azaldığını belirleyen üç olay vardır; yutulma ile zayıflama, yansımaya bağlı zayıflama ve çoklu yansımaya bağlı zayıflama (ikincil yansıma kayıpları). Çoklu yansımaya bağlı zayıflamalar genellikle ihmal edilmektedir [34]. Şekil 1.9'da kalınlığı " t " olan kayıplı bir duvarda ekranlama için mekanizma gösterilmiştir [1, 31].




Şekil 1.9. Kalınlığı t olan duvarın ekranlama etkinliği.

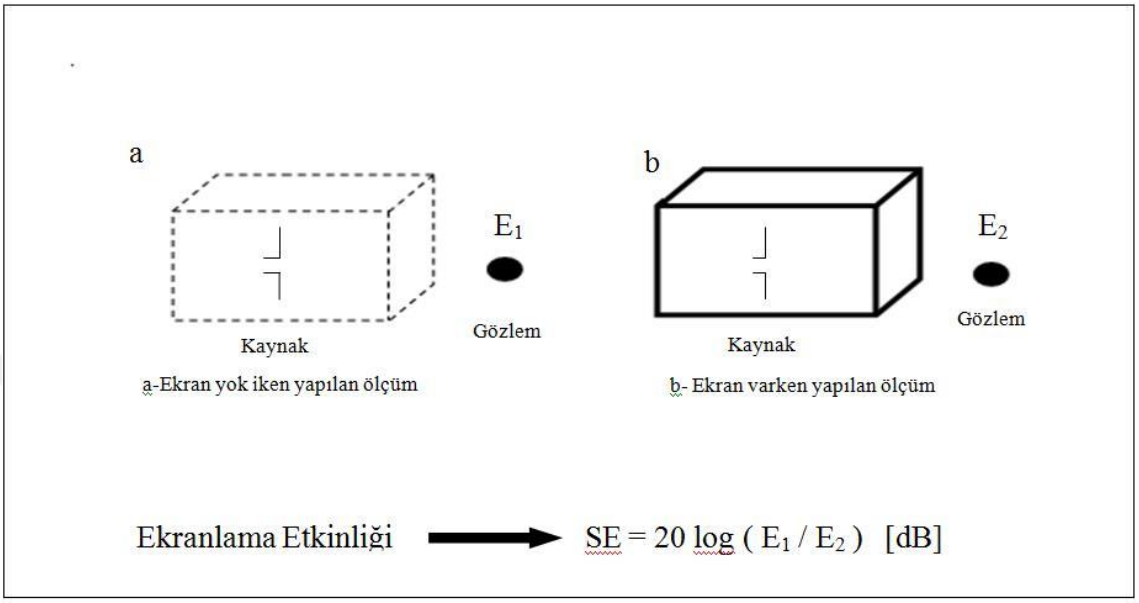
Bir elektromanyetik dalga bir cismin yüzeyine çaptığında, cisimdeki yükleri kendisi ile aynı frekansta salınım yapmaya zorlar. Bu zorlanmış salınım yapan yük bir anten gibi davranır ve mevcut dalgayı geri yansıtarak yansımaya neden olur [9, 34, 35]. Bir başka ifade ile dalganın uzaydaki empedansı ekrandaki 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 [34]. 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 [9, 34, 35].

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 yutulma nedeni ile azalma şeklinde tanımlanabilir. Elektromanyetik ekrandaki yutulma elektromanyetik enerjiyi termal enerjiye çevirir. Elektromanyetik soğurucu ekranlar istenmeyen elektromanyetik dalgaları zayıflatır ve böylece elektromanyetik girişimi (EMI-Electromagnetic Interference) çözer. Yutulma kaybı alanın dalga empedansına bağlı değildir ve bundan dolayı yakın veya uzak alan şartları ile de ilgili değildir [34].

Metalik yüzeye çarpan bir elektromanyetik dalganın bir kısmı geri yansıtılırken diğer kısmı da ortamdan geçtiği esnada iletilir ve zayıflar. Bu kayıpların (yansıma ve yutulma) kombine efekti ekranın etkinliğini (SE-Shielding effectiveness) belirler. Ekranlama etkinliği frekansla, ekran geometrisiyle, ekranın içerisindeki yerleşimle, zayıflatılan alan tipiyle, çarpma yönüyle ilişkilidir [34].

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 [31]. Bu durum şekil 1.10'da gösterilmiştir.




Şekil 1.10. Ekranlama etkinliğinin tanımı [31].

Ekranlama etkinliği hesaplanırken (1.2) ve (1.3) denklemleri kullanılabilir [9, 34].

$$SE = 10log\frac{P_1}{P_2} \quad (1.2)$$

$$SE = 20log\frac{E_1}{E_2} \quad (1.3)$$

$P_1$ = Ekran olmadan alınan güç (W)

$P_2$ = Ekran varlığında alınan güç (W)

$E_1$ = Ekran olmadan ölçülen alan şiddeti (V/m)

$E_2$ = Ekran varlığında ölçülen alan şiddeti (V/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 (1.4) denklemine göre hesaplanabilir.

$$\%\ Azalma = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \quad (1.4)$$

(1.4) denkleminde $\frac{E_2}{E_1}$ yerine (1.3) denkleminden elde edilecek değer yazılırsa % Azalmanın SE cinsinden değeri (1.5) denklemindeki gibi bulunur.

$$\%\ Azalma = (1 - 10^{-SE/20}) \times 100 \quad (1.5)$$

Pratikte verilen ekranlama etkinliği değerlerinin anlamlı olabilmesi için tablo 1.1'de SE ve % Azalma değerleri belirtilmiştir.

Tablo 1.1. SE ve % Azalma değerleri [1].

| 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 1.1'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 [1, 31].

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 [1, 31].

İlerleyen bir dalganın genliğinin $e^{-1}$ veya 0,368'lik bir çarpan kadar zayıfladığı $\delta$ 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 [33]. Deri Kalınlığı (1.6) denklemi ile hesaplanabilir.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} \tag{1.6}$$

Burada; $\delta$ (m) deri kalınlığı, $\omega=2\pi f$ ($f$ dalganın frekansı), $\sigma$ (Siemens/m) ortam iletkenliği, $\mu$ (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 $e^{-\alpha z}$ ($\alpha$, ekran malzemesi için zayıflama katsayısı ve z, malzeme içindeki mesafe) çarpanı ile zayıflar ve bu soğurulma

kaybına karşılık gelir. İyi iletken bir malzemede ($\alpha$) zayıflama katsayısı ve ($\delta$) deri kalınlığı arasındaki ilişki $\alpha = 1/\delta$ olduğundan zayıflama çarpanı $e^{-z/\delta}$ olacaktır [33].

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 [33].

Sonsuz ince levha yüzeyin mevcut kabul edilmiş ekranlama teorisi, 1943'te Schelkunoff tarafından önceden türetilmiş ilişkileri temel almaktadır [32]. Pasif elektromanyetik ekranlamada Schelkunoff'un teorisine göre bir metal tabaka tarafından gösterilen ekranlama etkisi, yutulma kaybı, yansıma kaybı ve çoklu yansıma kaybı olmak üzere üç tip kaybın sentezi olarak tanımlanır [22].

#### 1.3.1.1. Ekranlama Etkinliğine Soğurma Katkısı ($S_A$)

Soğurmanın sebep olduğu zayıflamadan gelen katkı ($S_A$), alan kaynağının tipinden bağımsızdır ve deri etkisine (skin effect) bağlı olarak tanımlanır.

Üzerinden akım geçirilen bir telde, elektrik akımı ve frekansa göre telin bütün kesiti ya da bu kesitin bir kısmı kullanılabilir. Deri etkisi, iletken üzerinden geçen akımın frekans ile değişmesi sonucu iletkenin manyetik alanının da yön değiştirmesi ve akımın iletkenin yüzeyine doğru itilmesidir. Akım yoğunluğu iletkenin merkezinden yüzeyine doğru gidildikçe artar ve bu durum iletkenin merkez kısımlarının daha az kullanılmasına yol açacağından alternatif akımda etkin direnç değerinin artmasına yol açmaktadır. Bu artış elektrik enerjisinin iletimi/dağıtımında frekansı artırmak suretiyle iletken kesitinin dolayısıyla da maliyetinin düşürülmesini sağlar. Bu durum, yüksek frekanslarda ve büyük kesitli iletkenlerde daha etkili şekilde gözlemlenir. Alternatif akımın tam aksine de doğru akımda iletkenin tüm yüzeyi kullanır [2]. $S_A$, (1.7) denklemi ile hesaplanabilir.

$$S_A = \frac{E_0}{E_d} = \frac{H_0}{H_d} = e^{d/\delta} \quad \text{(dB)} \tag{1.7}$$

Burada; d ekranın kalınlığıdır.

(2.8) eşitliğindeki 0 ve d indisleri, metalin hemen içindeki, sırasıyla, x = 0 ve x = d'deki alan şiddetlerini gösterir. $E_0$, $H_0$ (x=0) için ve $E_d$, $H_d$ (x=d) için alan şiddetleridir. Ekrana elektromanyetik dalga ($E_i$, $H_i$) çarpmaktadır. Ekrana çarpan dalganın bir kısmı yansırken ($E_r$, $H_r$) geri kalan kısmı da ($E_t$, $H_t$) ekrandan geçmektedir. $Z$,$Z_0$ sırasıyla ekran malzemesi ve boşluğun karekteristik empedanslarını göstermektedir [22].

Düşük frekanslarda deri kalınlığı çok büyük olduğundan, çok kalın bir levha ve/veya bağıl manyetik geçirgenliği çok yüksek bir levha kullanılmadıkça etkin bir zayıflatmadan söz edilemez. Çünkü $S_A$ sadece ekranın içindeki alanla ve ekran malzemesinin elektromanyetik özelliği ile ilgilidir.

#### 1.3.1.2. Ekranlama Etkinliğine Çoklu Yansıma Katkısı ($S_{MR}$)

Çoklu Yansıma Katkısı ($S_{MR}$), (1.8) denklemi ile hesaplanabilir [30]. Ancak çoklu yansıma kayıpları birçok durumda ihmal edilmektedir.

$$S_{MR} = 1 - e^{-2d/\delta} \quad \text{(dB)} \tag{1.8}$$

#### 1.3.1.3. Ekranlama Etkinliğine Yansıma Katkısı ($S_R$)

Yansıma Katkısı ($S_R$), alan bariyere girerken ve bariyerden ayrılırken olmak üzere iki defa oluşur ve (1.9) denklemi ile hesaplanabilir [30].

$$S_R = \frac{E_{in}}{E_{out}} = \frac{H_{in}}{H_{out}} = \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4 Z_0 Z_M} \quad \text{(dB)} \tag{1.9}$$

Burada; $Z_0$ havadaki karakteristik empedans, $Z_M$ ise metaldeki karakteristik empedanstır.

Kaynağın, ortamın ve ekranın karakteristikleri, yakın alan ve uzak alanda farklılık gösterdiğinden $S_R$ ifadesi de farklılık gösterecektir. Bu farklılıklar üç şekilde ifade edilebilirler:

- E-dipolün yakın alanı
- H-dipolün yakın alanı
- Uzak alan

Bu üç durum için $S_R$ farklı hesaplanacaktır.

#### 1.3.1.3.1. E-Dipolün Yakın Alanının Zayıflatılması

Pratik olarak kaynağın yakın alanında ve yüksek frekanslarda (f >30 MHz) önemlidir. $Z_E >> Z_M$ ön şartı ile bir E-dipolün ekranlama etkinliğine yansımadan gelen katkı ($S_{RE}$) olarak ifade edilir ve (1.10) denklemi ile hesaplanabilir [30].

$$S_{RE} = \left| \frac{(Z_E + Z_M)^2}{4 Z_E Z_M} \right| \approx \left| \frac{Z_E}{4 Z_M} \right| = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{\sigma\delta}{\omega\varepsilon_0 r} \text{ (dB)} \qquad (1.10)$$

Burada; *r* kaynaktan olan uzaklık, $Z_E$ E dipolü için dalga empedansı, $\varepsilon_0$ kaynağı çevreleyen ortamın dielektrik geçirgenliği, $\sigma$ iletkenliktir.

(1.10) denklemi incelendiğinde frekans ve kaynak-ekran arası uzaklık arttıkça $S_{RE}$'nin azalacağı görülmektedir.

#### 1.3.1.3.2. H-Dipolün Yakın Alanının Zayıflatılması

Pratik olarak kaynağın yakın alanında ve düşük frekanslarda (f <30 MHz) önemlidir. $Z_H >> Z_M$ ön şartı ile bir H-dipolün ekranlama etkinliğine yansımadan gelen katkı ($S_{RH}$) olarak ifade edilir ve (1.11) denklemi ile hesaplanabilir [30].

$$S_{RH} = \left| \frac{(Z_H + Z_M)^2}{4 Z_H Z_M} \right| \approx \left| \frac{Z_H}{4 Z_M} \right| = \frac{\omega\mu_0 r\sigma\delta}{4\sqrt{2}} \text{ (dB)} \qquad (1.11)$$

Burada; $Z_H$ H dipolü için dalga empedansıdır.

(1.11) denklemi incelendiğinde frekans ve kaynak-ekran arası uzaklık arttıkça $S_{RH}$'ın artacağı görülmektedir.

#### 1.3.1.3.3. Uzak Alanın (Düzlem EM Dalgalar) Zayıflatılması

Pratik olarak kaynaktan yeteri kadar uzaklıkta ($>>\lambda/2\pi$) gelen dalgalar, düzlem elektromanyetik dalga olarak kabul edilebilir. Düzlem elektromanyetik dalgalar için $Z_0$=377 Ω olup sabittir. Buna göre bir düzlem dalganın bir ekran tarafından zayıflatılması durumunda yansımadan gelen katkı $S_{REM}$ olarak ifade edilir ve (1.12) denklemi ile hesaplanabilir [30].

$$S_{REM} = \left| \frac{Z_0}{4Z_M} \right| = \frac{120\pi\sigma\delta}{4\sqrt{2}} \text{ (dB)} \quad (1.12)$$

Düzlem elektromanyetik dalgaların zayıflatılması ile ilgili olarak (1.12) denklemi incelendiğinde; d/δ'nın küçük değerleri için geniş bir frekans aralığı boyunca zayıflatmanın frekanstan ve kaynak-ekran arası uzaklıktan bağımsız olduğu görülmektedir.

### 1.3.2. Ekranlama Etkinliği Ölçüm Yöntemleri

Malzemelerin ekranlama etkinliği (SE–Shielding Effectiveness) uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Metal ekranlar için ekranlama etkinliğini sadece materyalin elektrik ve manyetik parametreleri ile belirleyebilirken, bükülü metalik veya grafit teller içeren materyaller, metalize yüzeye sahip plastik materyaller, kompozit materyaller ve ekranlama özelliğine sahip tekstil materyallerinde ise SE değerini sadece fiili olarak ölçerek belirleyebiliriz.

Tekstil ve çeşitli kompozit malzemelerin SE ölçümlerini, kontrollü test alanlarında ve serbest uzayda yapılan ölçümler şeklinde iki ana bölüme ayırmak mümkündür.

#### 1.3.2.1. Kontrollü Test Alanlarında Ekranlama Etkinliği Ölçümü

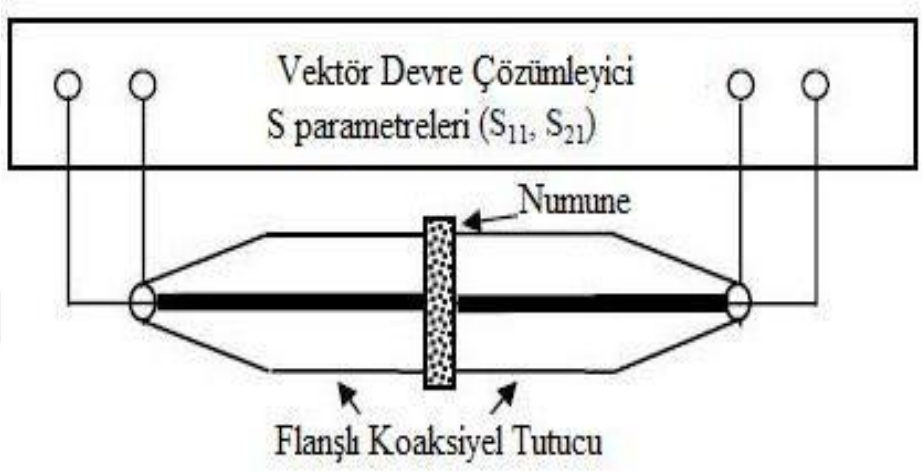
Ölçüm yerlerinde elektromanyetik çevrenin kontrol edilebildiği ve istenmeyen yansımaların istenen yansımalardan ayrılabildiği SE ölçümleri, kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlerdir. Kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünde, koaksiyel tutucu metodu, çift-TEM hücre metodu, yankısız oda metodu yaygın olarak kullanılan kontrollü test alanlarında yapılan ölçüm metotlarıdır.

##### 1.3.2.1.1. Koaksiyel Tutucu Metodu (Coaxial Holder Method)

Kontrollü ortamdaki temel ölçüm metodu koaksiyel tutucu metodudur. Bu metotta bir tutucu iletim kablosu ve vektör devre çözümleyici kullanır. Numune materyal, flanşlı koaksiyel tutucunun içine yerleştirilir ve sabitlenir (Şekil 1.11). S parametrelerinin ölçümüyle (**$S_{11}$ ve $S_{21}$ yansıma ve iletim sabitleri**) toplam ekranlama etkinliği içerisinde yansıma ve soğurmanın katkılarını belirlemek mümkündür.

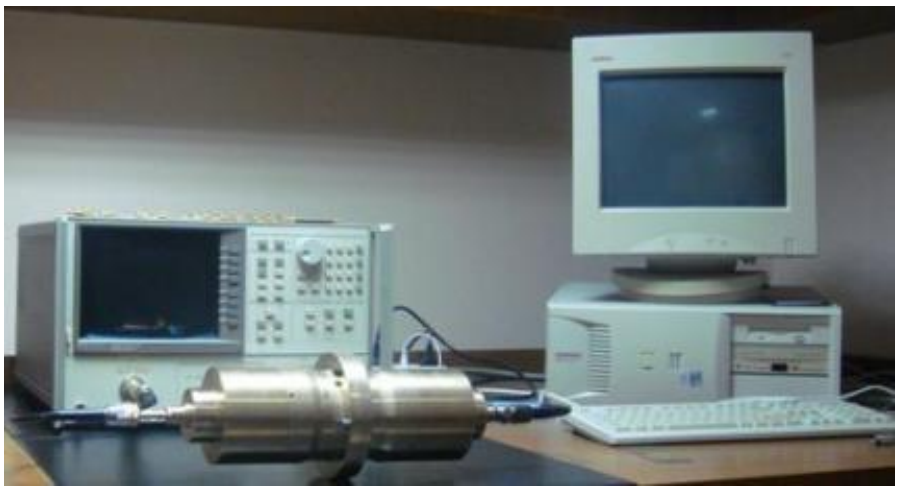
Genellikle, dinamik ölçüm aralığı 90-100 dB, çalışma frekansı 2 GHz civarındadır. Ölçülebilen maksimum çalışma frekansının artışı kenarlı koaksiyel kablo boyutlarının, test aparatı ve beraberinde numune boyutlarının azalışı ile mümkündür [36].

Bu ölçüm sistemi kompakttır ve otomasyona, bilgisayar kontrolü ile veri işlemeye imkân tanır. Bu ölçüm metodunun zorluğu numune hazırlamadan kaynaklanır. Özellikle yüksek frekans ölçümlerinde numunenin boyutları küçük olmalıdır ve ayrıca koaksiyel tutucu ve numune arasındaki kontak direncinin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Kontrollü test alanında ölçümlerin bir dezavantajı da açısal yansımanın tanımlanmasındaki zorluklardır [36].




Şekil 1.11. Koaksiyel Tutucu Metot [36].

Şekil 1.12'de koaksiyel tutucu metodu test düzeneğinin bir fotoğrafı verilmiştir.

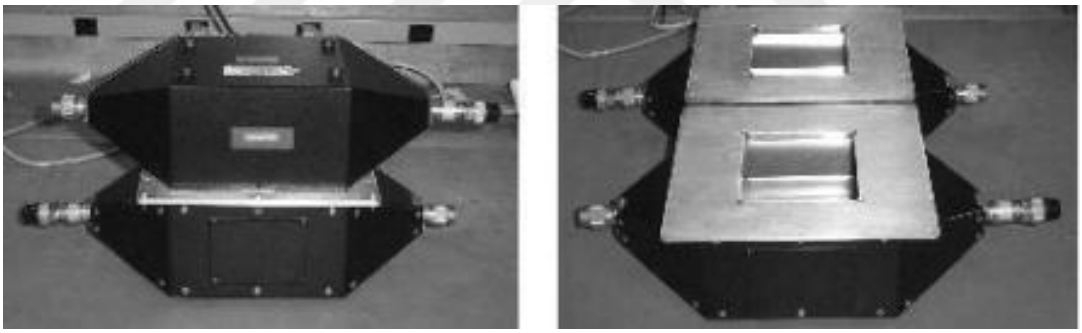


Şekil 1.12. Koaksiyel tutucu metodu uygulaması.

Koaksiyel tutucu metodu, ASTM'nin 1989'da düzlemsel materyallerin ekranlama etkinliğini ölçmek için geliştirilip yayınladığı bir test metodu olan D4935 standardına dayanır. Bu dökümanın en güncel versiyonu 2010 tarihlidir [37]. Bu dökümanda açıklanan metot düzlem dalga için kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [32, 38, 39, 40].

#### 1.3.2.1.2. Çift-TEM Hücre Ölçüm Metodu (The Dual-TEM Cell Method- (DTEM))

Çift-TEM hücre ölçüm metodu kontrollü ortamda yapılan ölçüm metotlarındandır. Bu metot ile elektromanyetik, elektrik ve manyetik ekranlama etkinliği ölçümü yapılır. Dinamik ölçüm aralığı 80 dB'e, frekans 1 Ghz'e kadardır [12]. Şekil 1.13'de gösterilen çift-TEM hücresi, ortak duvardaki kare şeklindeki delik (9,1 cm x 9,1 cm) ile birbirine bağlanmış, uca doğru sivriltilmiş dikdörtgen şekle sahip bir çift koaksiyel iletim hattıdır [41].



Şekil 1.13. Çift-TEM hücre [41].

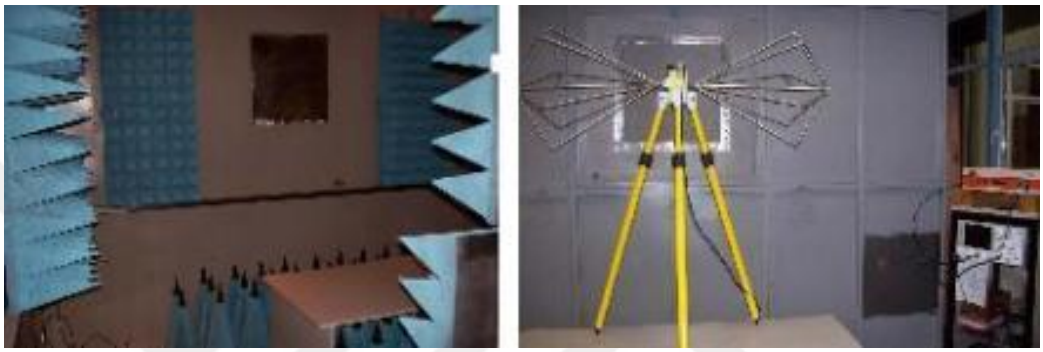
Çift-TEM hücre ölçüm sistemi; bir ikiz TEM hücresi, bir sinyal jeneratörü ve bir alıcı üniteden oluşur. Aletler ve veri toplama arasındaki iletişim otomatik bilgisayar kontrollü kontrol sistemi tarafından sağlanmaktadır. Ölçüm, iki aşamada gerçekleştirilir. Kalibrasyon aşaması olarak adlandırılan ilk aşamada, dönüştürülmüş sinyal güç seviyesi açıklığın boş olduğu durumda ölçülür. İkinci aşamada aynı ölçüm, açıklığa numune yerleştirilerek yapılır. DTEM ölçüm sisteminde SE, (1.13) denklemi ile tanımlanabilir [41].

$$SE = 10 \log A/B \qquad (1.13)$$

Burada; A test numunesi olmadan ölçülen sinyal güç seviyesi, B test numunesi varken ölçülen sinyal güç seviyesidir.

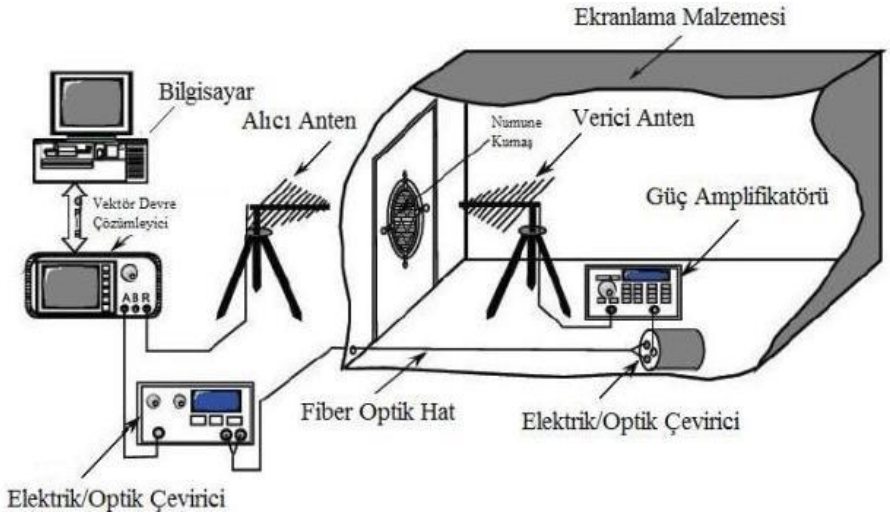
### 1.3.2.1.3. Yankısız Oda Metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method)

Şekil 1.14'de yankısız oda (ekranlı oda) ve test düzeneği görülmektedir.



Şekil 1.14. Yankısız oda metodu uygulaması.

Kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünün yapılabileceği MIL-STD-285 standardını temel alarak yapılan bir ölçüm düzeneği Şekil 1.15'da gösterilmektedir. 30 cm çaplı daire şeklindeki test alanı, ekranlanmış odanın kapısında bir açıklık yaratarak oluşturulmuştur. Bu açıklıkta, test örnekleri ile mükemmel elektrik iletkenliği sağlayan paslanmaz çelik çift helezonlu yaylı contaya sahip dairesel bilezik bulunmaktadır [32].




Şekil 1.15. SE ölçümü için MIL-STD-285 metodunun adaptasyonu [32].

MIL-STD-285, SE değerlendirmede referans gösterilen standartlardan biridir. MIL-STD-285 ABD'de askeri amaçlar için geliştirilmiş ve 1956'da yayınlanmıştır. 100 kHz-10 GHz frekans aralığında ekranlanmış kabinler için zayıflama ölçümlerini kapsayan ve en sık referans gösterilen standarttır. Bu standarda göre yapılan testlerde elektromanyetik bileşenler, frekanslar, gerekli ekipmanlar ve anten konfigürasyonları belirtilir. Ölçüm cihazı dışarıya yerleştirilirken, sinyal kaynağı test kabininin içine yerleştirilir.

Genellikle modifiye MIL-285 olarak referans gösterilen metotta değerlendirilen materyal doğru şekilde ekranlanmış kabindeki bir açıklığı ekranlar. Açıklığın açık ve ekranlama materyali ile kapatıldığı durumdaki elektrik alan yoğunluğu E, manyetik alan yoğunluğu H veya güç P'nin karşılaştırmalı ölçümlerinin (1.2/1.3) denkleminde yerleştirilmesi ekranlama etkinliğinin tespit edilmesine imkân verir [32].

MIL-STD 285'teki SE ölçmek için tanımlanan metotlar daha sonra IEEE STD-299'dakilerle değiştirilmiştir. IEEE STD-299'da ölçüm aralığı üç alt sınıfa ayrılmıştır [42]:

- Düşük Aralık - 9 kHz'den 20 Mhz'e kadar – manyetik bileşen H için.
- Titreşim Aralığı - 20 MHz'den 300 MHz'e kadar – elektrik bileşen E için.
- Yüksek Aralık – 300 MHz'den 18 GHz'e kadar – düzlem dalga güç P için.

#### 1.3.2.2. Serbest Uzay Ölçüm Metotları

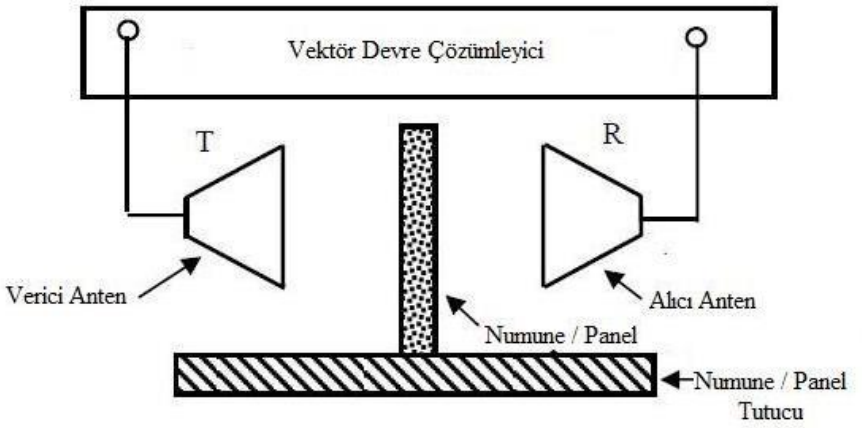
Tekstil ve çeşitli kompozit malzemelerin SE ölçümlerinde kullanılan bir diğer temel metot serbest uzayda ölçüm metodudur. Serbest uzay ölçüm metodları ile kontrollü test alanlarında yapılan ölçümlere göre daha geniş frekans aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Ayrıca bu teknikler ile geniş numune boyutları için SE ölçümleri yapmak mümkündür. Serbest uzay ölçüm teknikleri ile çok farklı ekran tiplerinin SE ölçümü yapılabilmektedir.

Serbest uzay ölçüm tekniklerini, frekans bölgesinde serbest uzay ölçüm teknikleri ve zaman bölgesinde serbest uzay ölçüm teknikleri şeklinde ikiye ayırmak mümkündür.

##### 1.3.2.2.1. Frekans Bölgesinde Serbest Uzay Ölçüm Teknikleri

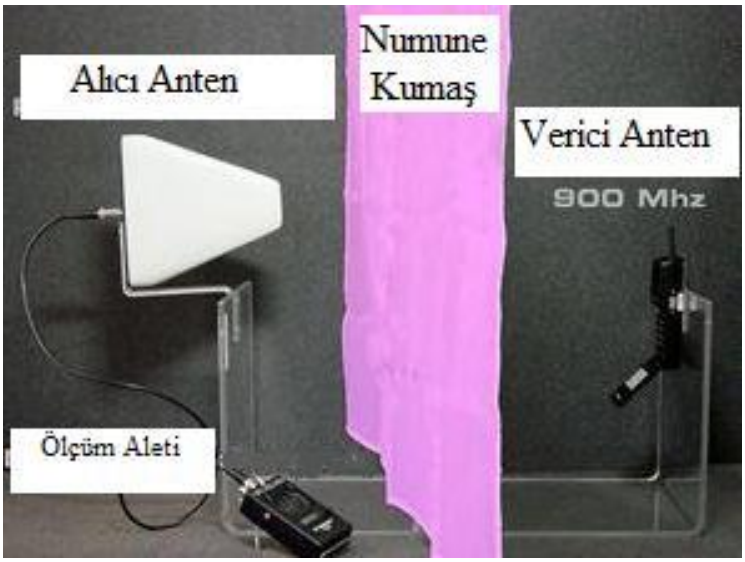
Frekans bölgesinde serbest uzay ölçüm tekniklerini serbest-uzay iletim ölçüm metodu ve serbest uzay yansıma ölçüm metodu olarak iki grupta inceleyebiliriz.

Şekil 1.16 serbest-uzay iletim ölçüm metodunu göstermektedir. Sırasıyla numune/panel olmadan ve numune/panel ile olmak üzere iki durumda R anteni tarafından algılanan alan belirlenerek, kullanılan her frekans için SE (1.3) denklemi kullanılarak elde edebilmektedir [36].



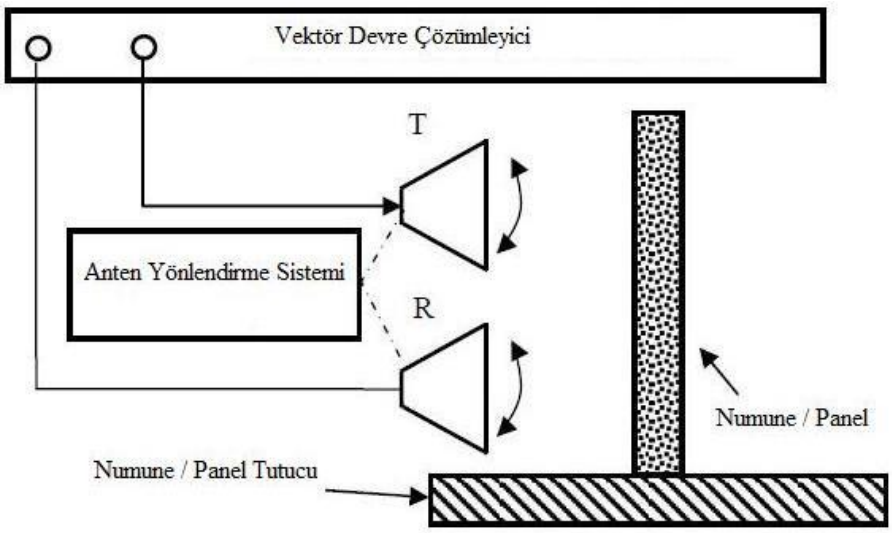

Şekil 1.16. Serbest-uzay iletim ölçüm metodu [36].

Şekil 1.17 serbest uzay iletim ölçüm metodunun uygulamasını göstermektedir.




Şekil 1.17. Serbest uzay iletim ölçüm metodu uygulaması [43].

Şekil 1.18'da serbest uzay yansıma ölçüm metodu gösterilmektedir. Şekil 1.18'da gösterilen sistemde antenlerin yönleri ayarlanabildiği için verici ve alıcı anten sisteminin uygun yerleşimi ile malzemenin belli bir açıdaki açısal yansıtıcılığını belirlemek mümkündür.




Şekil 1.18. Serbest-Uzay yansıma ölçüm metodu [36].

Yansıma katsayısı (RC) (1.14) denklemi ile hesaplanabilir [36]:

$$RC = 20log\frac{E^r}{E^i} \quad (1.14)$$

"$E^r$" numune/panel tarafından yansıtılan elektrik alan ve " $E^i$ "gelen elektrik alanı temsil etmektedir.

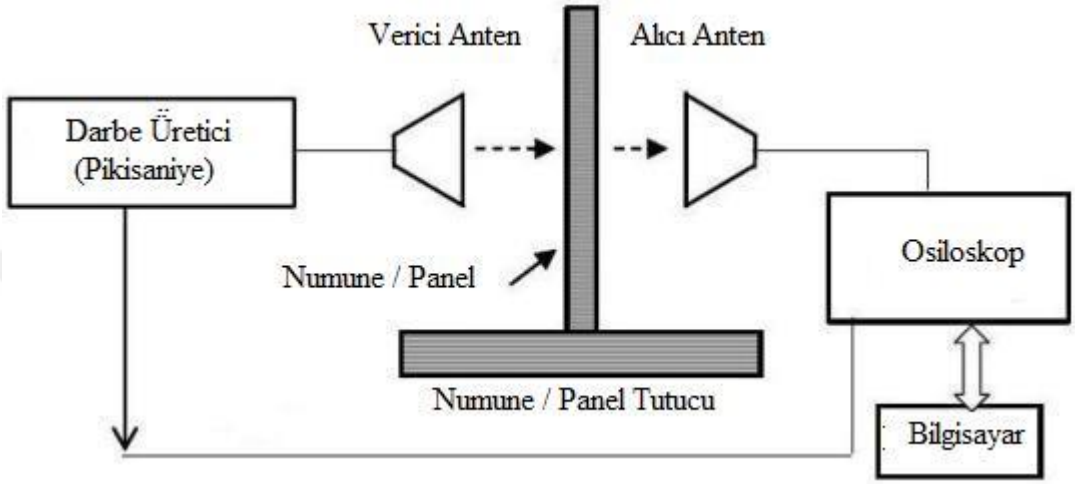
Serbest uzay ölçüm teknikleri ile ölçüm yaparken karşılaşılan en önemli sorun elektromanyetik çevrenin kontrolüdür [36].

#### 1.3.2.2.2. Zaman Bölgesinde Serbest Uzay Ölçüm Teknikleri

Zaman bölgesi metotları ile geniş frekans bandında SE'nin ölçümü mümkündür. Zaman bölgesi metodunda, istenen sinyal istenmeyen yansımalardan alıcı antendeki varış zamanındaki farklılıklar kullanılarak laboratuvarda ayrılabilir (zaman çevirme metodu)

[36]. Zaman bölgesinde serbest uzay ölçüm tekniklerini iletim ölçüm metodu ve yansıma ölçüm metodu olarak iki grupta inceleyebiliriz.

Zaman bölgesi iletim metodu ile ekranlama etkinliği ölçümü Şekil 1.19'de gösterilmiştir.




Şekil 1.19. Zaman Bölgesi İletim Ölçüm Tekniği [36].

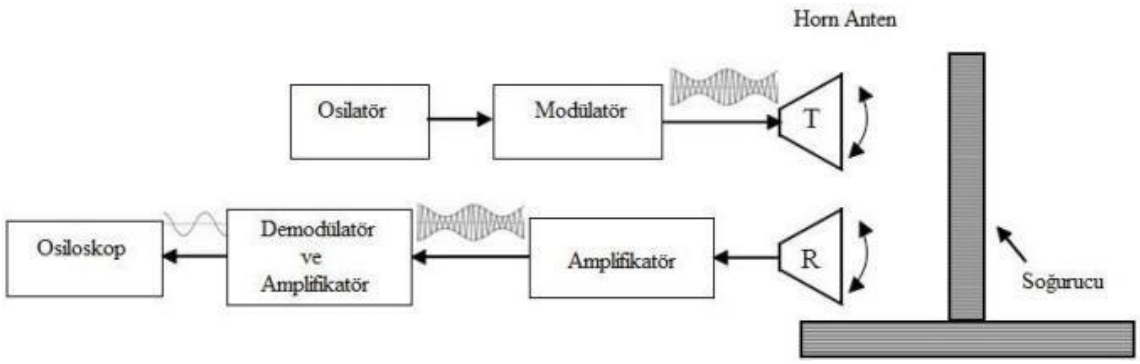
Materyallerin ekranlama etkinliği elektromanyetik alan çarptığında (1.3) denklemindeki ifade ile aynı şekildeki (1.15) denklemi ile hesaplanabilir [36]:

$$SE_E = 20log\frac{E_{R,0}^{peak}}{E_{R,S}^{peak}} \quad (1.15)$$

$E_{R,0}^{peak}$ ve $E_{R,S}^{peak}$ osiloskopta gösterilen darbeli elektrik alanın sırasıyla ekran numunesi verici ve alıcı anten arasına yerleştirilmeden önce ve yerleştirildikten sonraki tepe değerleridir. Materyallerin ekranlama etkinliği bu iki çarpmanın frekans durumuna (SE alanın frekans bileşenlerine bağlı olarak farklıdır) bağlı olduğu için, ekran varken ve yokken farklı olabilir.

Kaydedilen veri, yani osiloskopla yakalanan darbeli elektrik alanlar, Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) kullanılarak zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüştürülebilir. Bundan sonra her frekans bileşeni için ekranlama etkinliğini ve SE'nin frekans özellik grafiğini elde edebiliriz. Bu durumda, zaman bölgesi metodu ile frekans bölgesi metodunun sonuçlarını karşılaştırmak mümkündür.

Zaman bölgesi yansıma metodu ile ekranlama etkinliği ölçüm yöntemi Şekil 1.20'de gösterilmiştir.




Şekil 1.20. Zaman Bölgesi Yansıma Ölçüm Tekniği [36].

Ekranlama etkinliği ölçümü için zaman bölgesi metodu kullanımında dinamik alan 50-60 dB civarında iken frekans bölgesi metodu kullanımında ise 100 dB civarındadır [36].

# 2. BÖLÜM

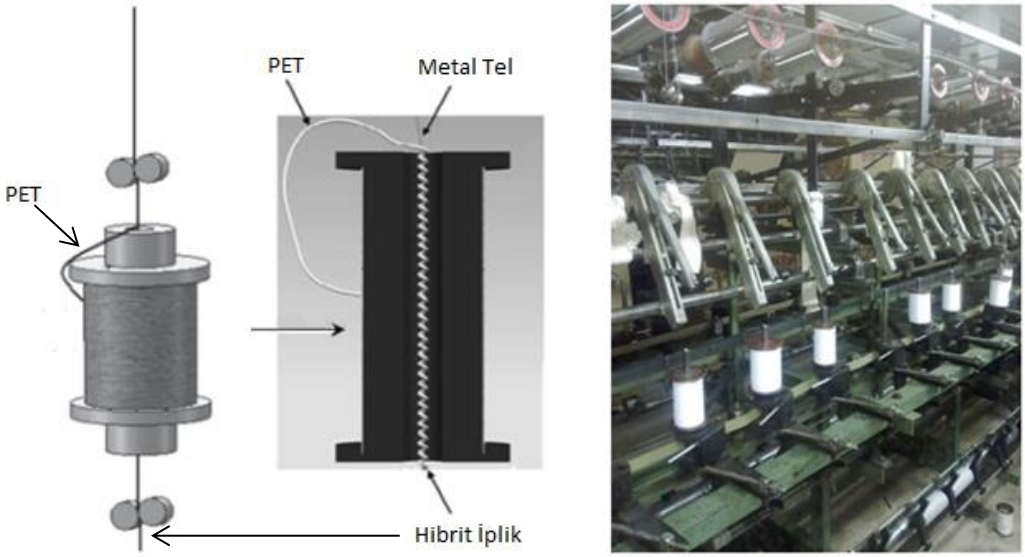
# GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında; koaksiyel tutucu metodu esas alınarak tekstil malzemelerinin elektromanyetik dalgaları ekranlama kabiliyetini test edebilecek yeni bir test aparatı geliştirilmiştir. Geliştirilen test aparatı ile örnek kumaş numuneleri üzerinden ölçümler yapılarak, bu ölçümlerin yankısız oda ve ASTM D 4935 standardına göre yapılan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen test aparatı ile elde edilen sonuçların yankısız oda sonuçları ile karşılaştırılmasından önce koaksiyel tutucu metotla elde edilen ölçüm sonuçları ve yankısız oda ölçüm sonuçları arasında benzetim çalışması yapılmış, bu çalışmada elde edilen sonuçların ışığında geliştirilen test aparatı ve yankısız oda sonuçlarının karşılaştırma ve benzetimi diferansiyel gelişim esaslı bir algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2.1. Deneysel Kumaş Numuneleri

Dokuma kumaşların üretiminde atkı ve çözgü ipliği olarak metal tel içerikli hibrit iplikler kullanılmıştır. Hibrit ipliklerin üretiminde hammadde olarak 100 denye PET (36 filament), 35 mikron (Nm 131) AISI 316 L tipi paslanmaz çelik tel (SS)içi oyuk iğli kaplama tekniği ile bir araya getirilmiştir. Hibrit ipliklerin üretim metodu Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir.

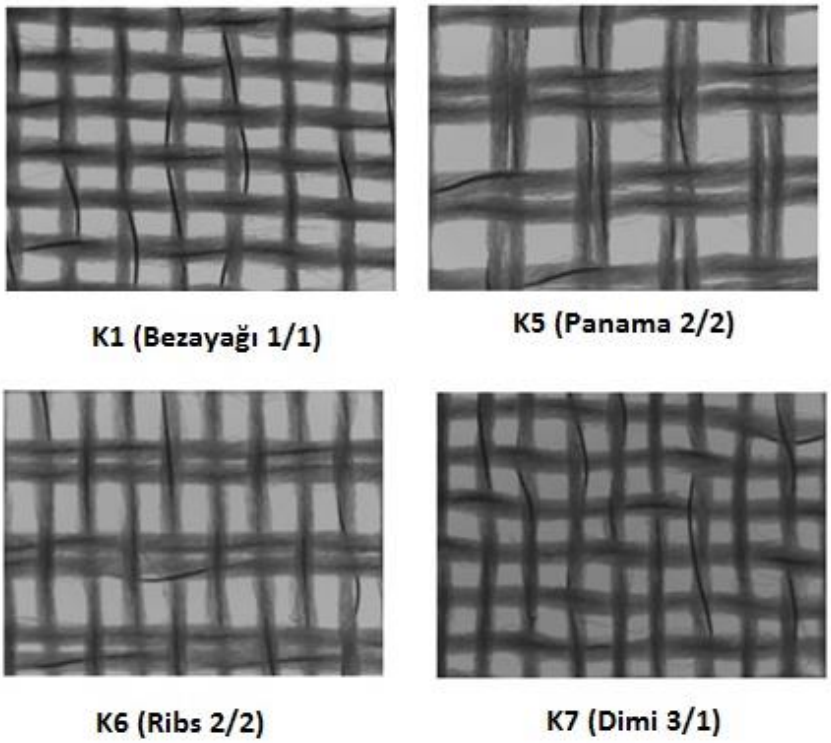



Şekil 2.1. Hibrit ipliklerin üretim sisteminin şematik gösterimi ve fotoğrafı.

Dokuma kumaş numunelerinin kodları ve atkı sıklıkları Tablo 2.1' de özetlenmiştir. Ayrıca farklı örgü yapılarında üretilen kumaşların optik mikroskop altında elde edilen görüntüleri gerek hibrit ipliklerin gerekse kumaş yapısının anlaşılması amacıyla Şekil 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Elektromanyetik dalgaları ekranlama amaçlı üretilen kumaş numunelerinin özellikleri.

| **Kumaş Kodu** | **Örgü Tipi** | **Atkı Sıklığı (tel/cm)** | **Çözgü Sıklığı (tel/cm)** | **Kumaş Gramajı ($g/m^2$)** |
|---|---|---|---|---|
| **K1** | Bezayağı 1/1 | 21 | 25 | 106 |
| **K2** | Bezayağı 1/1 | 23 | 25 | 112 |
| **K3** | Bezayağı 1/1 | 25 | 25 | 116 |
| **K4** | Bezayağı 1/1 | 28 | 25 | 120 |
| **K5** | Panama 2/2 | 28 | 25 | 117 |
| **K6** | Ribs 2/2 | 28 | 25 | 118 |
| **K7** | Dimi 3/1 | 28 | 25 | 118 |




Şekil 2.2. Farklı örgü yapılarındaki numune kumaşların optik mikroskop altındaki görünümleri.

## 2.2. Kumaş Numunelerinin Ekranlama Etkinliğinin Yankısız Oda ve Koaksiyel Tutucu Metoda Göre Test Edilmesi

Yeni test aparatının geliştirilmesinden önce elektromanyetik dalgaları ekranlama amaçlı metal tel içerikli hibrit ipliklerden mamül kumaşların ekranlama etkinliği (SE) ölçümleri halihazırda yaygın olarak kullanılan koaksiyel tutucu metodu (Coaxial Holder Method) ve yankısız oda metodu (Anechoic Chamber with Aperture Method) ile gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar, geliştirilen test aparatının sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

### 2.2.1. Koaksiyel Tutucu Metodu ile Yapılan SE Ölçümleri

Öncelikle 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 2.3 ’de ölçümleri yaptığımız test düzeneği görülmektedir.




Şekil 2.3. Koaksiyel Tutucu Metodu Test Uygulaması.

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 vektör devre çözümleyici kullanılmıştır. S parametrelerinin ölçümü ile toplam ekranlama etkinliği içerisinde yansıma ve soğurmanın katkıları belirlenebilmektedir.

ASTM D 4935 standardına göre kumaş numunelerinin SE değerlerini belirleyebilmek için ölçüm iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, Şekil 2.3-a'da görüldüğü gibi test numunesinden hazırlanan parçalarla referans ölçüm yapılmaktadır. İkinci aşamada ise ölçüm alanına uygun olarak 133 mm dairesel formda hazırlanan fiili test numunesi koaksiyel tutucular arasına yerleştirildikten sonra ölçüm gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.3-b).

Ölçümler sonunda, kumaş numunelerinin herbiri için vektör devre çözümleyiciden $S_{21}$ değerleri alınmıştır. Kumaşların ekranlama etkinliği değerleri belirlenirken (3.1) denklemi kullanıldı.

SE (dB) = Referans ölçüm sonucu (dB) - Zayıflatma ölçüm sonucu (dB) (2.1)

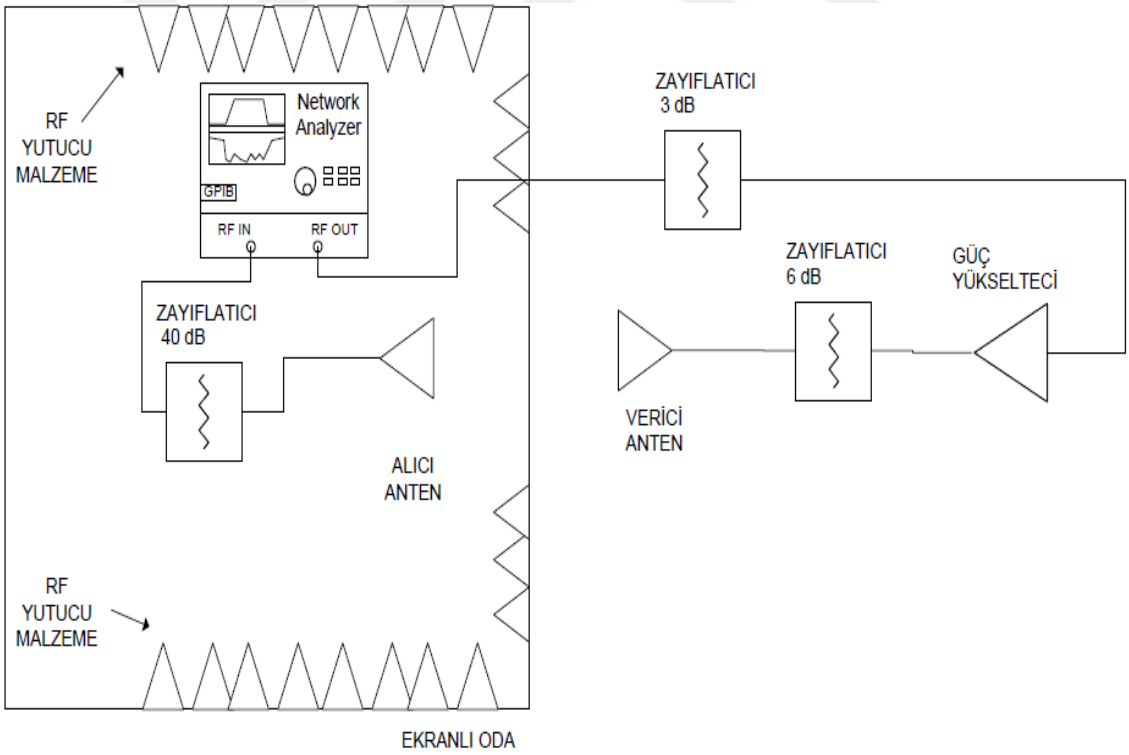
(2.1) denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlar negatif çıktığında o frekans için SE değeri sıfır kabul edilmiştir.

### 2.2.2. Yankısız Oda Metodu 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 [44, 45]. 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. Şekil 2.4'de referans ve zayıflatma ölçümlerine temel teşkil edecek olan genel test düzeneği görülmektedir. Şekil 2.5'de ise ETTM ekranlı odası ve kumaşların ekranlama etkinliğini ölçmek için kullanılan pencerenin dışarıdan ve içeriden görünümü verilmiştir.




Şekil 2.4. Ekranlama etkinliği genel test düzeneği.



Şekil 2.5. Yankısız oda iç-dış kısımları, 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 2.5). Zayıflatma ölçümleri de, kumaşlar ekranlı odanın penceresine monte edilmiş durumda, alıcı anten içeride verici anten dışarıda ve antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmıştır (Şekil 2.5). Kumaş ekranlama etkinliği değeri belirlenirken (2.1) denklemi kullanılmıştır. (2.1) denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlar negatif çıktığında o frekans için SE değeri sıfır kabul edilmiştir.

# 3. BÖLÜM

# BULGULAR VE TARTIŞMA

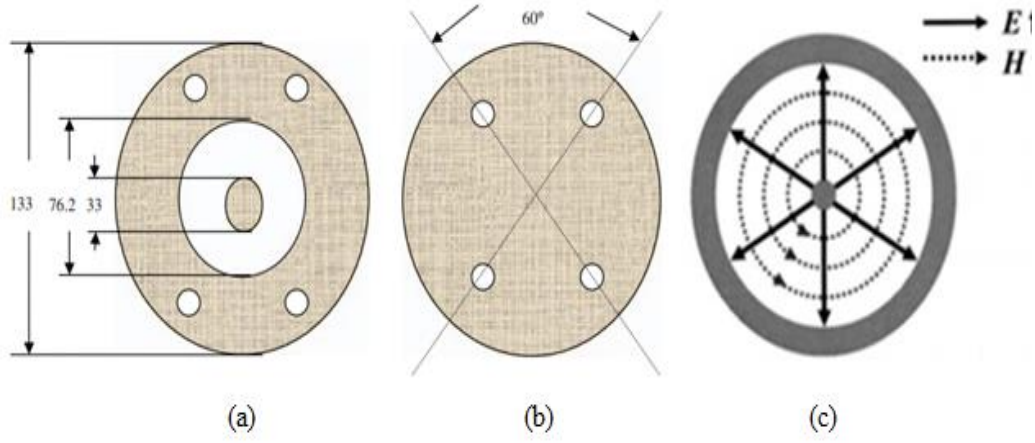
Bu bölümde, tez kapsamında tekstil malzemelerinin elektromanyetik dalgaları ekranlama etkinliği ölçümü için geliştirilen test aparatının geliştirilme süreci ve ardından da hibrit ipliklerden dokunmuş 7 adet kumaş numune grubu üzerinden geliştirilen test aparatının çalışmasının yankısız oda ve koaksiyel tutucu test metodu ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi anlatılmıştır.

## 3.1. Test Aparatının Geliştirilmesi

Koaksiyel tutucu metodu, ASTM'nin 1989'da düzlemsel materyallerin SE'sini ölçmek için geliştirilip yayınladığı bir test metodu olan D4935 standardına dayanır [37]. Bu metot düzlem dalga için kompozit malzemeler ve elektromanyetik alana karşı koruyucu tekstillerin SE ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Koaksiyel tutucu metodunda, flanşlı bir koaksiyel tutucu ve S parametrelerini ($S_{11}$ ve $S_{21}$ yansıma ve araya girme kayıpları) ölçebilen bir network analizör bulunmaktadır. S parametrelerinin ölçümü ile toplam ekranlama etkinliği içerisinde yansıma ve soğurmanın katkıları belirlenebilmektedir. Koaksiyel tutucu metodu ile SE ölçümlerinin yapılabildiği ölçüm test düzeneğinin görüntüsü Şekil 2.3'de görülmektedir.

ASTM D 4935 standardına göre test adaptörünün dış iletken iç çapı (D) 76.2 mm ve iç iletken dış çapı (d) 33 mm'dir. Test adaptörünün iki yarısı arasındaki kapasitif bağlantıyı artırmak için, her iki yarı da 133 mm'lik flanşlar bulunmaktadır (Şekil 3.1).

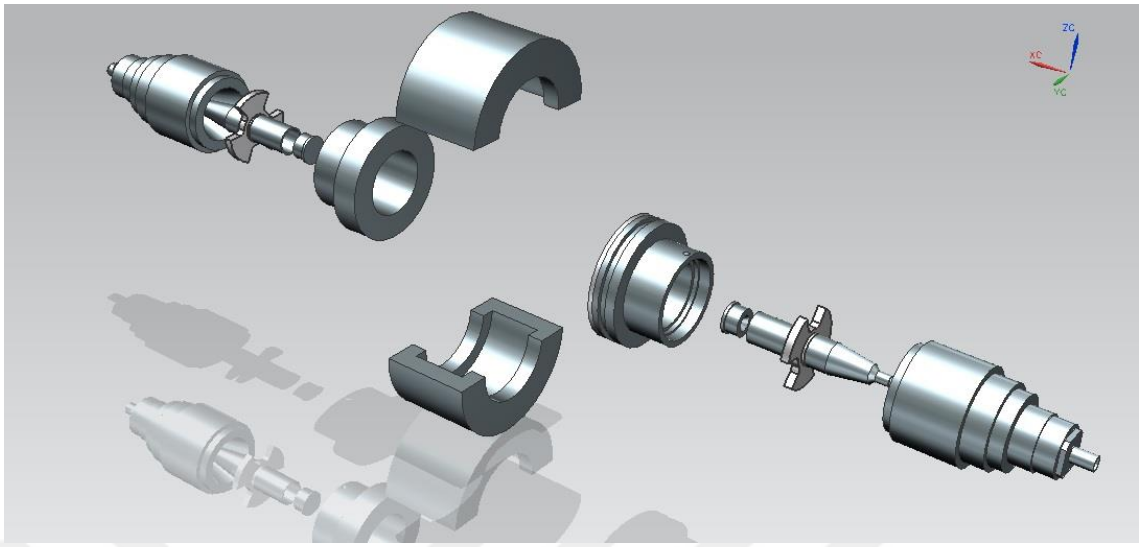



Şekil 3.1. ASTM D4935-99 ile uyumlu bir metot için referans (a), test adaptörü (b) ölçüleri ve koaksiyel hat içinde elektrik ve manyetik alan (c) [11, 15].

ASTM D 4935standardına göre kumaş numunelerinin SE değerlerini belirleyebilmek için ölçüm iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, Şekil 2.3'de görüldüğü gibi test numunesinden hazırlanan parçalarla referans ölçüm yapılmaktadır. İkinci aşamada ise ölçüm alanına uygun olarak 133 mm dairesel formda hazırlanan fiili test numunesi koaksiyel tutucular arasına yerleştirildikten sonra ölçüm gerçekleştirilmektedir.

Tekstil malzemelerin ekranlama etkinliği ölçümünde yaygın olarak kullanılan yankısız oda metoduna göre numune boyutunun küçük olması, ölçüm süresinin kısa olması, ölçüm yerinin esnek olması gibi avantajlara sahip olan koaksiyel tutucu metodu aynı zamanda çeşitli dezavantajlara sahiptir. Bu çalışmada halihazırda kullanılan ASTM D 4935-99 standardındaki ölçüm yapılabilen frekans aralığının düşük olması ve test adaptörlerinin ağırlığı gibi mevcut dezavantajları ortadan kaldıracak yapıda yeni bir test aparatı geliştirilmiştir.

Şekil 3.2'de test aparatının geliştirilme aşamasında yapılan üç boyutlu çizimi (a) ve 1/1 prototipi (b) ve üretilen aparata (c) ait görüntüler verilmiştir.




(a)




(b)

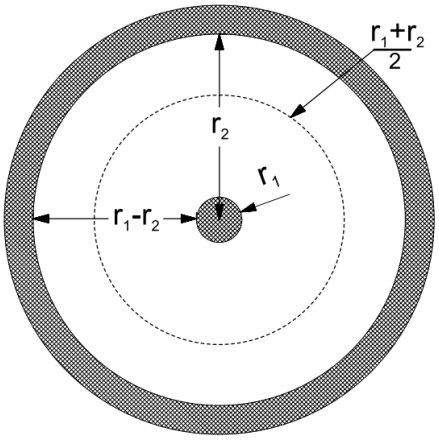


(c)

Şekil 3.2. Geliştirilen Test Aparatının üç boyutlu çizimi (a), 1/1 boyuttaki prototipi (b), ve gerçek hali (c).

ASTM D 4935 standardına göre yapılan test cihazları pirinç malzemeden yapılmaktadır (Şekil 3.3). Pirinç, bakır ve kalay malzemelerinin belli oranlarda karışımlarından elde edilen bir çeşit alaşımdır. Bir alaşımın iletkenliği her zaman için bileşenlerininkinden daha düşüktür ve alaşımların iletkenlikleri homojen olmayabilir. Bu malzemenin SE ölçüm aparatında kullanılması ölçüm sonuçlarını ideal davranıştan uzaklaştırır. Ayrıca pirinç, içerisinde bulunan bakırdan dolayı oldukça ağır bir malzemedir. Tüm bu nedenlerden dolayı yeni cihazın üretiminde pirince göre iletkenliği daha iyi ve daha hafif olan alüminyum kullanılmıştır [Alüminyum=$35.4\times10^6$ S/m, Pirinç =$16.24\times10^6$ S/m] (Şekil 3.2). Alüminyum saf bir malzeme olduğundan dolayı iletkenliği homojendir. Bu özellik de SE ölçüm sonuçlarının sağlıklı olabilmesi için son derece önemlidir.

ASTM D standardına göre üretilen ölçüm aparatının üst frekansının maksimum değerini hesaplamak için (3.1) no'lu denklem kullanılmaktadır [47].




Şekil 3.3. Koaksiyel hattın etkin döngüsü (effective circle of coaxial line) [47].

$$\lambda_{kesim} = \frac{2\pi}{n}\left(\frac{r_2+r_1}{2}\right) = \frac{\pi}{n}(r_2 + r_1) \qquad (3.1)$$

Burada $\lambda_{kesim}$ = kesim dalgaboyu, m

$r_2$ =dış kondüktörün içi yarıçapı, m

$r_1$ = iç kondüktörün dış yarıçapı, m

$n$ = 1,2,3… (dairenin etrafındaki yarım dalga boyu sayısı, asıl mod için; n=1)

(3.1) denklemi ile elde edilen sonuca göre ASTM D 4935 standardında üst frekans değerinin 1.73 GHz'i aşmaması gerekmektedir. Çevremizde kullandığımız elektronik cihazların yaydıkları dalgaların frekans değerleri 2 GHz ve üzerine çıkmıştır. Bu nedenden dolayı ekranlama için gerekli görülen frekans değerlerinin de 2 GHz'in üzerinde olması istenilmektedir. SE ölçümünde frekans aralığı ölçüm cihazının boyutu ile ilişkili olduğundan dolayı geliştirdiğimiz cihazın boyutu standarda göre 1/3 oranında küçültülmüştür. Bu durumda dış iletkenin iç çapı 25.4 mm, iç iletkenin dış çapı ise 11 mm olan yeni cihaz ile 0.01GHz-5.25 GHz frekans aralığında sağlıklı SE ölçümleri yapılabilmektedir.

Kesim dalga boyunu bulmak için denklem 3.1.'i uygularsak;

$$\lambda_{kesim} = \frac{\pi}{n}(r_2 + r_1)$$

$$= \pi(1.27 + 0.55)$$

$$= 5.71\ cm$$

En düşük mod için n=1 alınmıştır ve c = $3 \times 10^{10}$ cm/s alınırsa;

$$\lambda\ (cm) = \frac{3 \times 10^{10}\ cm/s}{f(Hz)}$$

$f_{kesim}$ için çözüm;

$$f_{kesim} = \frac{3 \times 10^{10}\ cm/s}{\lambda_{kesim}}$$

$$= \frac{3 \times 10^{10}\ cm/s}{5.71}$$

$$= 0.525 \times 10^{10} Hz$$

$$f_{kesim} = 5.25\ GHz$$



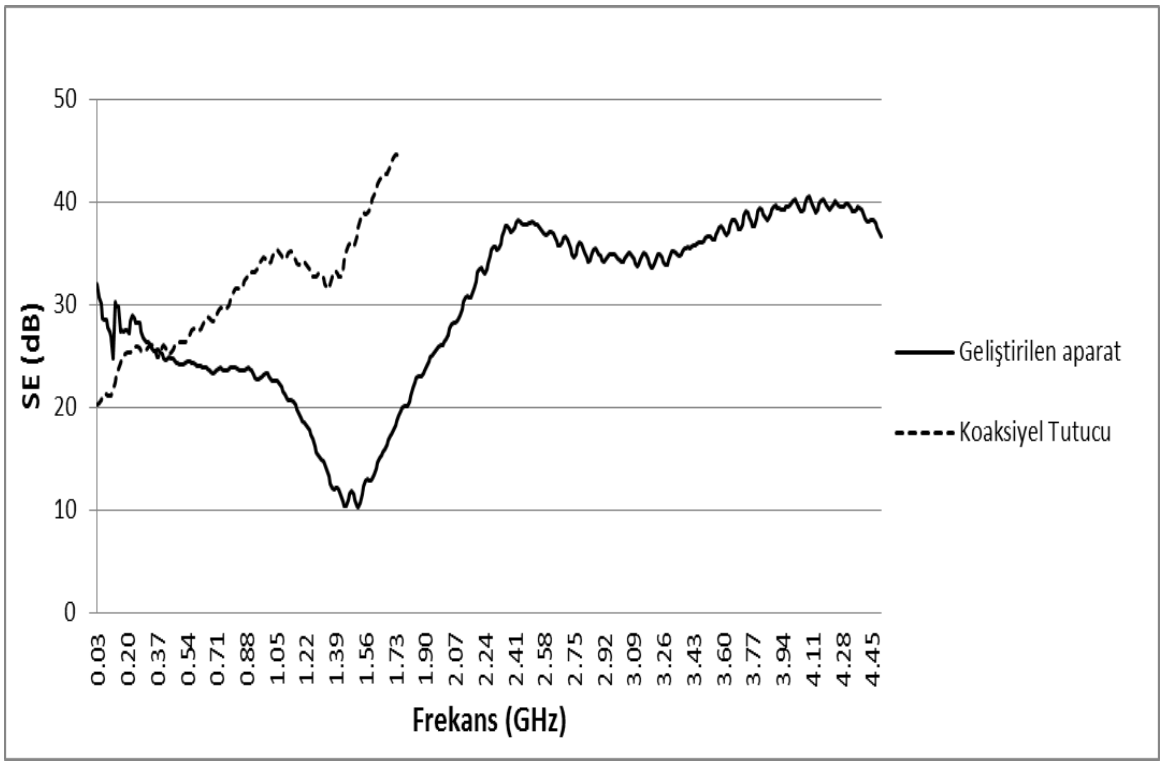

Şekil 3.4. Geliştirilen Koaksiyel Tutucu Test Aparatının Görünümü.

ASTM D 4935 standardına göre üretilen cihazın her bir adaptörü 7,5 kilo ağırlığındadır. Ölçüm yapan personelin kumaş numunelerini adaptörlerin arasına yerleştirdikten sonra 4 farklı noktadan vidalaması gerekmektedir. Vidalama sırasında numunenin zarar görmesi muhtemeldir. Ayrıca personelin her bir testte vidaları aynı oranda güç kullanarak sıkması mümkün değildir. Bu durumların ölçüm sonucunun tekrarlanabilirliğini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Yeni geliştirilen test

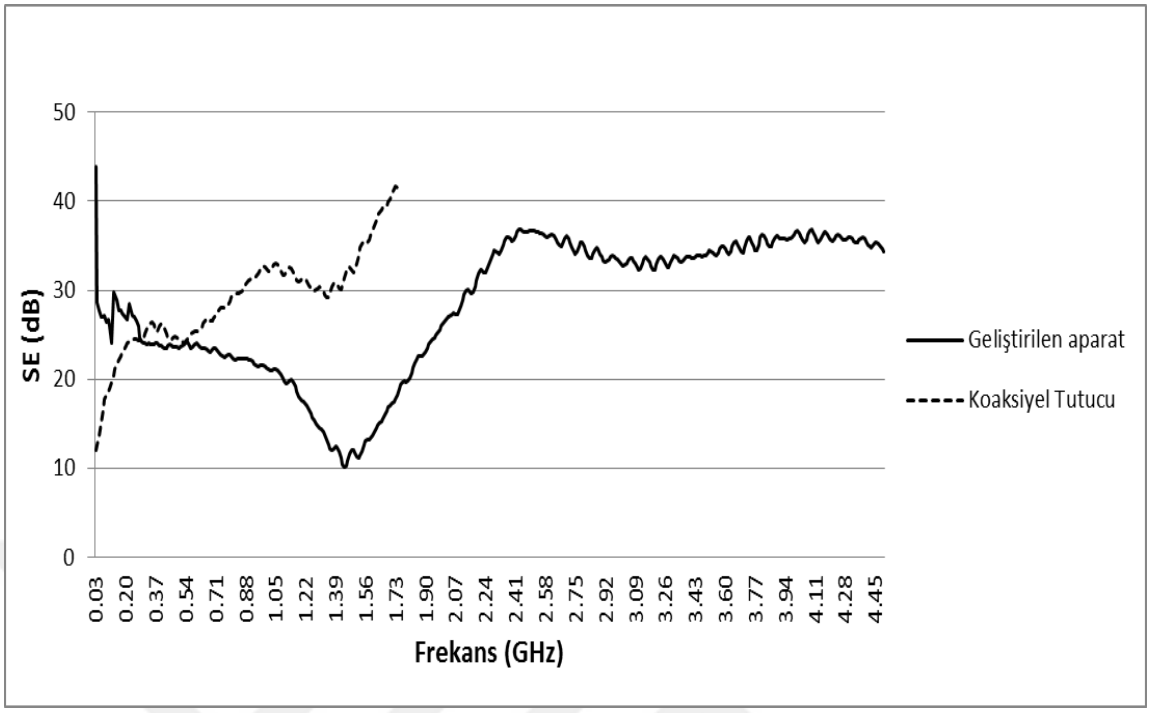
aparatında başlangıçta, vidalama yerine Şekil 3.2(a) ve (c)'de görülen siyah renkteki tutturucular kullanılmıştır. Ancak, test aparatı üretildikten sonra gerçekleştirilen ilk denemelerde Şekil 3.2 (c) de siyah renkte görülen tutturucuların, farklı kalınlıklardaki kumaş numunelerinin testinde sorun oluşturduğu gözlemlenmiş ve üst adaptörün kendi ağırlığı ile kumaş numunesine bastığı sisteme geçilmiştir. Yeni test aparatında iki adaptör arasına yerleştirilen numune vidalanmaksızın dikey konumda bir araya getirilmektedir. Böylece ölçüm yapan personelden bağımsız olarak test numunesine her testte aparat kendi ağırlığı kadar baskı uygulamaktadır. Bu sistem için basitçe ahşaptan hazırlanan düzenek ve test sırasında aparatın pozisyonu Şekil 3.4'de görülmektedir.

### 3.2. Geliştirilen Test Aparatı ile Elde Edilen Sonuçların Koaksiyel Tutucu Metoda Göre Yapılan Test Sonuçları ile Karşılaştırılması

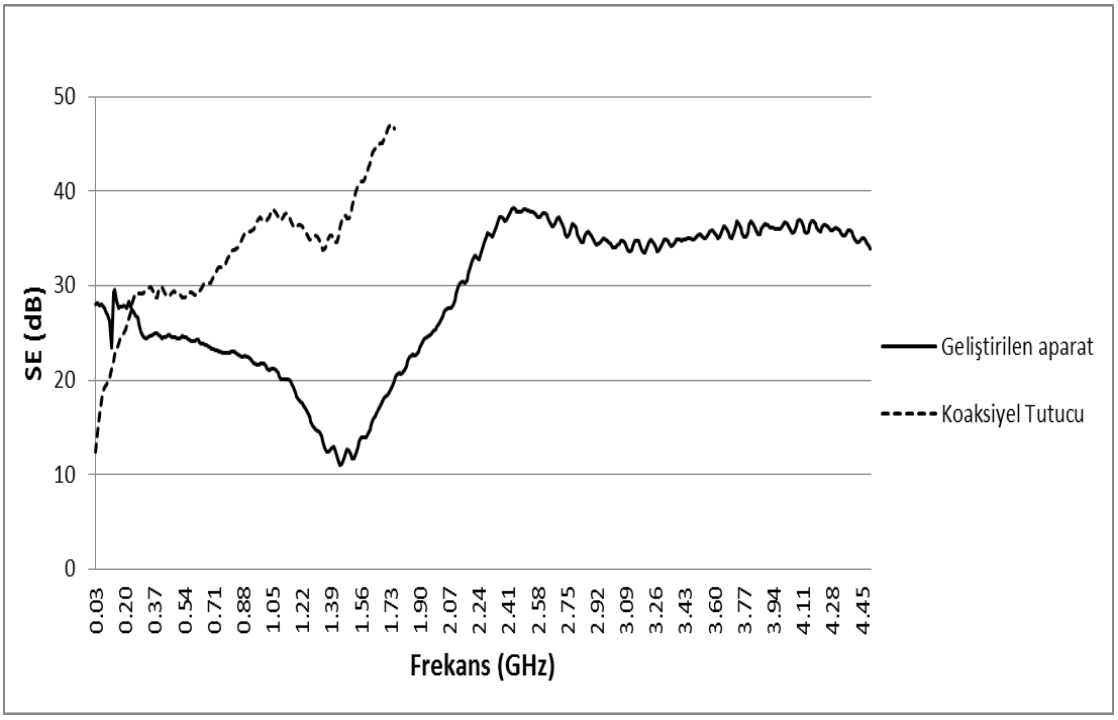
Çalışmanın bu kısmında elektromanyetik alanları ekranlama amaçlı geliştirilen 7 tip dokuma kumaşın, geliştirilen test aparatından elde edilen SE sonuçları ile ASTM D 4935 standardına dayanan SE ölçüm sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilerek yorumlanmıştır. Dokuma kumaşların her iki test aparatına ait elektromanyetik ekranlama etkinliği değerleri Şekil 3.5'den Şekil 3.15'e kadar sırası ile verilmiştir.



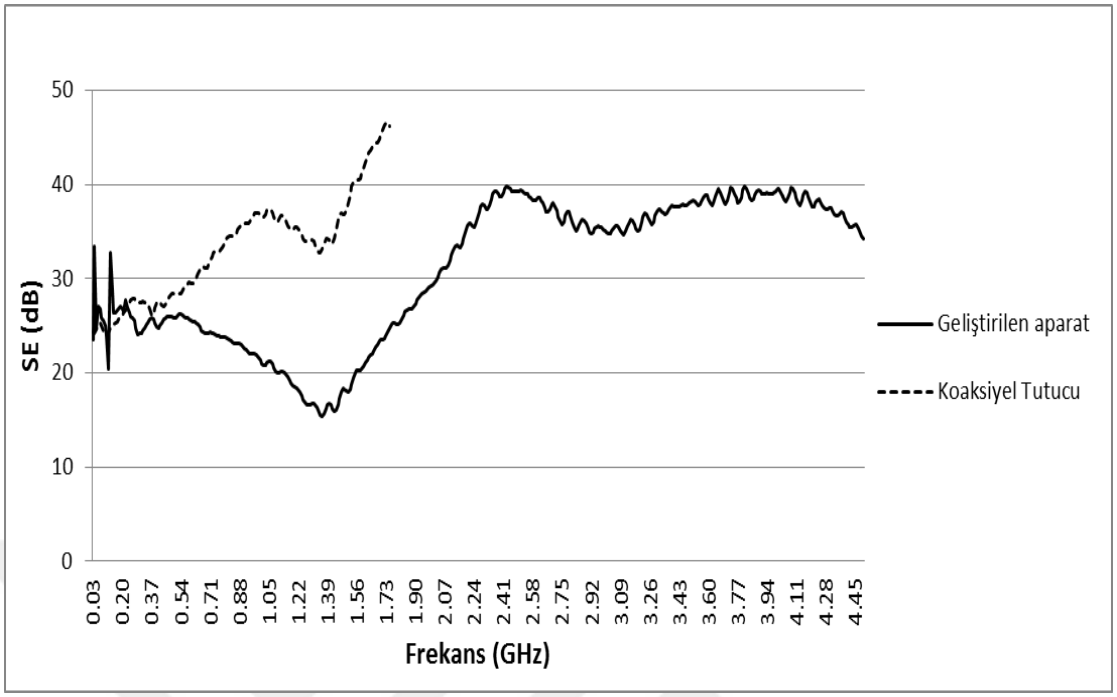

Şekil 3.5. K1 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



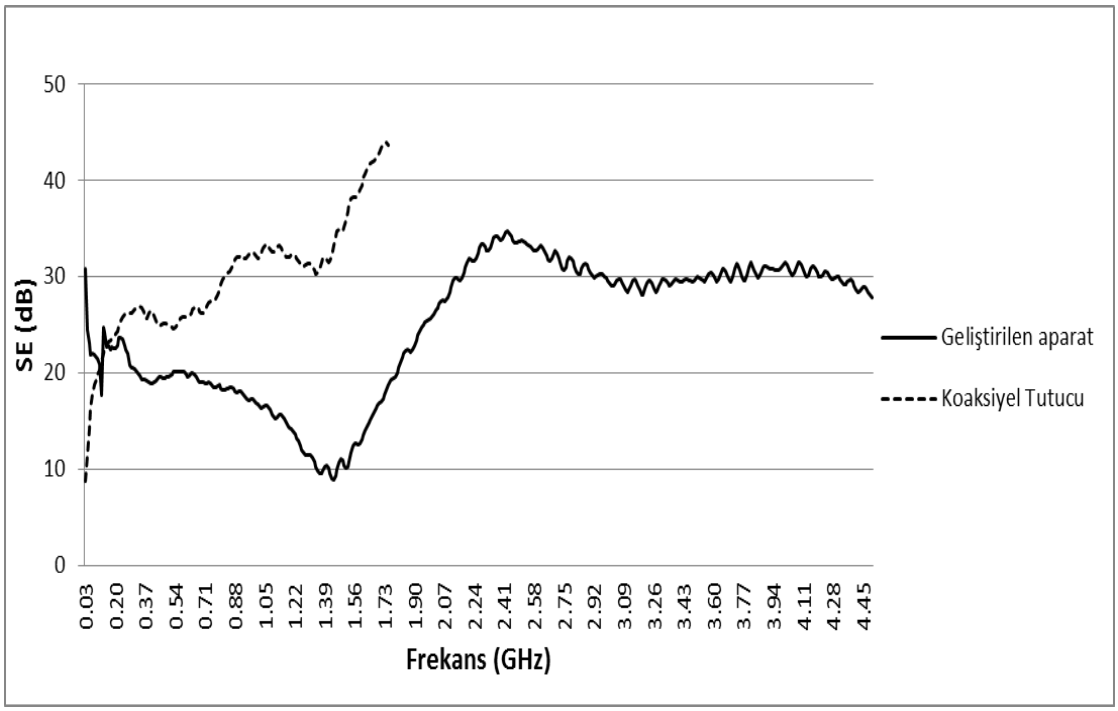

Şekil 3.6. K2 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



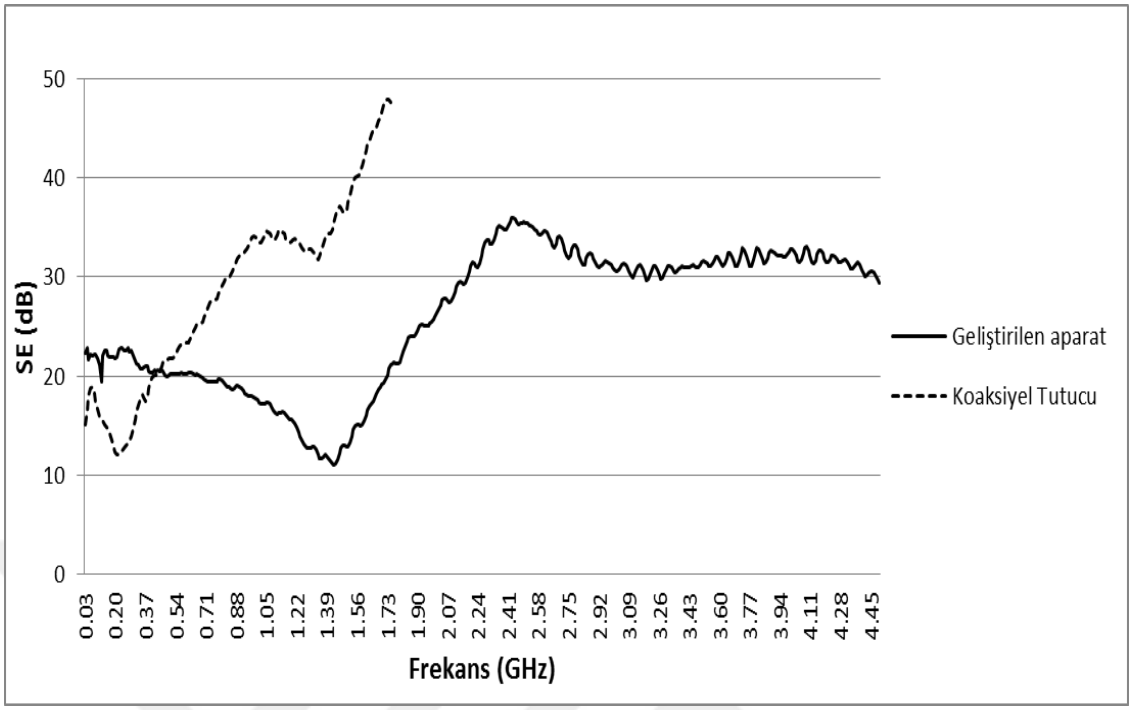

Şekil 3.7. K3 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.



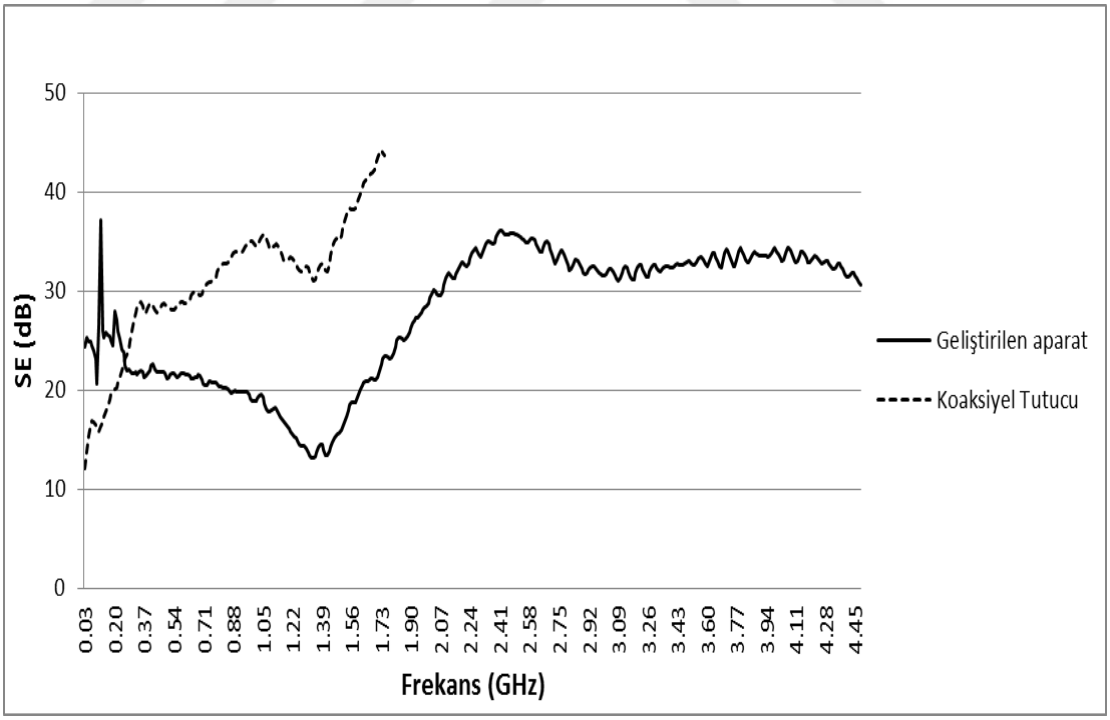

Şekil 3.8. K4 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.




Şekil 3.9. K5 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.




Şekil 3.10. K6 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.




Şekil 3.11. K7 kodlu kumaşın iki farklı test aparatında elde edilen SE ölçüm sonuçları.

Hibrit ipliklerden üretilen kumaşlarda, ekranlama etkinliğinin düşük frekanslarda; frekans artışı ile bir miktar yükselmesi, yapının tasarımına ve metal içeriğine bağlı

olarak bir maksimumdan sonra artan frekansla azalması beklenir [46]. Şekil 3.5-3.11 arası grafikler ASTM D 4935 standardı açısından incelendiğinde bu durumun gözlenemediği açıktır. Grafikler kendi arasında tutarlı olsa da, beklenen frekans davranışını sergileyememektedir. Bu durum, ASTM D 4935 standardına göre yapılan ölçüm aparatlarının yapımında kullanılan pirince bağlı kayıplarının yüksek frekanslarda (özellikle pirinç için hızla) artması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Pirinç malzeme tercihine bağlı kaybın kumaşlara ait $S_{21}$ değerlerine yansıdığı ve gerçekleşmesi beklenenden daha yüksek olarak ortaya çıktığı şeklinde değerlendirilmektedir.

Diğer taraftan grafikler, çalışma kapsamında geliştirdiğimiz cihaz açısından incelendiğinde ölçüm sonuçlarının yüksek frekanslarda ortaya çıkan bu kayıpları kompanse edecek şekilde iyileştiği görülmektedir. Bu cihazın ideale yakın davranış göstermesinin sebebi olarak pirince göre daha iyi iletken ve homojen bir malzeme olan alüminyumun kullanılması gösterilebilir. Ayrıca frekans davranışındaki bu düzelmenin 4.47 GHz'e kadar sürdüğü de gözlemlenmektedir.

Ayrıca, yeni geliştirilen test aparatından elde edilen sonuçları incelendiğinde; örgü tipi dışında tüm özellikleri aynı olan K4, K5, K6 ve K7 kodlu kumaşlar arasında en yüksek SE değerine bezayağı örgü yapısında olan K4 kodlu kumaşın sahip olduğu görülmektedir. Panama, Ribs ve Dimi örgü yapısındaki (K5, K7 ve K8) kumaşların SE değerleri arasında ise belirli bir farklılık gözlenmemiştir.

### 3.3. Koaksiyel Tutucu Metoda Göre Yapılan Testten Elde Edilen Sonuçların Yankısız Oda Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Yankısız oda esaslı elektromanyetik dalganın hem yatay hem de dikey polarizasyonu için yapılan ölçüm sonuçlarına koaksiyel tutucu esaslı (ASTM D 4935) ölçüm sonuçlarının benzetimi için çok sayıda deneme sonucu parametrik bir model geliştirilmiştir.

Daha sonra geliştirilen modelin parametreleri farksal gelişen algoritması (FGA) kullanılarak optimize edilmiştir. Oluşturulan model, frekans (*f*, GHz cinsinden) ve koaksiyel tutucunun ham $S_{21}$ ölçümlerinin ($SE_{in}$) beş parametre ile ($P_1$'den $P_5$'e) optimizasyonunu içermektedir. Optimizasyon için Matlab DE Toolbox içerisindeki

Farksal Gelişim Algoritması kullanılmıştır. Algoritma için kontrol parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. DGA için kontrol parametreleri

| |
|---|
| Popülasyon büyüklüğü (NP) = 100 |
| Çaprazlama oranı(CR) = 0,8 |
| Ölçekleme faktörü (F) = 0,8 |
| Jenerasyon sayısı= 1000 |
| Çaprazlama tipi = binomial |
| Mutasyon vektörü = $v_i^{(G+1)} = x_{best}^{(G)} + F\left(x_K^{(G)} - x_L^{(G)}\right)$ |

$x_K$, $x_L$; popülasyondaki farklı bireyleri; $x_{best}$, popülasyondaki en iyi bireyi; G, jenerasyonu; v, mutasyon vektörünü ve F, ölçekleme faktörünü ifade etmektedir

Model parametreleri, [14] nolu referanstaki K4 kodlu kumaşa ait yankısız oda ölçüm sonuçları kullanılarak optimize edilmiştir. K1, K2, K3, K6, K7 ve K8 kodlu kumaşların SE ölçüm sonuçlarının tamamı için bu model ve K4'e göre optimize edilen parametreler kullanılmıştır. Bir bakıma K4'ün sonuçları eğitim verisi, diğer kumaşların sonuçları test verisi olarak kullanılmıştır.

Önerilen basit fakat etkili model, frekansın lineer ve üstel terimini, ham ölçüm sonuçlarının lineer terimini ve bir sabit terimi içermektedir:

$$SE = -P_1 \cdot f + P_2 \exp(-P_3 \cdot f) + P_4 \cdot SE_{in} + P_5 \quad (3.2)$$

Yankısız oda ölçümleri hem dikey, hem de yatay polarizasyonlu yapıldığı için, model parametrelerinin bu iki durum için ayrı ayrı optimize edilmesi gerekmektedir.

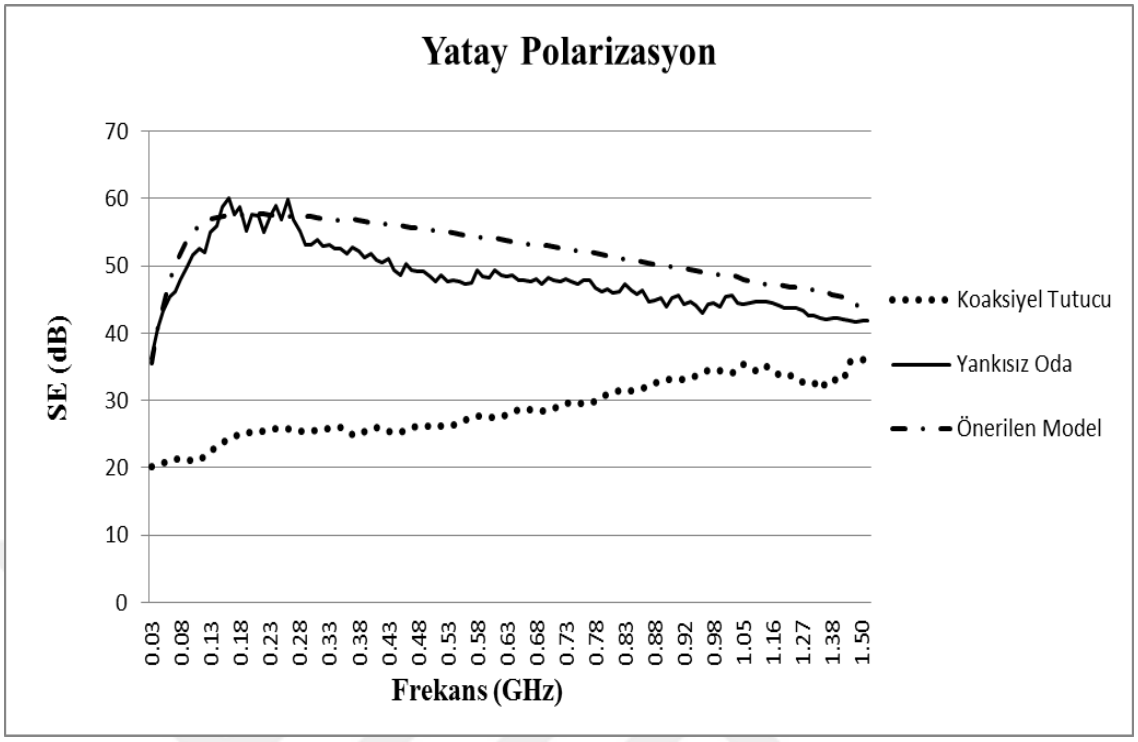
Dikey polarizasyonlu yankısız oda ölçümü için optimize edilmiş parametreler:

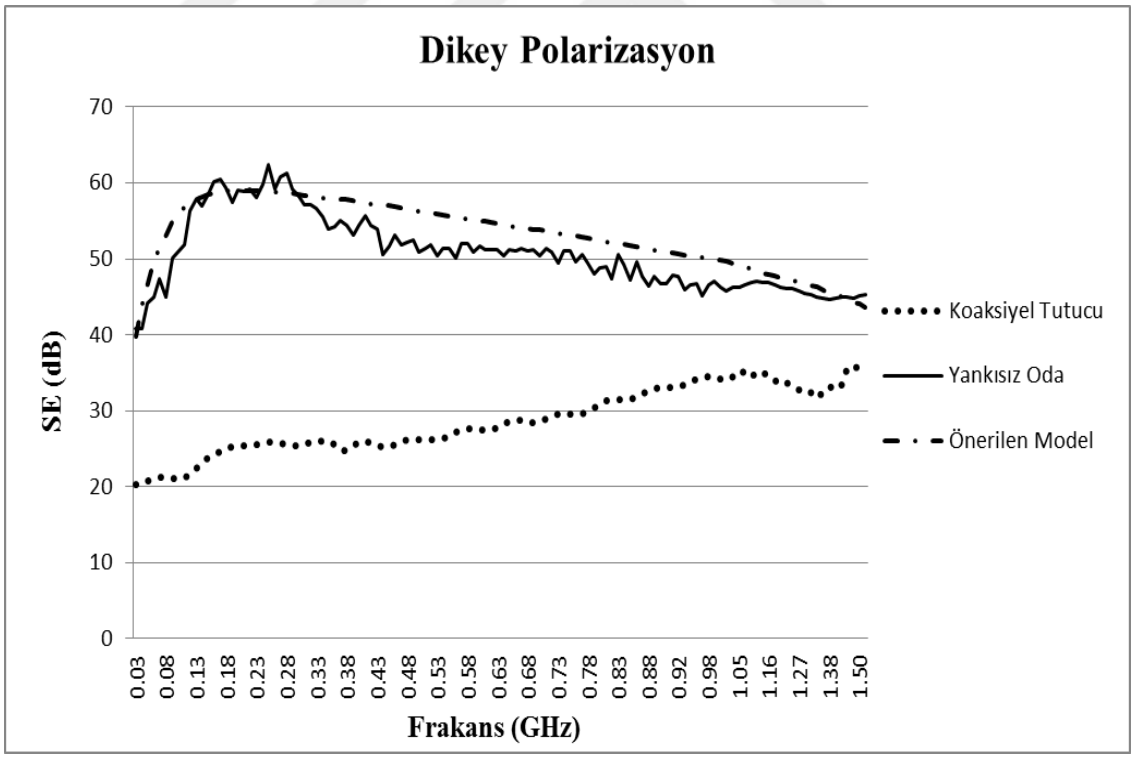
$P_1$=11,14 s $P_2$= -41,24 $P_3$= 20,28 s $P_4$= -0,12 $P_5$= 64,98

Yatay polarizasyonlu yankısız oda ölçümü için optimize edilmiş parametreler:

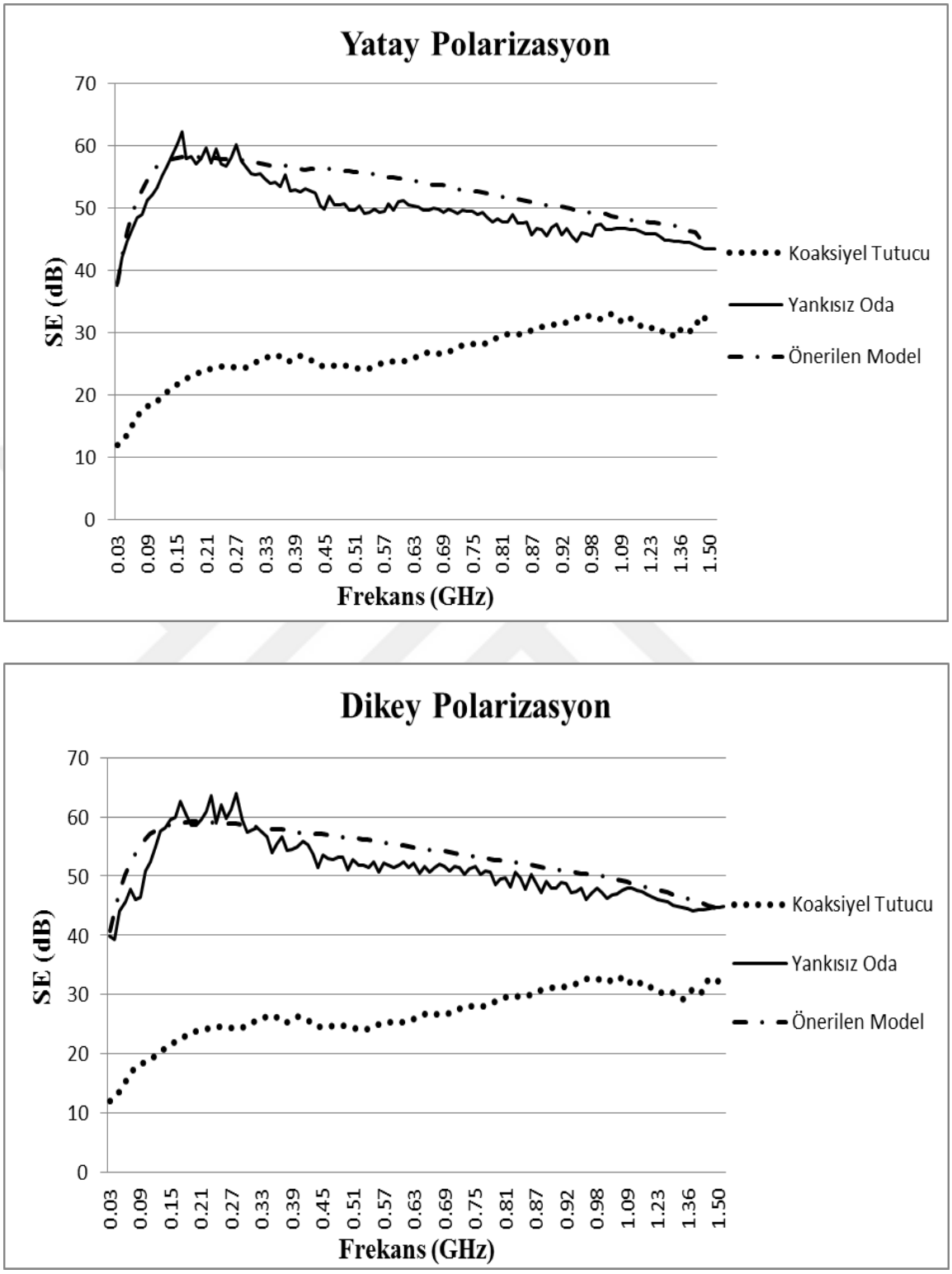
$P_1$= 8,7 s $P_2$= -50,1 $P_3$= 22,44 s $P_4$= -0,27 $P_5$= 67,31

Koaksiyel tutucu esaslı ölçüm sonuçlarının, önerilen model sonrası benzetim sonuçları Şekil 3.12'den Şekil-3.13'ye gösterilmiştir. Grafikte noktalı eğri (….), koaksiyel tutucunun ham ölçüm sonuçlarını gösterirken, düz çizgi (-) yankısız oda ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Model geliştirme ve optimizasyondaki amacımız; Koaksiyel tutucu ölçüm sonuçlarının yankısız oda ölçüm sonuçlarına benzetimi için bir model oluşturmaktır. Geliştirilen modele bağlı olarak bulunan sonuçların (.-.-) yankısız oda sonuçları ile büyük oranda örtüştüğü Şekil 3.12-3.18 'de görülmektedir.

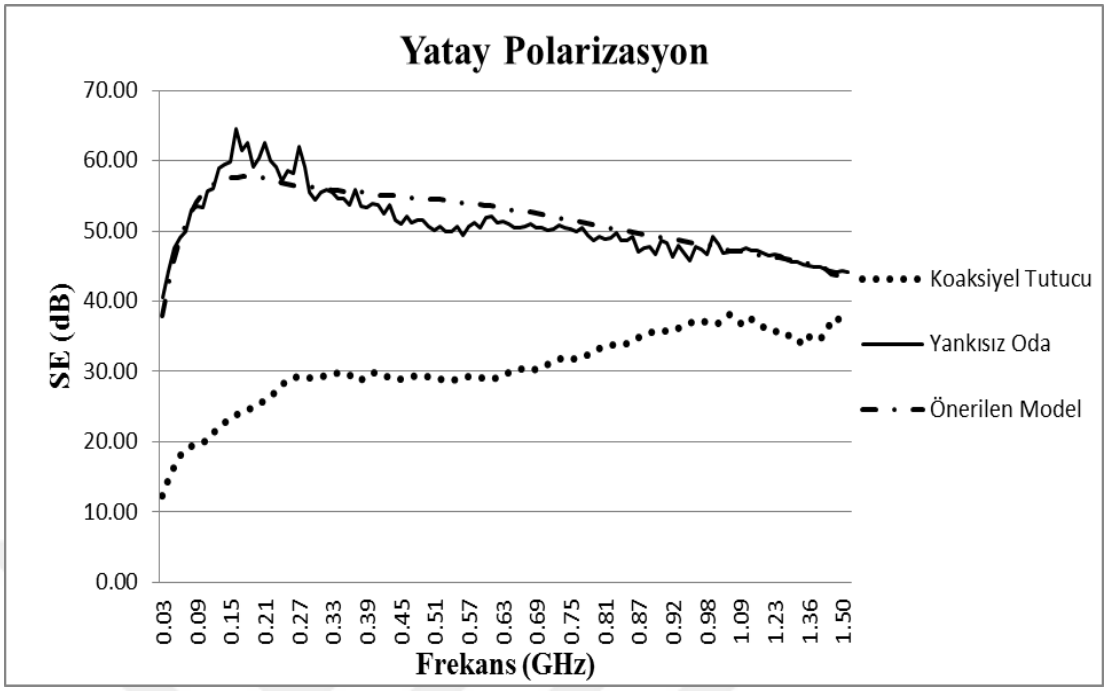


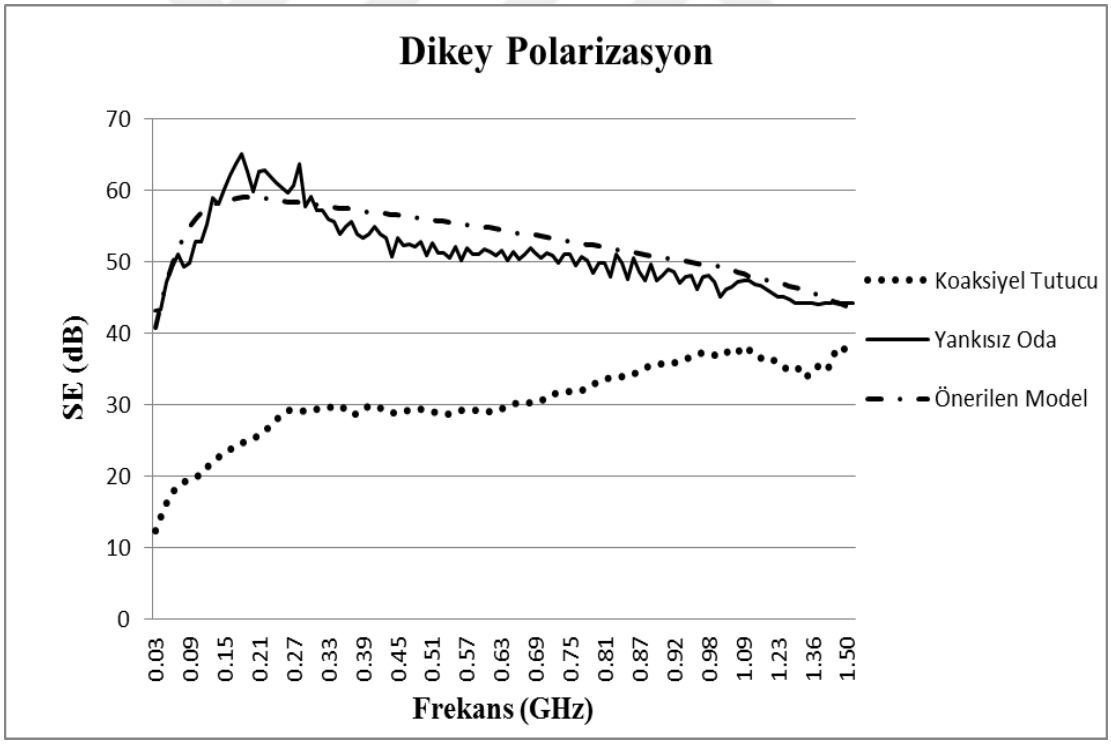




Şekil 3.12. K1 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri

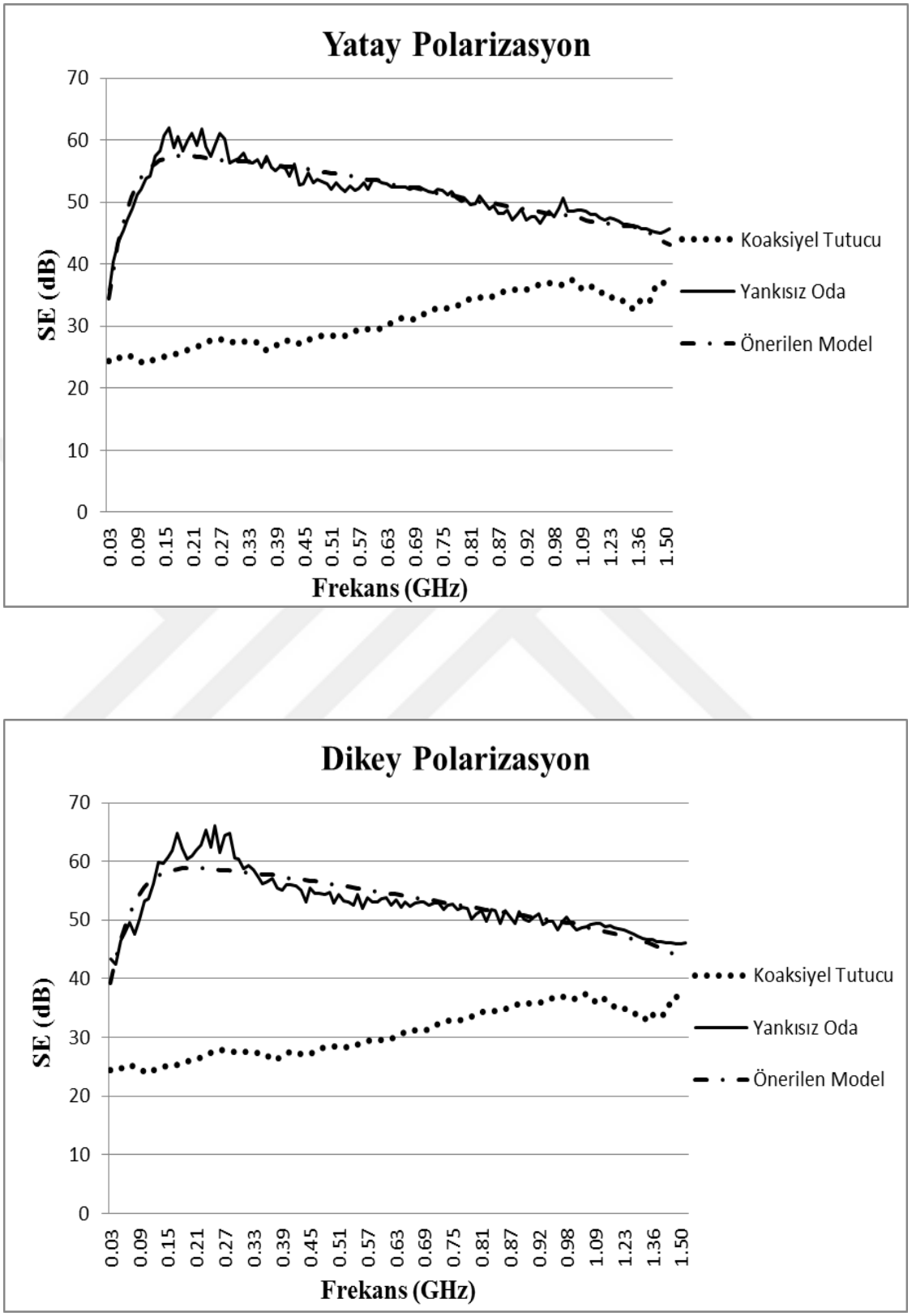



Şekil 3.13. K2 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri

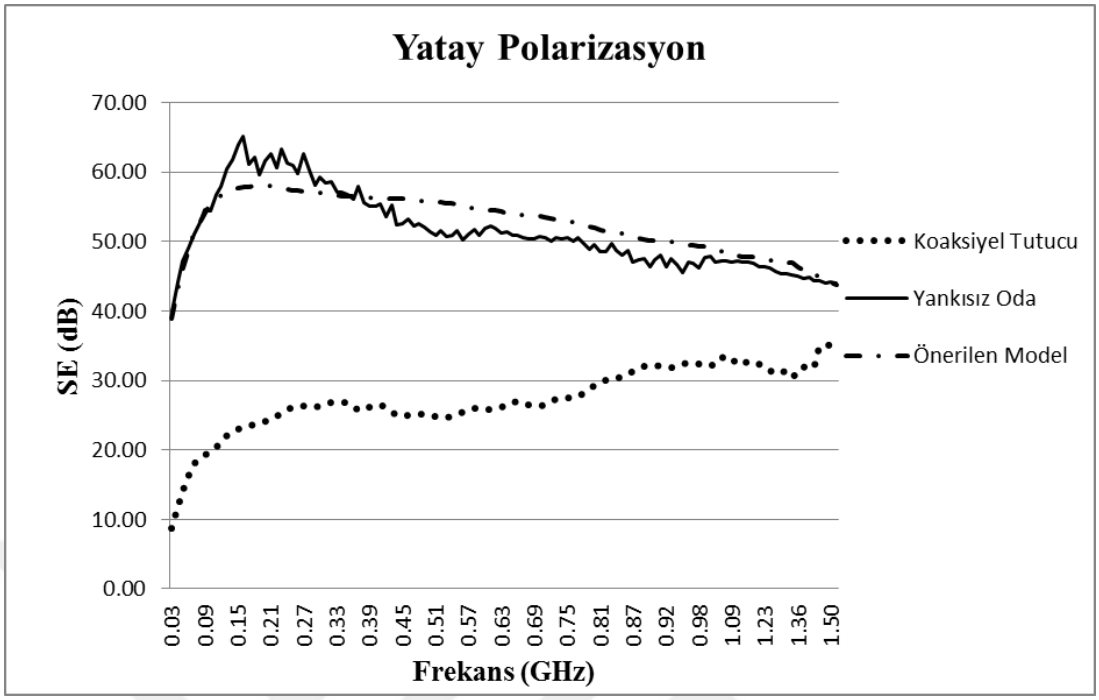


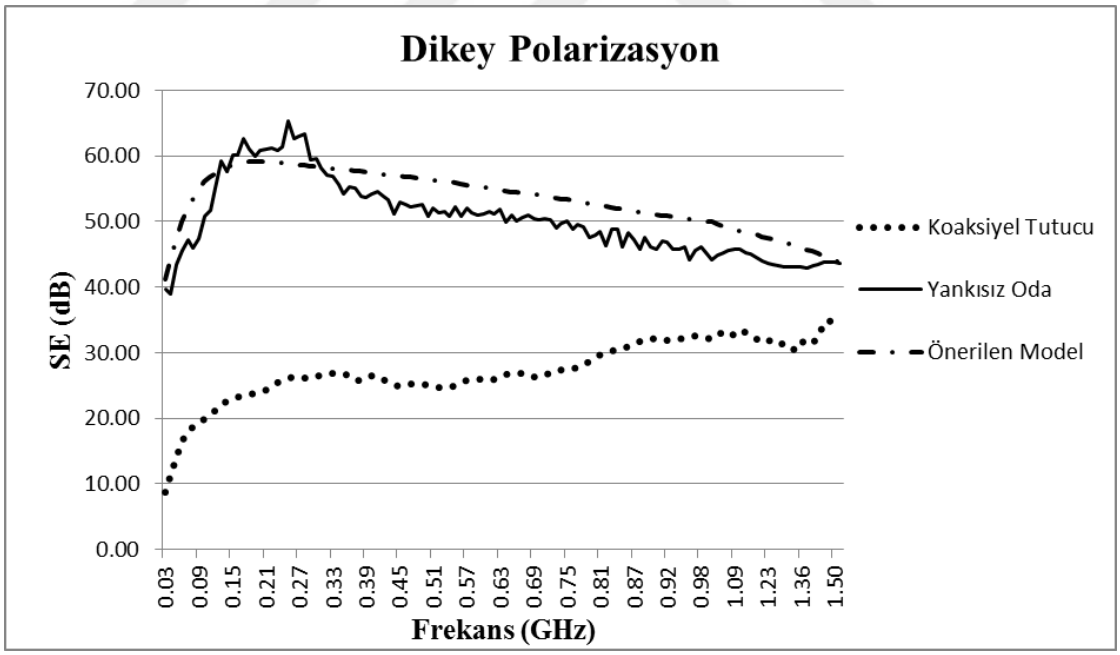




Şekil 3.14. K3 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri

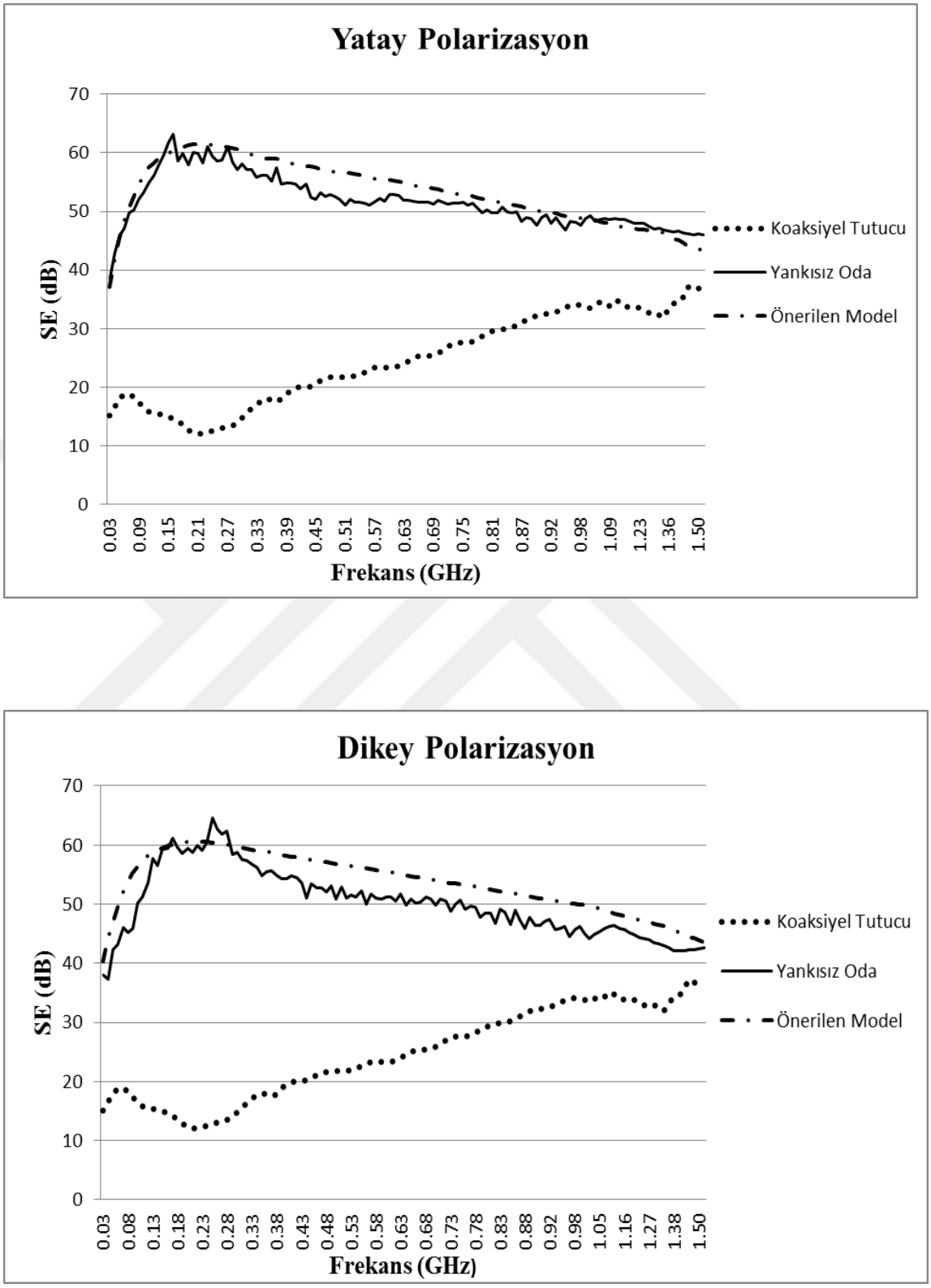



Şekil 3.15. K4 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri

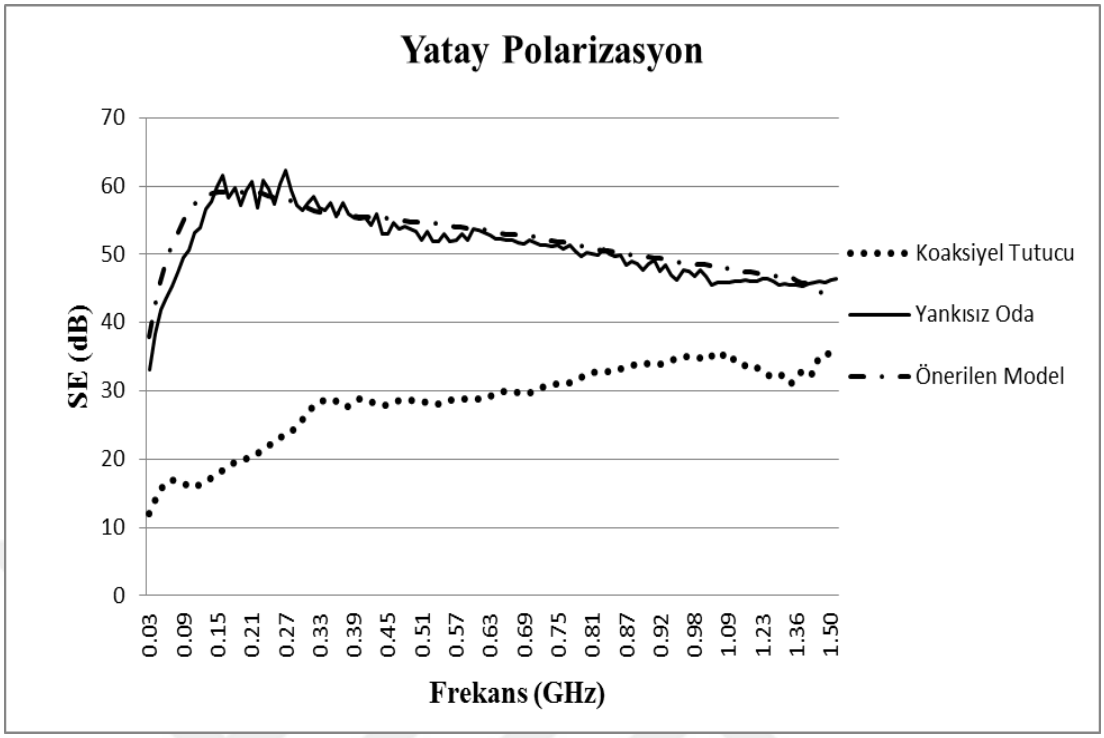


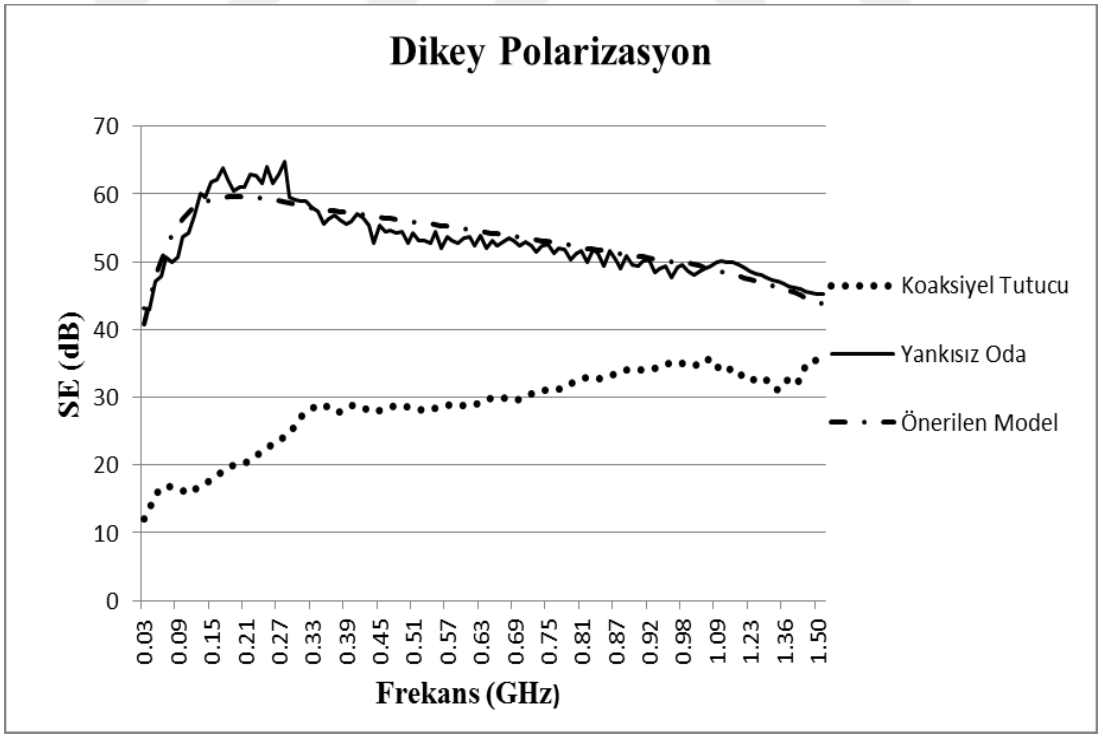




Şekil 3.16. K5 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri




Şekil 3.17. K6 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri




Şekil 3.18. K7 kodlu kumaşın yankısız oda ve koaksiyel tutucu ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri

### 3.4. Geliştirilen Test Aparatından Elde Edilen Test Sonuçlarının, Yankısız Oda Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Yankısız oda esaslı elektromanyetik dalganın hem yatay hem de dikey polarizasyonu için yapılan ölçüm sonuçlarına geliştirilen test aparatıyla yapılan ölçüm sonuçlarının benzetimi için de yine bir parametrik model geliştirilmiştir.

Oluşturulan model, frekans (*f*, GHz cinsinden) ve yeni test aparatı ham $S_{21}$ ölçümlerinin ($SE_{in}$) beş parametre ile ($P_1$'den $P_5$'e) optimizasyonunu içermektedir. Optimizasyon için Matlab DE Toolbox içerisindeki Farksal Gelişim Algoritması kullanılmıştır. Algoritma için kontrol parametreleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. FGA için kontrol parametreleri

| |
|---|
| Popülasyon büyüklüğü (NP) = 100 |
| Çaprazlama oranı(CR) = 0,8 |
| Ölçekleme faktörü (F) = 0,8 |
| Jenerasyon sayısı= 1000 |
| Çaprazlama tipi = binomial |
| Mutasyon vektörü = $v_i^{(G+1)} = x_{best}^{(G)} + F\left(x_K^{(G)} - x_L^{(G)}\right)$ |

$x_K$, $x_L$; popülasyondaki farklı bireyleri; $x_{best}$, popülasyondaki en iyi bireyi; G, jenerasyonu; v, mutasyon vektörünü ve F, ölçekleme faktörünü ifade etmektedir.

Model parametreleri, K1 kodlu kumaşa ait yankısız oda ölçüm sonuçları kullanılarak optimize edilmiştir. K2, K3, K4, K5, K6 ve K7 kodlu kumaşların SE ölçüm sonuçlarının tamamı için bu model ve K1'e göre optimize edilen parametreler kullanılmıştır. Bir bakıma K1'in sonuçları eğitim verisi, diğer kumaşların sonuçları test verisi olarak kullanılmıştır.

Önerilen model, hem frekansın hem de ham ölçüm sonuçlarının üstel terimlerini ve bir sabit terimi içermektedir:

$$SE = P_0 + P_1 \cdot \exp(-P_2 \cdot f) + P_3 \cdot \exp(P_4 \cdot SE_{in}) + P_5 \cdot \exp(-P_6 \cdot f \cdot SE_{in}) \quad (3.3)$$

Yankısız oda ölçümleri hem dikey, hem de yatay polarizasyonlu yapıldığı için, model parametrelerinin bu iki durum için ayrı ayrı optimize edilmesi gerekmektedir.

Dikey polarizasyonlu yankısız oda ölçümü için optimize edilmiş parametreler:

$P_0$= 35,6 $P_1$= 26,3 $P_2$=0,873 s $P_3$= 6,25 $P_4$= -0,082 $P_5$= -48,46 $P_6$=0,689 s

(Optimizasyona ait RMSE=1,596)

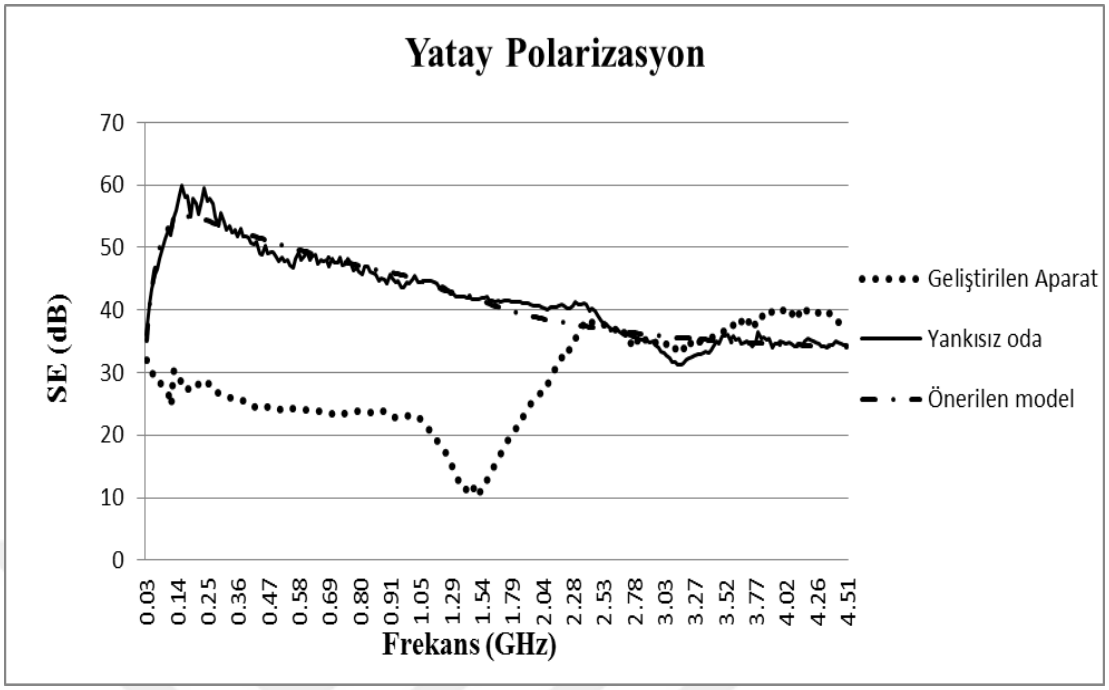
Yatay polarizasyonlu yankısız oda ölçümü için optimize edilmiş parametreler:

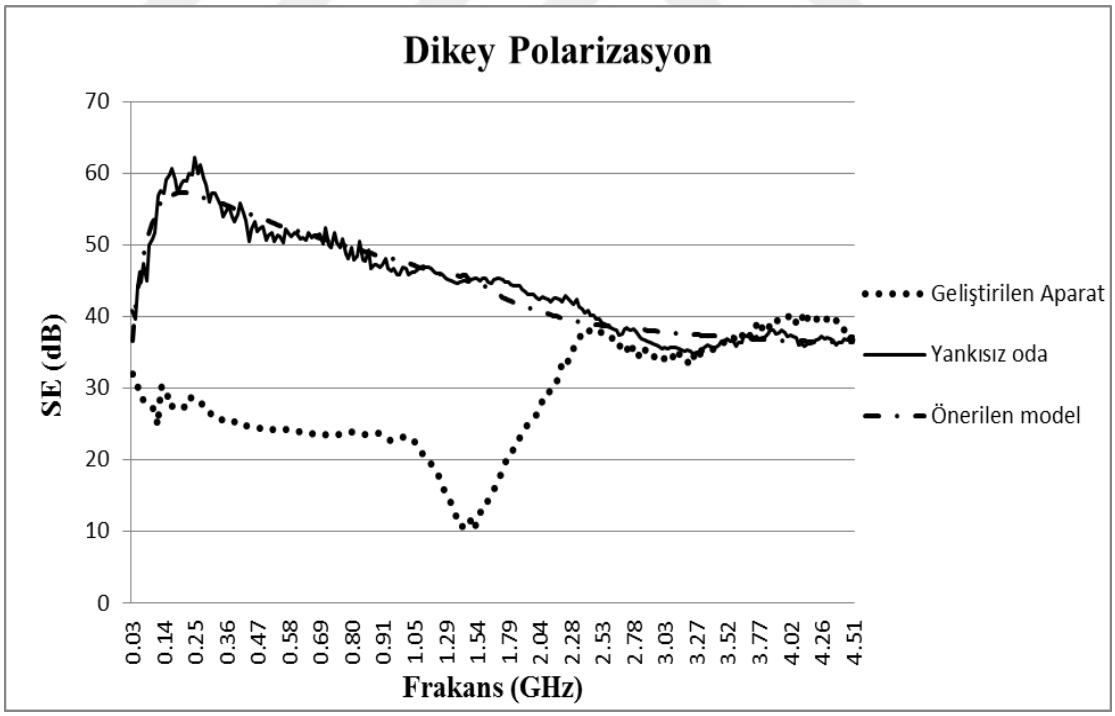
$P_0$= 33,34 $P_1$= 25,51 $P_2$=0,771 s $P_3$= 9,97 $P_4$= -0,269 $P_5$= -55,77 $P_6$=0,914 s

(Optimizasyona ait RMSE=1,662)

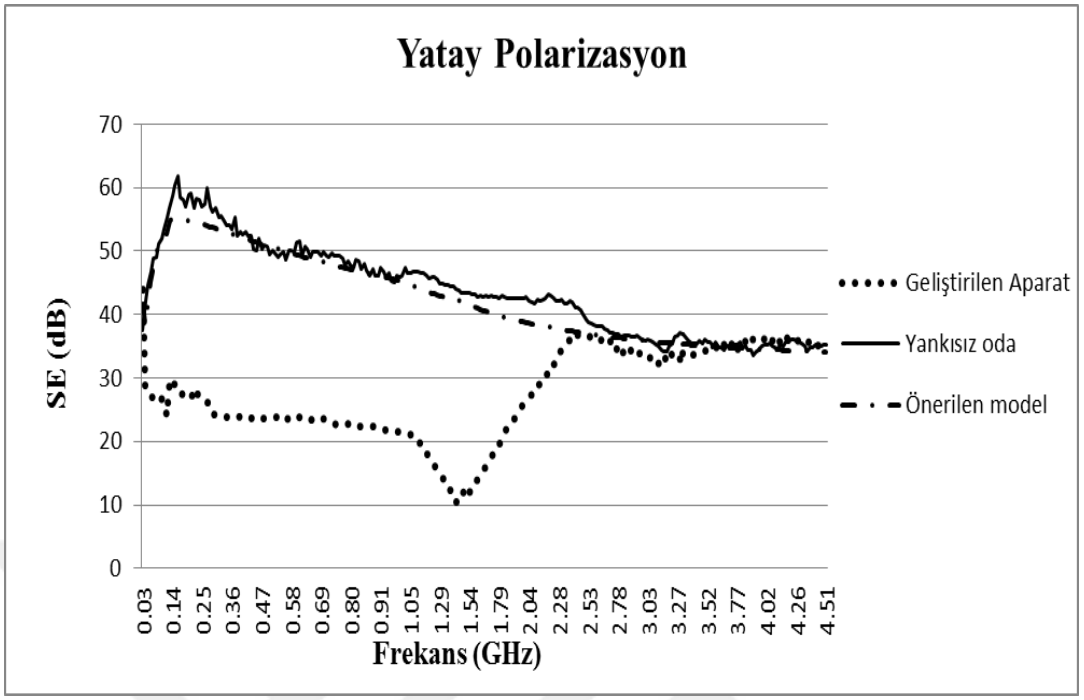
Yeni geliştirilen test aparatı ile gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçlarının, önerilen model sonrası benzetim sonuçları Şekil 3.18'den Şekil 3.24'e gösterilmiştir. Grafikte noktalı eğri (….), yeni geliştirilen test aparatının (alüminyum) ham ölçüm sonuçlarını gösterirken, düz çizgi (-) yankısız oda ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Model geliştirme ve optimizasyondaki amacımız; yeni geliştirilen test aparatı ölçüm sonuçlarının yankısız oda ölçüm sonuçlarına benzetimi için bir model oluşturmaktır. Geliştirilen modele bağlı olarak bulunan sonuçların (.-.-) yankısız oda sonuçları ile büyük oranda örtüştüğü Şekil 3.19-3.25'e görülmektedir.

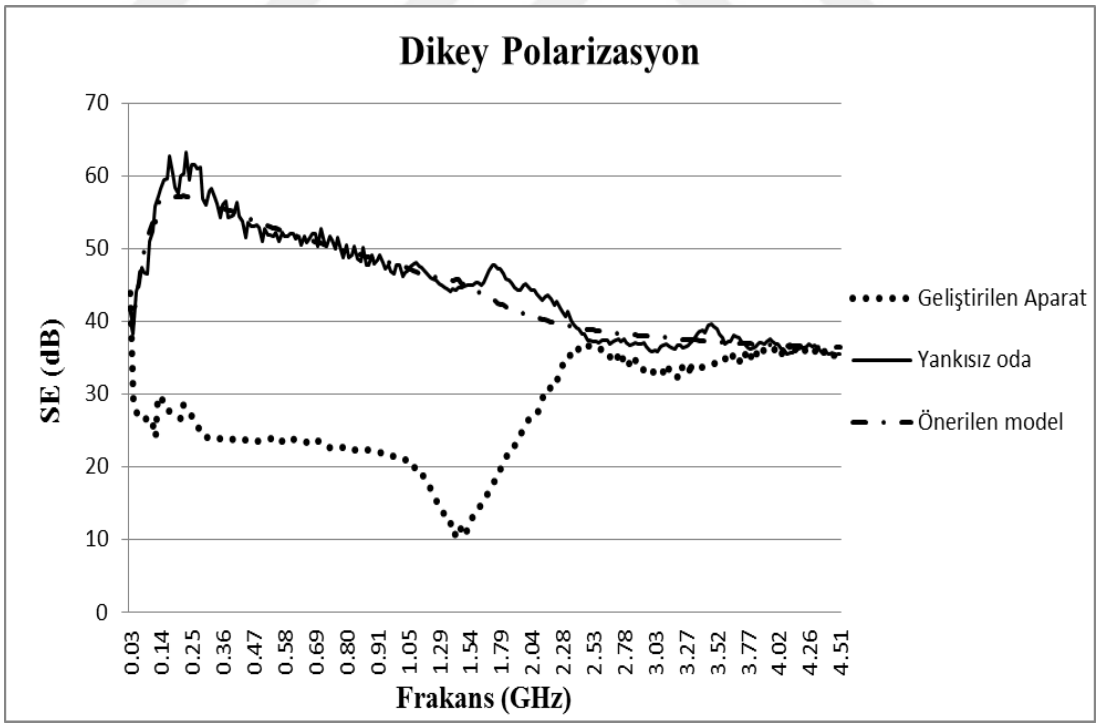
Şekillerin incelenmesinden görüleceği gibi, yaklaşık 2.2 GHz'den sonra, geliştirdiğimiz aparatın ölçüm sonuçları, yankısız oda sonuçları ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Buradan, aparatın yüksek frekans başarımının oldukça iyi olduğunu ve dolayısıyla herhangi bir düzeltmeye ihtiyacı olmadığını söyleyebiliriz. Ancak, RF alanlarına maruziyet açısından 2.2-5 GHz arası dar bir bölgedir ve yoğun olarak maruz kaldığımız GSM frekanslarını içermez. Bu bakımdan bu tez çalışmasında, düşük frekanslarda ölçüm sonuçlarını düzelten ancak 2.2 GHz üzerinde de ham ölçüm sonuçlarını etkilemeyen, yararlı ölçüm aralığını 30 MHz-5.25 GHz aralığına genişleten, doğrusal olmayan bir model önerilmiş ve parametreleri optimize edilmiştir.



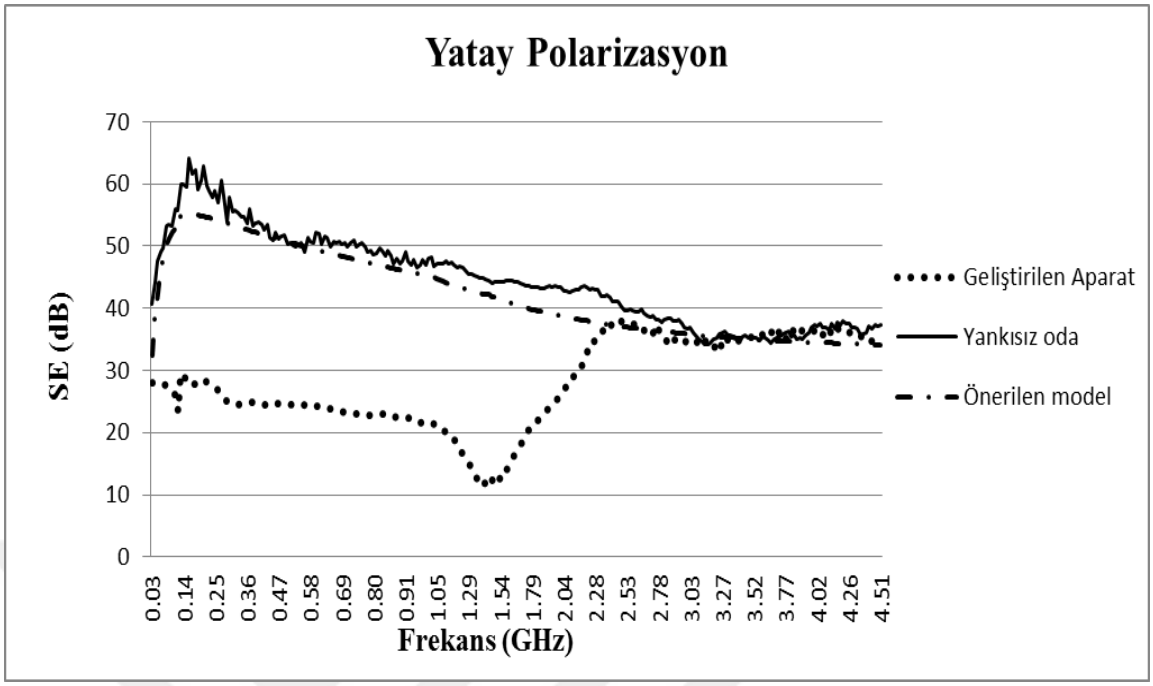



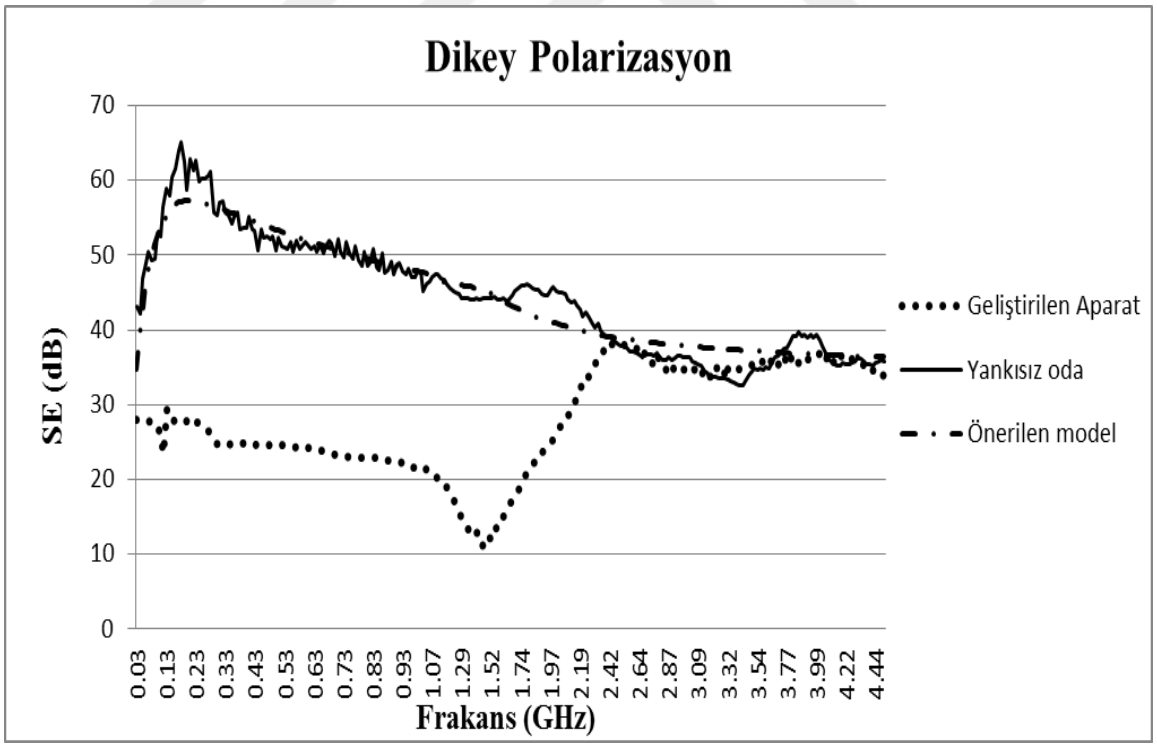

Şekil 3.19. K1 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri



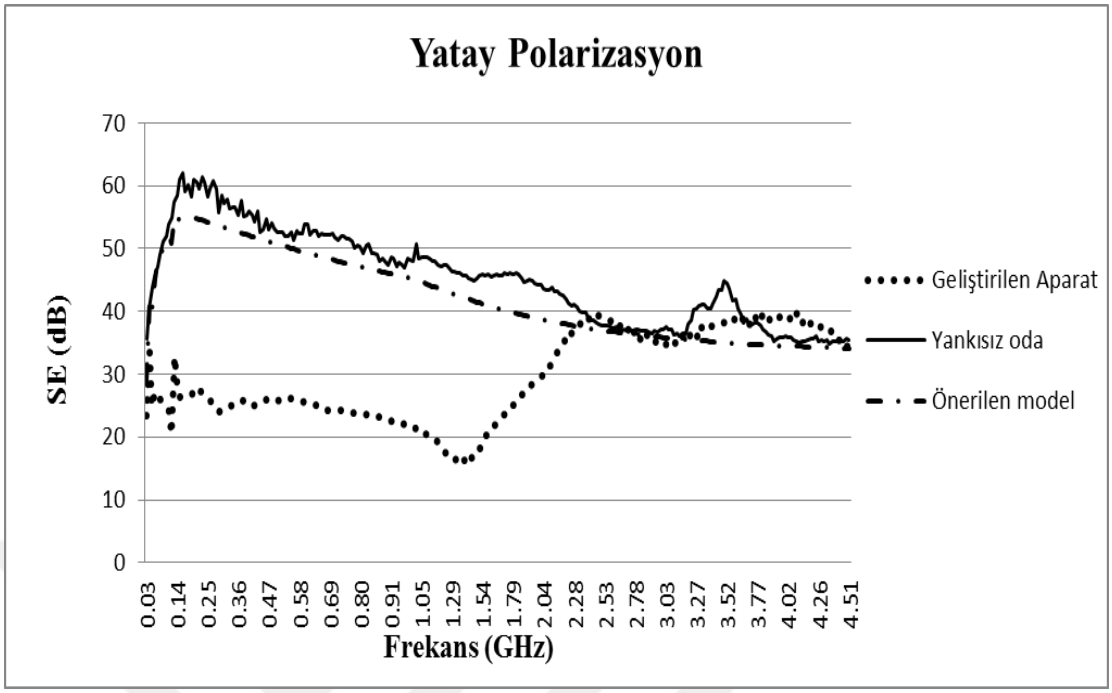



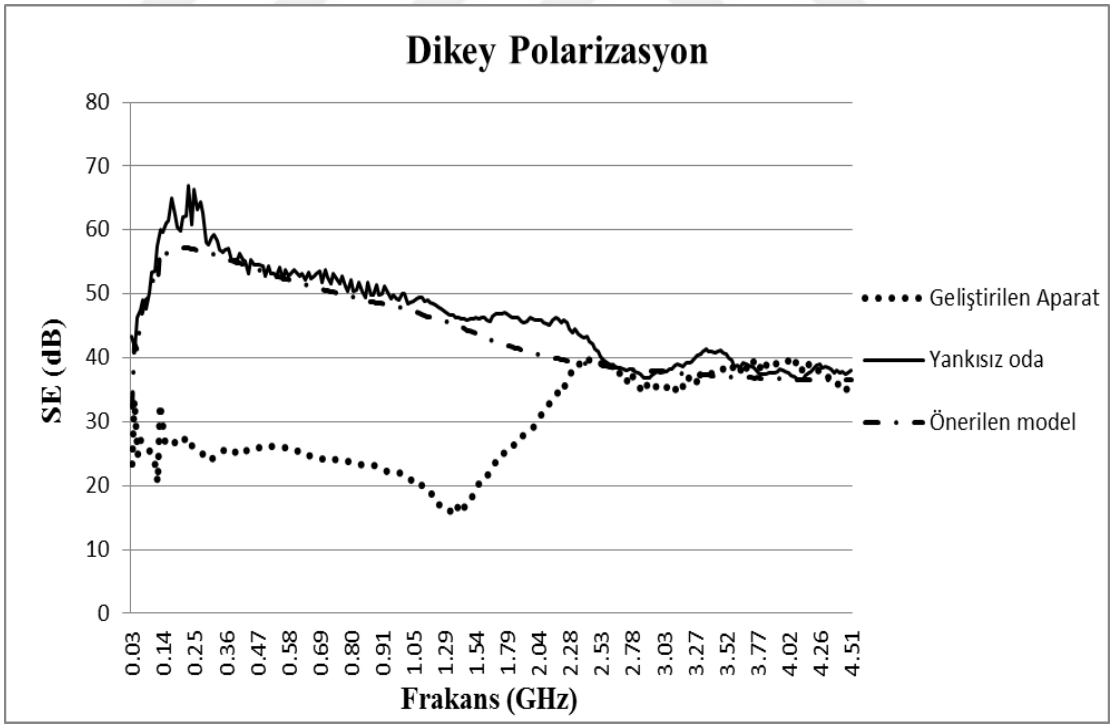

Şekil 3.20. K2 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri



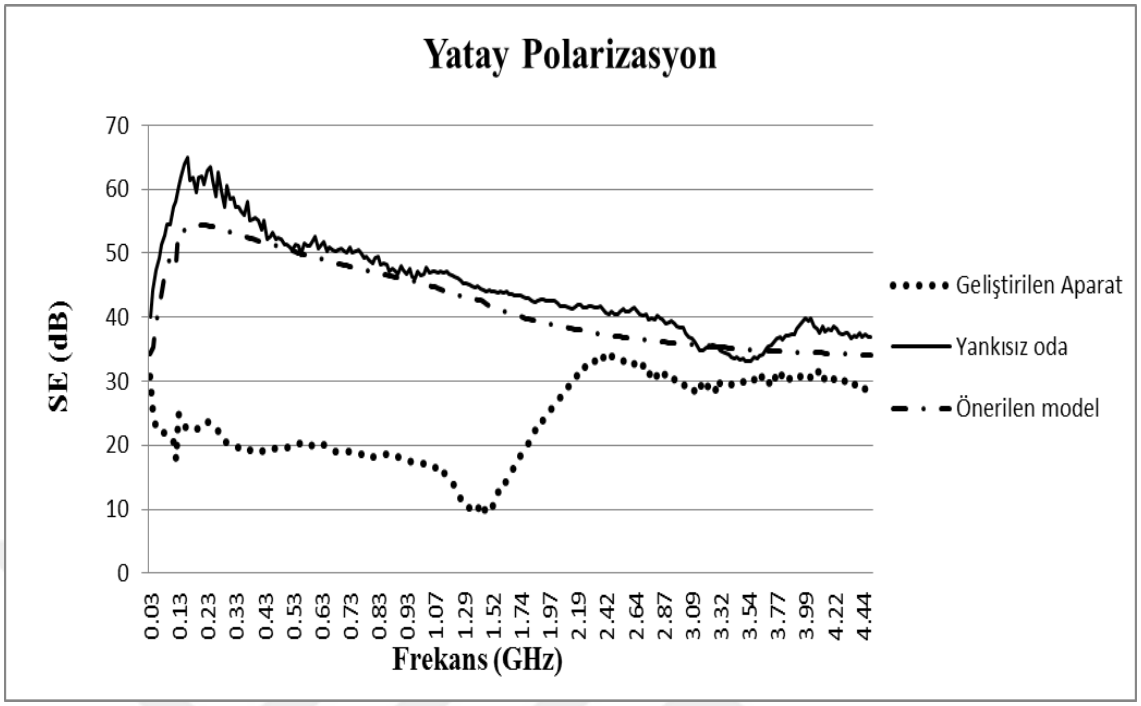



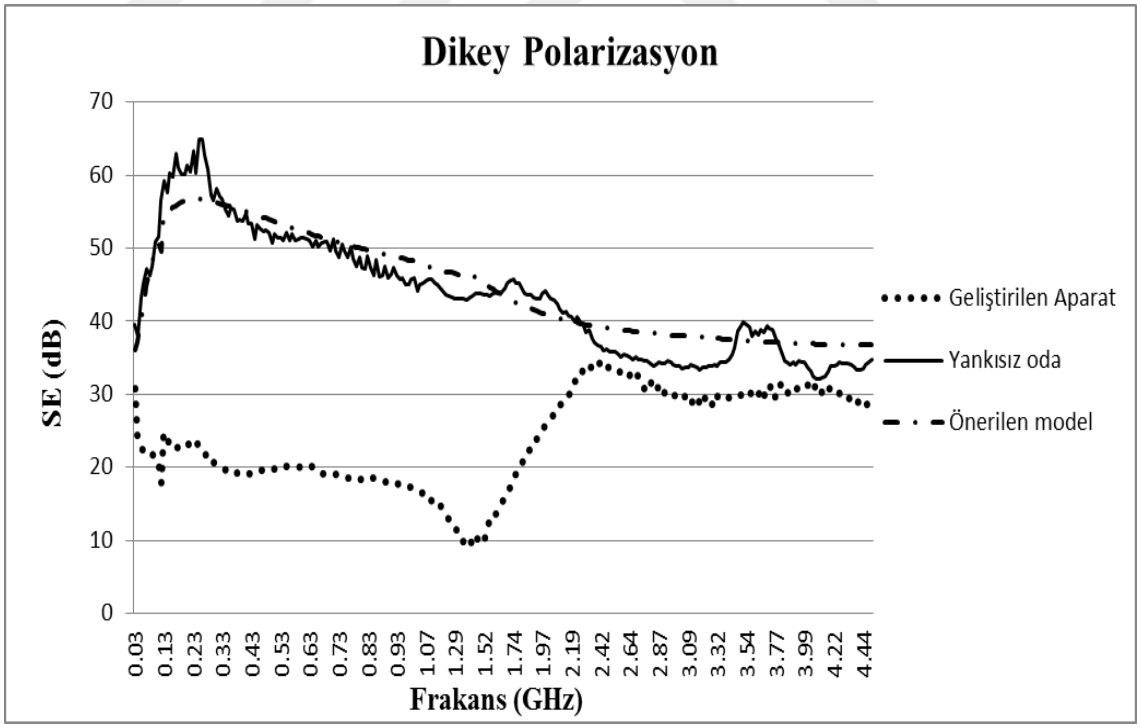

Şekil 3.21. K3 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri



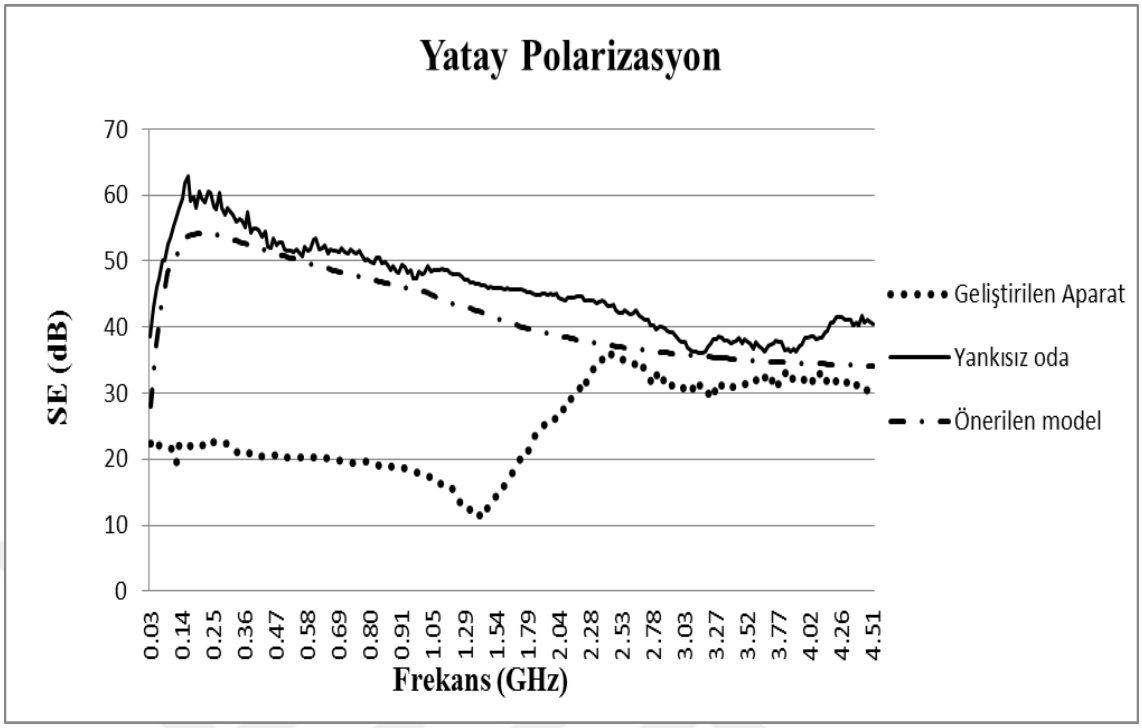



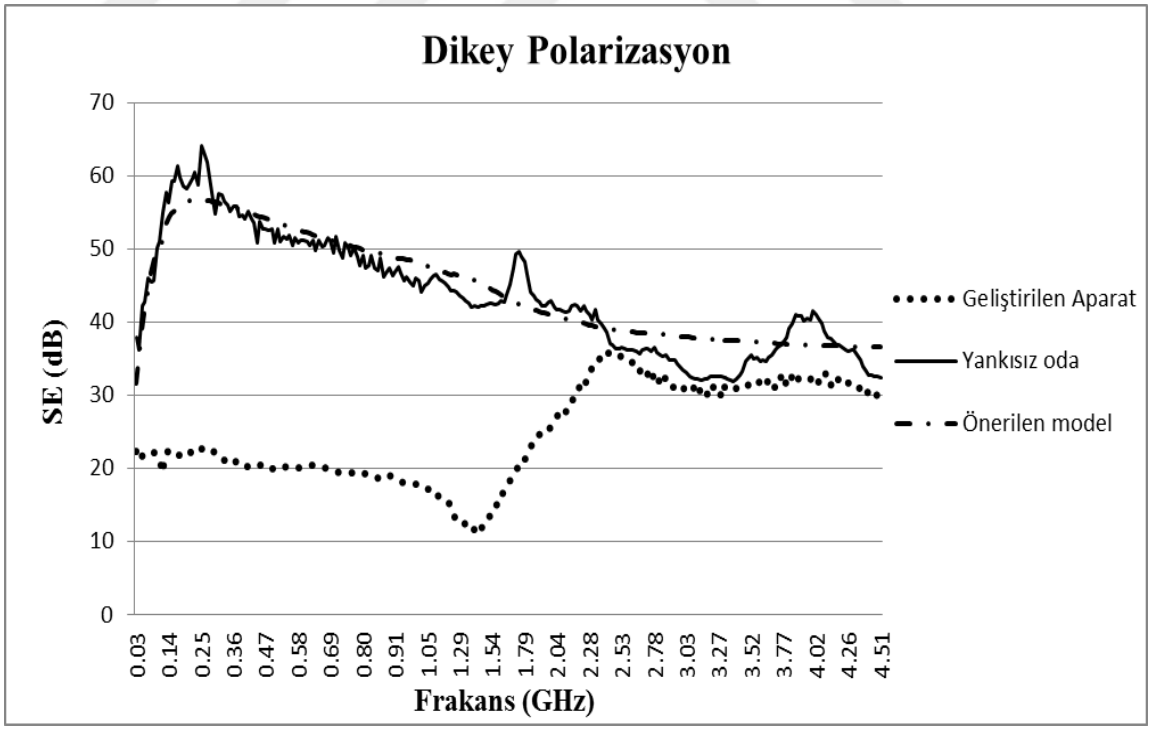

Şekil 3.22. K4 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri



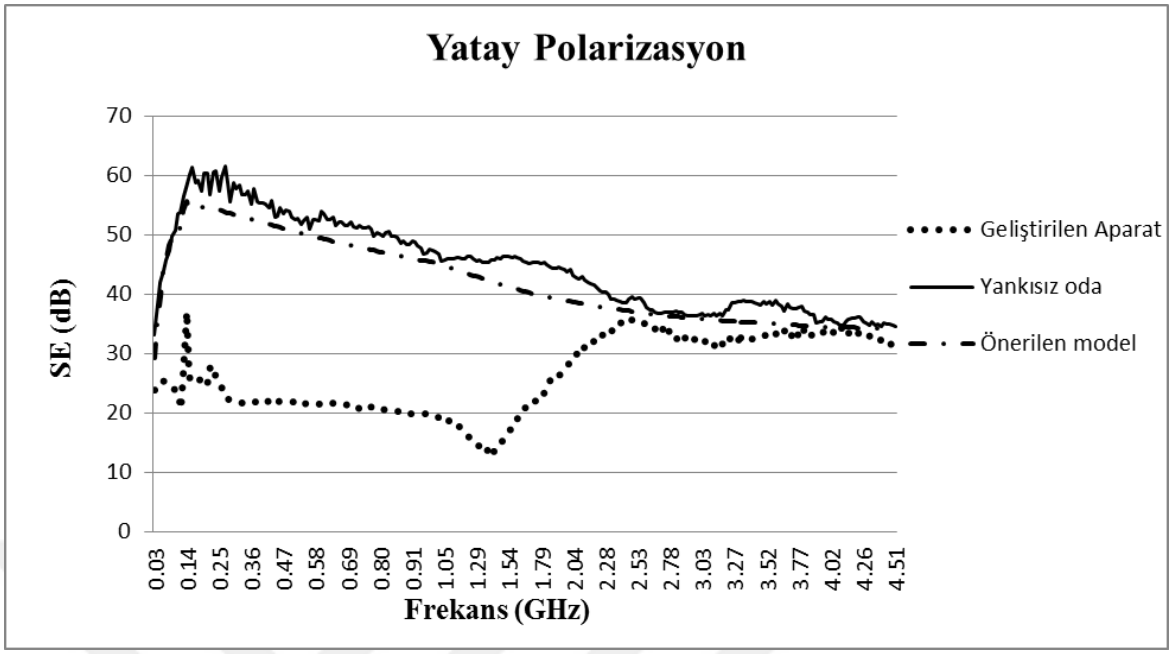



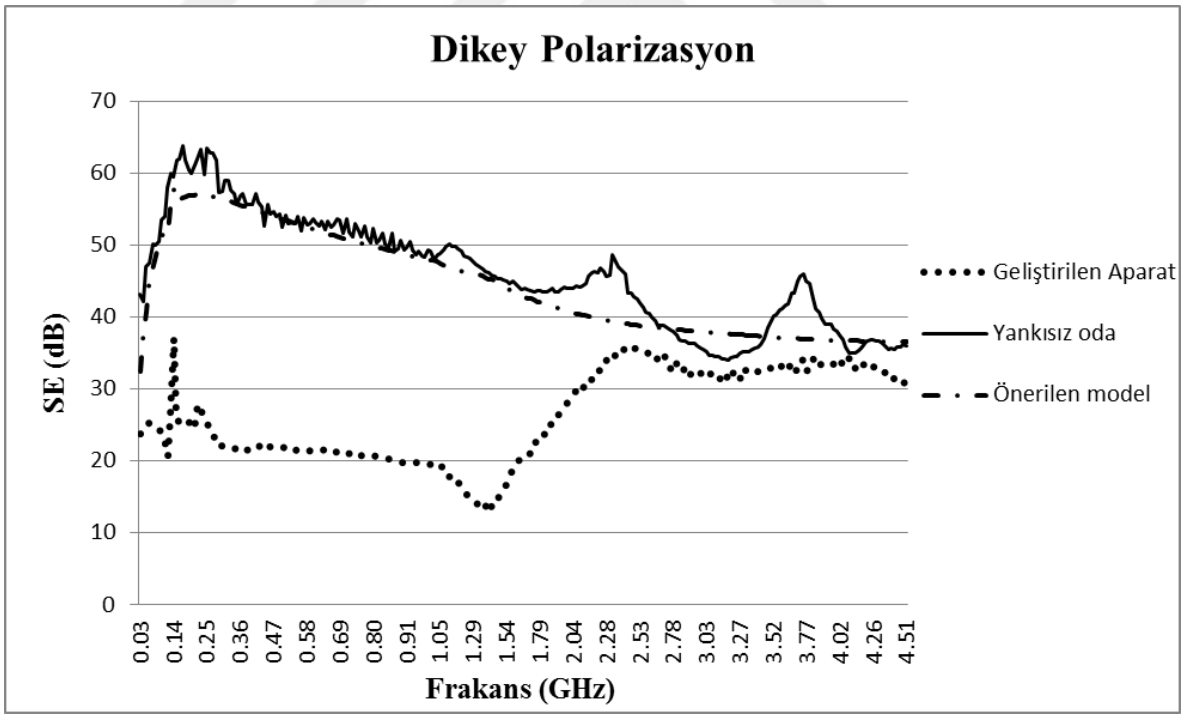

Şekil 3.23. K5 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri




Şekil 3.24. K6 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri




Şekil 3.25. K7 kodlu kumaşın yankısız oda ve yeni test aparatı ölçüm sonuçları ile model üzerinden elde edilen değerleri

# 4. BÖLÜM

# SONUÇLAR VE ÖNERİLER

## 4.1. Sonuçlar

Gelişen teknoloji ve refah düzeyindeki artış sonucu olarak günlük hayatımızda elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı ve bu cihazlardan yayılan elektromanyetik radyasyon miktarı artmıştır. Günümüzde, elektromanyetik alanın cihazlar ve insanlar üzerindeki olumsuz etkileri hakkındaki söylemler, endişe verici boyutlara ulaşmış bulunmaktadır. Artan sağlık ve çevre bilinci ile elektromanyetik radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için gerek ulusal gerekse uluslararası alanda yapılan bilimsel çalışmaların sayısı da sürekli artmaktadır.

Elektromanyetik radyasyondan korunmada başlıca yöntemlerden birisi ekranlamadır. Elektromanyetik ekranlama, elektromanyetik dalgalanın bir materyal tarafından soğrulması ve/veya yansıtılması ile dalganın içeri girmesine engel olunmasına denir. Günümüzde elektronik cihazların sosyal yaşamdaki rolünün artması ve yayınım kaynaklarındaki hızlı gelişim, elektromanyetik alanın insan ve cihazlar üzerindeki olumsuz etkilerinin giderilmesinde ekranlamayı stratejik açıdan önemli hale getirmiştir. Elektromanyetik ekranlama yeteneğine sahip tekstil materyalleri elektromanyetik alanların şiddetini azaltmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu materyallerin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin, ekranlama amacıyla yaygın olarak kullanılan klasik metal plakalarda olduğu gibi hesaplanması mümkün olmadığından, ölçülmesi gerekmektedir. Ekranlama amacıyla geliştirilen tekstil esaslı malzemelerin ekranlama etkinliği ölçümünde kullanılan birçok metot vardır. Ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları, test düzeneğinin geometrisine, frekans aralığına, numune boyutuna ve elektromanyetik radyasyon kaynağının parametrelerine bağlıdır.

Koaksiyel Tutucu Metodu, tekstil malzemelerinin SE ölçüm sonuçları için kontrollü test alanlarında gerçekleştirilen ölçüm metotlarından biridir. ASTM D 4935 standardına

dayanan bu metot, ölçüm tipleri içerisinde nispeten pratik yapısı nedeniyle birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır.

Tez çalışması üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşama, ASTM D 4935 standardına dayalı koaksiyel tutucunun ölçme hatalarını giderecek modelleme çalışmasıdır. Bu çalışma, Farksal Gelişim Algoritması kullanarak, geliştirilen model parametrelerinin optimizasyonuna dayanmaktadır. İkinci aşama, yine söz konusu standart esas alınan, ancak malzemesi değiştirilerek ve boyutları küçültülerek frekans üst sınırının yükseltilmesidir. Cihaz alüminyumdan üretilmiştir ve 44,3 mm'lik bir çapa sahiptir. Standardın orijinaline bağlı kalınarak üretilen cihazlar ile 10 MHz-2 GHz frekans aralığında ölçüm yapılabilirken, tasarladığımız cihaz ile 10 MHz-5.25 GHz frekans aralığında sağlıklı SE ölçümleri yapılabilmektedir. Ayrıca bu cihazın diğer bir avantajı da SE ölçümlerinde diğerlerine göre nispeten daha küçük boyutlu numunelerin kullanılmasına imkan vermesidir. Tez çalışmasının üçüncü aşaması, yeni geliştirilen ölçüm cihazının ölçüm hatalarının giderilmesi için yeni bir model önerilmiş, yine Farksal Gelişim Algoritması kullanarak bu modelin de parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Tezin birinci ve üçüncü aşamasında önerilen ve optimize edilen her iki model de, uluslararası bir standart olan yankısız oda ölçüm sonuçları ile mükemmel uyum sağlamıştır.

Elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin SE değerlerinin ölçümü yankısız oda metodu ile ülkemizde çeşitli özel ve kamu kuruluşlarında yapılabilmektedir. Ancak, bu şekilde yapılan ölçümler bu konuda çalışmalar yapan kişi ve kuruluşlar için zaman ve maliyet noktalarında büyük sorunlar çıkarmaktadır. Bir önemli sorun da, ekranlama özelliğine sahip tekstil veya diğer kompozit malzemelerin numune boyutlarının yeterince büyük üretilememesidir.

Tez çalışması sırasında geliştirilen cihazın, hafif, geniş frekans aralıklı, pratik kullanımlı ve hızlı ölçümlere imkan vermesi en çarpıcı yönleridir. Ancak, en önemli sorunu, söz konusu geniş frekans aralığı boyunca bazı frekans bölgelerinde beklenen davranıştan sapmasıdır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, bu sorunu da ortadan kaldırmak için, ekranlama etkinliği sonuçlarını doğrusal olmayan bir modelle düzelterek, standart ölçümlerle uyumlu hale getirilmesi sağlanmıştır. Benzetim için kullanılan modelin

parametreleri, farksal gelişim algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Model geliştirme ve optimizasyon için rasgele seçilmiş bir hibrit kumaşa ait standart ölçüm sonuçları kullanılmış ve diğer kumaşların standart ölçümleri, optimize edilmiş modelle test edilmiştir. Test sonuçlarının, standart ölçüm sonuçları ile mükemmel uyum sergilediği gözlenmiştir.

## 4.2. Öneriler

Proje kapsamında geliştirdiğimiz cihazın 5.25 GHz'e kadar makul ölçüm yapabildiği, özellikle küçük numune boyutlarında üretilen hibrit kumaş, kayıplı plastikler, polimer kağıtlar gibi zayıf performanslı malzemelerin ekranlama etkinliklerinin ölçülmesinde çok kullanışlı olabileceği görülmüştür. Piyasadaki eksiklik göz önüne alındığında elektromanyetik alana karşı koruyucu tekstillerin geliştirilmesi ile uğraşan kişi ve kuruluşların, ön değerlendirmelerde kullanabilecekleri bu ölçüm aparatına ilgi gösterecekleri düşünülmektedir.

Diğer bir öneri ise tez sonuçlarının endüstriyel uygulaması üzerinedir. Geliştirilen aparattan edinilen tecrübe ile ekranlama özelliği kazandırılmış kompozit tekstil ürünlerinin ekranlama etkinliği ölçümleri, son ürün üzerinden ve ürün rulo haline getirilmeden önce sürekli olarak ölçülebilir ve üründen numune almeya gerek kalmaksızın üretim anında ölçümler gerçekleştirilebilir.

# KAYNAKÇA


1. Sevgi, L., 2000, Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik, EMO**,** İstanbul, 273s.

2. Şeker, S., Çerezci, O., 2000. Radyasyon Kuşatması- Elektriğin Ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 350s.

3. Palamutçu S., Dağ N., 2009. Fonksiyonel tekstiller I : elektromanyetik ekranlama amaçlı tekstil yüzeyleri, **Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi**, **3**(1):87-101.

4. Su, C. I., Chern, J. T., 2004. Effect of stainless steel- containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness, **Textile Research Journal**, **74**(1):51-54.

5. Kılıç, G., Örtlek, H.G., Saraçoğlu, Ö.G., 2009. Elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin ekranlama etkinliği (SE) ölçüm yöntemleri, **Tekstil ve Mühendis**, **72,** 7-15.

6. Şeker, S., 2005. Tehlikeli Oyuncak, Kaya Matbaacılık, İstanbul, 158s.

7. Brauner, C., 1996. Electrosmog- A phantom risk., Swiss Reinsurance Company.

8. Elektromanyetik Dalgalar Ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları **www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf**, *(Erişim tarihi :Nisan 2010).*

9. Ersoy, M.S., Önder, E., 2008. Shielding textiles against electromagnetic radiation, **International Nonwoven Technical Textiles Technology Magazine,** 1.çeyrek, Sayı:18, 52-61.

10. Sarıkahya, N.M., 2014. Bir İşyerinde Elektromanyetik Alan Ölçümü Yapılması Ve Sonuçlarının İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş sağlığı ve güvenliği uzmanlık tezi, Ankara, 113s.

11. Kılıç, G., 2010. Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Özellikte Antistatik Örme Kumaşların Üretimi İçin Farklı Kompozit İpliklerin Geliştirilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 215s.

12. Kavas, A., 2002. Elektromanyetik kirlilik ve standartlar, İstanbul Sanayi Odası, Web sayfası: **www.iso.org.tr/tr/ documents/cevre/elektromanyetik%20 kirlilik%20rapor.pdf**, Erişim tarihi: Eylül 2008.

13. Aniolczyk, H., Koprowska, J., Mamrot, P., Lichawska, J., 2004. Application of electrically conductive textiles as electromagnetic shields in physiotherapy**, Fibres & Textiles in Eastern Europe**, **(12)**4:(48).

14. Ortlek,H.G., Saracoglu, Ö.G., Sarıtaş, O., Bilgin, S., 2012. Electromagnetic shielding characteristics of woven fabrics made of hybrid yarns containing metal wire, **Fibres and Polymers**, vol. 13(1), 63-67.

15. Tezel, S., Kavuşturan, Y., Vandenbosch, G. AE, Volski, V., 2014. Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques, **Textile Research Journal**, , vol. 84(5), pp. 461–476

16. Ünal, O., 2008. Yapı malzemesi ders notları, (**http://www.teknolojikarastirmalar. com/egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.html)**, Erişim tarihi: Eylül 2015.

17. Perumalraj, R., Nalankilli, G., Arunprasath, V. K., Dharmaraj, K., Adithya, S., & Dasaradan, B. S. (2010). Nanosilver finishing of composite materials for EMSE. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, **29**(18), 2753-2770.

18. Amarasekera J., 2005. Conductive plastics for electrical and electronic applications. **Reinforced Plastics**, **49**, 38–41.

19. Atlaş, S., 2006. İletken Özellikteki Metal İpliklerin Üretim Yöntemleri, **Tekstil&Teknik**, 162-176.

20. **http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/biliminsanlari/tubitakbilimodulleri/S-432-6.pdf**, Erişim tarihi: Ekim 2008.

21. Lee, C., Y., Song, H., G., Jang, K., S., Oh, E., J., Epstein, A., J., and Joo, J., 1999. Electromagnetic interference shielding efficiency of polyaniline mixtures and multilayer films, **Synthetic Metals, 102**, 1346-1349.

22. Yasufuku, S., 1990. Technical progress of EMI shielding materials in Japan, **IEEE Electrical Insulation Magazine**, **6:**(6), 21-30.

23. Lou, C.W., 2005. Process of Complex Core Spun Yarn Containing a Metal Wire, **Textile Research Journal**, **75:**(6), 466-473.

24. Cheng, K., B., Cheng, T., W., Lee, K., C., Ueng, T., H., Hsing, W., H., 2003. Effects of Yarn Constitutions and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, **Composites Part A:applied science and manufacturing, 34**, 971-978.

25. Chen, H., C., Lee, K., C., Lin, J., H., 2004. Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites, **Composites Part A:applied science and manufacturing**, **35**, 1249-1256.

26. Ueng, T., H., Cheng, K., B., 2001. Friction core-spun yarns for electrical properties of woven fabrics, **Composites Part A:applied science and manufacturing**, **32**, 1491-1496.

27. Örtlek, H.G., Saracoglu, Ö.G., Sarıtaş, Ö., 2010. TEMPEST Güvenliği için Tekstil Tabanlı Çözümler, 108-112. *Proceedings of 4th International Information Security & Cryptology Conference,* 6-8 mayıs, 2010. ISC Turkey, Ankara.

28. Pinar, A., Michalak, L., 2006. Influence of Structural Parameters of Wale-Knitted Fabrics on their Electrostatic Properties, **Fibres&Textiles in Eastern Europe**, Vol. 14, No. **5** (59), 69-74.

29. Saklakoğlu, N., Saklakoğlu, İ.E., 2004. Iyon İmplantasyonu Prosesinin Metalurjik Yapısı, Metalurji, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Yayınları, Sayı 138.

30. Goedbloed, J. J., 1992. Electromagnetic Compatibility, Prentice Hall International (UK) Ltd.

31. Sevgi, L., 2013. EMC ve korunma yöntemleri (I), **ETMD,** sayı (57):56-61

32. Więckowski, T. W., Janukiewicz J. M., 2006. Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles, **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, Vol. 14, No. 5:(59), 18-22.

33. Özsoy, S., 1998. Elektromanyetik Dalga Teorisi, Erciyes Üniversitesi Matbaası, Kayseri.

34. Roh, J., -S., Chi, Y., -S, Kang, T., J., Nam, S., -W., 2008. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics, **Textile Research Journal**, 78 (9), 825-835.

35. Janda, N., B., 2004. Development of a Predictive Shielding Effectiveness Model for Carbon Fiber/Nylon Based Composites, M.Sc. Thesis, Michigan Technological University.

36. David, V., Vremeră E., Sălceanu A., Nica I., Baltag O., 2007. On the Characterization of Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials, *15-th IMEKO TC 4 International Symposium on Novelties in Electrical Measurements and Instrumentation;* Vol. I, 73-78.

37. ASTM D4935-10, Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

38. Su, C. I., Chern T. T., 2004. Effect of Stainless Steel- Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness, **Textile Research Journal**, 74: (1), pg. 51.

39. Koprowska, J., Pietranik, M., Stawski, W., 2004. New Type of Textiles with Shielding Properties, **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, Vol. 12: (3), 39-42.

40. Chen, H.C., Lee, K.C., Lin, J.H., Koch, M., 2007. Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness Properties of Diverse Conductive Textiles via Various Measurement Techniques, **Journal of Materials Processing Technology**, 192:(193), 549–554.

41. Donohoe, J. P., Jun Xu, Pittman C.U., Jr., 2005. Variability of dual TEM cell shielding effectiveness measurements for vapor grown carbon nanofiber/vinyl ester composites, *Electromagnetic Compatibility, International Symposium*, Vol.1, 190-194.

42. IEEE-STD-299, 2006. IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, IEEE National Standards Institute.

43. Tekstile wire, (**www.textile-wire.ch)**, (Erişim tarihi: Mayıs 2009).

44. IEEE Std 299-1997, IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, IEEE, 21 April 1996.

45. IEEE Std. 1302-1998. IEEE Guide for the Electromagnetic Characterization of Conductive Gaskets in the Frequency Range of DC to 18 GHz, IEEE, Inc., 345 E 47th Street, New York, NY 10017.

46. Yu, Z., Zhang, J., Lou, C., He, H., Chen, A., Lin, J., 2015, Determination of electromagnetic shielding and antibacterial properties of multifunctional warpknitted fabrics, **The Journal of The Textile Institute**, **106**:(11), 1203-1211.

47. Edgar Hund, 1989. Microwave Communications: components and circuits, McGrawHill Book Company, New York; Toronto ss: 332.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : E. Seza TÜRKSOY

Uyruğu : Türkiye (T.C.)

Doğum Yeri : Kayseri

Doğum Tarihi : 21.01.1978

Medeni Durumu : Evli

Adres : Karayolları 6. Bölge Müdürlüğü Osman Kavuncu Mah. Fırat Cad. No:2 Melikgazi/KAYSERİ

E-Mail : esturksoy@kgm.gov.tr

## EĞİTİM

| Derece | Kurum | Mezuniyet Tarihi |
|---|---|---|
| **Tezli Yüksek Lisans:** | Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü | 2003 |
| **Lisans:** | Erciyes Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü | 2000 |
| **Lise:** | TED Kayseri Koleji | 1995 |

## YABANCI DİL

İngilizce