

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
EL SANATLARI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI
DOKUMA - ÖRGÜ EĞİTİMİ BİLİM DALI

İLETKEN FİLAMENTLİ İPLİKLERDEN FARKLI YAPISAL
ÖZELLİKLİ DOKUMA KUMAŞLARIN ELEKTROMANYETİK
KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Veysel GÖRAL

Ankara
Ocak, 2014

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
EL SANATLARI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI
DOKUMA - ÖRGÜ EĞİTİMİ BİLİM DALI

İLETKEN FİLAMANTLI İPLİKLERDEN FARKLI YAPISAL
ÖZELLİKLİ DOKUMA KUMAŞLARIN ELEKTROMANYETİK
KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel GÖRAL

Danışman: Prof. Dr. Halide SARIOĞLU

**Ankara
Ocak, 2014**

JÜRİ ONAY SAYFASI

Veysel GÖRAL'ın "İletken Filamentli İpliklerden Farklı Yapısal Özellikli Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı tezi 28 Ocak 2014 tarihinde, jürimiz tarafından El Sanatları Eğitimi Ana Bilim Dalı, Dokuma - Örgü Eğitimi Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Adı - Soyadı**İmza**

Başkan: Prof. Dr. Zahide İMER

.....

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Halide SARIOĞLU

.....

Üye : Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

.....

ÖNSÖZ

Günümüz teknoloji çağının getirdiği yenilik ve kolaylıklar insanları cezbetmekte evlerde, iş yerlerinde sürekli iç içe olduğumuz hatta üzerimizde taşıdığımız bazı cihaz ve teknolojilerin günlük hayatta neredeyse kullanılmamaları imkansız olarak görülmektedir. Dolayısıyla, günlük yaşantımızda kullandığımız sistem ve cihazların etrafında bir elektromanyetik alan (EMA) yaratarak elektromanyetik kirlilik meydana getirdiği bilinmektedir. Bu çalışmada elektromanyetik (EM) dalga maruziyetini en aza indirmek açısından bu tür cihazların çalışma frekansları da dikkate alınarak EM kalkanlama sağlayabilecek koruyucu teknik tekstiller olarak farklı uygulama alanlarında kullanılacak dokuma kumaşlar üretilmiştir.

Bu tez çalışmasında başından itibaren her konuda destek ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım PROF. DR. Halide SARIOĞLU'na, iletken kompozit ipliklerin üretim aşamalarında çalışmaya destek sağlayan Bursa-Korteks Mensucat San. Ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Sn. Necat ALTIN'a, Ar-Ge Müdürü Sn. Mutlu SEZEN'e ve Ar-Ge Mühendisi Sn. Onur ÇELEN'e, kumaşların üretimi aşamasında her türlü fedakârlığı gösteren Bursa-Zorluteks Tekstil A.Ş. Fabrika Müdürü Sn. Mutlu ZIVALI'ya, Ür-Ge Şefi Sn. Nesrin KATRAĞ'a ve Kalite-Kontrol Sorumlusu Sn. Olcay TOK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, kumaşların EMSE ölçümlerinde destek veren TÜBİTAK UME Enstitü Müdürü (V.) Dr. Fatih ÜSTÜNER'e, Enstitü Teknik Müdür Yardımcısı (V.) Dr. Mustafa ÇETİNTAŞ'a, Stratejik Planlama ve İş Geliştirme Biriminde görev yapan Uzman Sn. Hüseyin KAYA'ya, Elektromanyetik Grubu Laboratuvarı çalışanlarından Sn. Coşkun COŞAR'a, Sn. Sefa OGAN'a, Sn. Fatih BULUT'a, Sn. Aykut AYAYDIN'a, Sn. Cihan GÜNÜÇENER'e katkılarından dolayı ayrı ayrı teşekkür ederim. Ön araştırmalarda ve ölçümlerde yardımcı olan ELDAŞ A.Ş. Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarı Müdürü Sn. Ahmet ÖZCAN'a, EMC Laboratuvarından Sn. Alaaddin COŞKUN'a, Sn. Mustafa PINARBAŞI'na ve Sn. Edip KORKMAZ'a teşekkür ederim. Tezimin başından sonuna dek sabırla, maddi ve manevi desteklerinden ötürü AİLEME teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimince 08/2012-03 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim.

Veysel GÖRAL

ÖZET

İLETKEN FİLAMENTLİ İPLİKLERDEN FARKLI YAPISAL ÖZELLİKLİ DOKUMA KUMAŞLARIN ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

GÖRAL, Veysel

Yüksek Lisans, Dokuma - Örgü Eğitimi Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halide SARIOĞLU

Ocak - 2014, 163 sayfa

Bu çalışmanın amacı, farklı iletken filamentler (paslanmaz çelik, emaye kaplı bakır) kullanılarak üretilen dokuma kumaşlarda iletken çeşidi, iletken iplik kullanım miktarı ve kumaş örgü yapısı değişkenlerinin elektromanyetik kalkanlama özelliğine etkisini belirlemektir. Araştırmada öncelikle, iletken olarak alınan paslanmaz çelik ve emaye kaplı bakır filament, % 100 polyester ipliklerle katlanıp bükülerek iletken kompozit iplikler üretilmiştir. Çelik ve bakır kompozit iplikler %100 polyester ipliklerle birlikte atkı ve çözüde değişik varyasyonlarda (farklı örgü yapıları, atkıdan farklı sıklık ve iletken iplik kullanım miktarları) kullanılarak dokuma kumaşlar üretilmiş ve bu kumaşların elektromanyetik kalkanlama özellikleri incelenmiştir. Araştırma materyalini, 35 mikron (μ) çapında bakır filament ve paslanmaz çelik filamentlerden üretilen kompozit ipliklerle dokunan bez ayağı, çapraz atkı sateni, alt atkı takviyeli çapraz atkı sateni ve üst atkı takviyeli dokuma olmak üzere, elektromanyetik koruma sağlayan dokuma kumaşlar oluşturmuştur. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EMSE) ölçümleri, Gebze’de bulunan TÜBİTAK UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü)’nin EMC Laboratuvarında, araştırmanın amaçlarına uygun cihazlarla Yankısız Oda Test Metodu ile IEEE-STD-299: 2006 “Ekranlama Etkinliği Ölçümü” standardına göre test edilmiştir. EMSE ölçümleri 10 MHz – 3 GHz frekans aralığında, 12 numune üzerinde yatay ve dikey polarizasyonlarda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan frekans aralığının ayrıntılı olarak taranmasıyla EMSE testleri sonucunda elde edilen veriler, "Originpro 6.1" grafik programında grafikler halinde çizilmiştir. Veriler, iletken iplik çeşidi, iletken iplik kullanım miktarı ve kumaş örgü yapısı açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilerek EMSE’ye etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. EMSE ölçümlerinde iletken iplik çeşidinin, kullanım miktarının ve kumaş örgü yapısının EMSE değerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Ayrıca, yatay polarizasyona göre dikey polarizasyon EMSE değerlerinin daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik kalkanlama etkinliği, dokuma kumaş, iletken filament, Çelik/PES kompozit iplik, Bakır/PES kompozit iplik

ABSTRACT**A STUDY INTO THE ELECTROMAGNETIC SHIELDING
CHARACTERISTICS OF WOVEN FABRICS WITH A DIFFERENT
STRUCTURAL FEATURE FROM CONDUCTIVE FILAMENT THREADS**

GÖRAL, Veysel

Master, Department of Weaving and Knitting
Supervisor of thesis: Prof. Dr. Halide SARIOĞLU
January - 2014, 163 pages

The purpose of this study was to determine the effect of the variables of the type of conductive, the amount of the conductive thread used and the knitting structure of the fabric in the woven clothes produced using different conductive filaments (stainless steel, enameled copper) on the characteristic of electromagnetic shielding. In the research, primarily conductive composite threads were produced by folding and bending conductive stainless steel and enameled copper filaments with 100% polyester threads. Steel and copper composite threads were used as wefts and warps with 100% polyester threads in different variations (different woven structures, different close and conductive thread uses) and woven fabrics were produced, and the electromagnetic shielding features were examined. The material of the research was made up of woven fabrics providing an electromagnetic protection as bezayağı (plain weave), cross weft satin, cross weft satin with a reverse weft assist and with a front weft assist that were all woven with composite threads produced out of copper and stainless steel filaments with a radius of 35 micron (μ). The measurements of electromagnetic shielding effectiveness (EMSE) were tested in the laboratory of TUBITAK UME (Turkish Agency of Scientific and Technological Researches, National Metrology Institute) in Gebze with the devices suitable for the purposes of the research depending on the standard of IEEE-STD-2999: 2006 "Measurement of Shielding Effectiveness". EMSE measurements were performed over 12 samples in horizontal and vertical polarization with a frequency range of 10 MHz – 3 GHz. With a detailed scanning of the frequency ranges, the data obtained from the EMSE test results were drawn in graphics in the graphics program of "Originpro 6.1". The data were determined by analyzing through the EMSE effect comparatively in terms of the type of conductive thread, the amount of the thread used and weaving structure of the fabric. It was found that the type of conductive thread, the amount of the thread used weaving structure of the fabric had a significant effect on the EMSE value

in EMSE measurements. It was also found that vertical polarization EMSE values were high compared to horizontal polarization.

Keywords: Electromagnetic shielding effectiveness, woven cloth, conductive filament, Steel/PES composite thread, Copper/PES composite thread

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
JÜRİ ONAY SAYFASI	i
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xv
BÖLÜM	
I. GİRİŞ	1
Problem Durumu	1
Araştırmanın Amacı	7
Araştırmanın Önemi	7
Araştırmanın Sınırlılıkları	8
Varsayımlar	8
Tanımlar	8
II. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	9
Elektromanyetik Radyasyon	9
Radyasyonun Tanımı ve Sınıflandırılması	9
Elektromanyetik Radyasyon Kaynakları	11
Doğal EM Kaynaklar	11
Yapay EM Kaynaklar	11
Elektriksel Alanlar	13
Elektrik Alan	13
Manyetik Alan	15
Elektromanyetik Alan	16

Elektromanyetik Alan Teorisi (Maxwell Denklemleri)	17
Elektromanyetik Dalgalar ve Özellikleri	19
Elektromanyetik Dalgaların Yayılımı	21
Yansıma, Kırılma ve Kırınım	22
Elektromanyetik Spektrum	23
Radyo Frekans Dalgaları (RF: $10^4 - 10^9$ Hz) ve Mikrodalgalar (MW: $10^8 - 10^{12}$ Hz)	25
Elektromanyetik Girişim (EMI)	27
İletkenlik Yollu Yayınım (CE)	29
Işınım Yollu Yayınım (RE)	29
Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)	30
Elektromanyetik Kalkanlama Teorisi	33
Kalkanlama Nedir?	33
Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMSE) Nedir?	34
Frekansa Bağlı Olarak Kalkanlama Etkinliği Bölgeleri	38
Elektromanyetik Kalkanlamada Kullanılan Malzemeler	41
Faraday Kafesi (Korumalı Oda) ve İşleyişi	43
EMSE Ölçüm Metotları ve İlgili Standartlar	45
Elektromanyetik Alanların Sağlığa Etkileri ve Maruziyet Sınırları	50
Metallerde Elektriksel İletkenlik	57
Tekstillerde Elektriksel İletkenlik (Koruyucu İletken Tekstiller)	60
İletken Tekstillerin Tanımı ve Kullanım Alanları	60
Elektrik Akımını İleten Lif/Tel Çeşitleri ve Özellikleri	63
Paslanmaz Çelik Tel ve Alaşımları	64
Bakır Tel ve Alaşımları	67
İletken İplik ve Kumaş Elde Edilmesi	68
İlgili Araştırmalar	72
III. YÖNTEM	81
Araştırmanın Modeli	81
Araştırma Materyali	81
İletken Filamentli Kompozit İpliklerin Üretimi ve Özellikleri	81
Dokuma Kumaş Numunelerinin Üretimi ve Özellikleri	85
Veri Toplama Araçları ve Verilerin Toplanması	89

EMSE Ölçümlerinde Kullanılan Araçlar	89
EMSE Testinin Uygulanışı	91
Verilerin Analizi	95
IV. BULGULAR VE YORUM	98
10 MHz - 3 GHz Frekans Aralığında Yapılan EMSE Ölçüm Sonuçları	98
EMSE “dB” Değerlerine İlişkin Verilerin Başlıca Frekans Bandlarına Göre Geçerli Kalkanlama Etkinlik Düzeyleri	100
İletken Filament Çeşidinin EMSE’ye Etkisine İlişkin Bulgular	111
İletken Filament Çeşidinin EMSE’ye Etkisine İlişkin Yorumlar	124
İletken İplik Kullanım Miktarının EMSE’ye Etkisine İlişkin Bulgular	125
İletken İplik Kullanım Miktarının EMSE’ye Etkisine İlişkin Yorumlar	138
Kumaş Örgü Yapısının EMSE’ye Etkisine İlişkin Bulgular	139
Kumaş Örgü Yapısının EMSE’ye Etkisine İlişkin Yorumlar	147
V. SONUÇ VE ÖNERİLER	150
Sonuç	150
Öneriler	152
KAYNAKÇA.....	155

TABLOLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Elektromanyetik alan oluşturan bazı yapay kaynaklarca kullanılan yayın frekansları	12
Tablo 2. EM büyüklükler ve birimler	14
Tablo 3. Elektromanyetizmanın temel yasaları ve maxwell denklemleri	18
Tablo 4. Elektromanyetik frekans aralıkları	24
Tablo 5. SE ve % azalma değerleri	40
Tablo 6. Elektromanyetik koruma etkinliği	40
Tablo 7. Tipik ekranlama değerleri	40
Tablo 8. Elektromanyetik spektrum, tipik kaynaklar ve sağlığa yönelik bilinen etkileri	50
Tablo 9. Elektrikli cihazların değişik uzaklıklardaki manyetik alanları	54
Tablo 10. 2010 limit değerler (ICNIRP - 50 Hz için)	55
Tablo 11. Çeşitli metallerin bağlı iletkenlikleri (bakıra göre) ve manyetik geçirgenlikleri.....	64
Tablo 12. Bazı metallerin mekanik özellikleri	65
Tablo 13. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kimyasal kompozisyonu	66
Tablo 14. Bazı demir dışı metallerin çelikler ile karşılaştırılması	67
Tablo 15. Kompozit ipliklerin üretiminde kullanılan iletken filamentlerin ve polyester ipliklerin özellikleri	84
Tablo 16. Atkı ve çözüde kullanılan kompozit iplik bileşenleri	84
Tablo 17. Üretilen iletken kompozit ipliklerin özellikleri	84
Tablo 18. EMSE ölçümlerinde kullanılan çelik ve bakır kumaşlara ait teknik bilgiler	86
Tablo 19. EMSE ölçümlerinde kullanılan ölçüm araçları	90
Tablo 20. Dokuma kumaşların dikey polarizasyonda EMSE (dB) değerleri	98
Tablo 21. Dokuma kumaşların yatay polarizasyonda EMSE (dB) değerleri	99
Tablo 22. BÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	100
Tablo 23. BB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	101
Tablo 24. BB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	102

Tablo 25. ÇÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	103
Tablo 26. ÇB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	104
Tablo 27. ÇB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	105
Tablo 28. AÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	106
Tablo 29. AB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	107
Tablo 30. AB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi.....	108
Tablo 31. ÜÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	109
Tablo 32. ÜB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi.....	110
Tablo 33. ÜB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi	111

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Farklı frekansların kapsama alanları	2
Şekil 2. Elektromanyetik dalga kaynakları	11
Şekil 3. Elektrik alan vektör çizgileri	14
Şekil 4. Manyetik alan çizgileri	15
Şekil 5. Sürekli kullanılan bazı cihazlardan yayılan elektrik ve manyetik alan değerleri	16
Şekil 6. Tipik bir havai iletim hattı tarafından üretilen manyetik ve elektrik alan çizgileri	17
Şekil 7. Elektromanyetik dalganın kutuplanmış halde anlık görünümü	20
Şekil 8. Elektromanyetik dalga bileşenleri	20
Şekil 9. Yerden 15 m yükseklikte bir baz istasyonu anteninin neden olduğu dalgaların yayılması	21
Şekil 10. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar	23
Şekil 11. Radyo frekans dalgalar - Dalga boyu bandı	26
Şekil 12. Mikrodalgalar - Dalga boyu bandı	26
Şekil 13. Mikrodalga fırın	27
Şekil 14. EM girişim kaynakları	28
Şekil 15. Tipik EMC / EMI problemleri	29
Şekil 16. İletkenlik yoluyla EM girişim	29
Şekil 17. Işıma yoluyla EM girişim	30
Şekil 18. Elektrik (çizgisel) ve manyetik (halka) dipoller ve tipik ışımaları	31
Şekil 19. Elektrik ve manyetik dipollerin mesafeyle ışıma dirençlerinin değişimi	32
Şekil 20. Ekranlama etkinliğinin tanımı	34
Şekil 21. Elektrik ve manyetik dipoller için ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi	35
Şekil 22. Günümüzde kullanılan tek ve çift ekranlı tipik kablolar, (üstte) sadece elektriksel ekranlama, (altta) elektriksel ve manyetik ekranlama	36
Şekil 23. Kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri	36
Şekil 24. Elektrik ve manyetik alanın malzemelerden geçişi	41
Şekil 25. EM korumalı hamile elbisesi ve cibinlik	42

Şekil 26. Yarı yansız odanın içten görünümü, sünger esaslı EM dalga yutucu malzeme	44
Şekil 27. Korumalı bir mahfazanın kullanımı (a) içeriden yayılan emisyonları önlemek (b) dışarıdan yayılan emisyonları dışlamak için korumalı oda	44
Şekil 28. ASTM D4935-99 test yöntemi kesit görüntüleri ve ölçüm aşamaları	46
Şekil 29. ASTM D4935-99 koaksiyel EMI SE test cihazı	46
Şekil 30. MIL-STD-285 standardı, zayıflatma ölçüm düzeneği kurulumu	47
Şekil 31. Manyetik alan (elektrik alanı) ölçmesi için deney düzeneği	49
Şekil 32. Düzlem dalga ölçmeleri için deney düzeneği (30 MHz - 40 GHz).....	49
Şekil 33. Ülkelere göre yüksek gerilim hatlarına ilişkin ELF frekanslı EMA için çıkarılan yönetmelik tarihleri ve manyetik alan sınır değerleri	56
Şekil 34. Yalıtkan, yarı-iletken ve iletken maddelerde bant aralığının şematik gösterimi	58
Şekil 35. A kesit alanında bir metal tel numuneye uygulanan potansiyel farkı	59
Şekil 36. Malzemelerin elektriksel iletkenlik değerleri	60
Şekil 37. Bazı metallere ait çekme eğrileri	65
Şekil 38. AISI 316 L Paslanmaz çelik tel SEM görüntüsü	66
Şekil 39. Ring iplik eğirme sisteminde iletken özlü ipliklerin üretilmesi	69
Şekil 40. a) Yanyana ve manto-öz bikomponent iplik üretim prensibi b) Bikomponent ipliklerin farklı kesit alanlardaki biçimleri	70
Şekil 41. İplik büküm (gipe) makinesinin yandan ve önden görünüşü	82
Şekil 42. Pozzi fikse makinesi	83
Şekil 43. İletken filamentli kompozit iplik bobinleri	83
Şekil 44. Bakır filamente ait kesit görüntüsü (880X)	84
Şekil 45. Çelik/PES ve Bakır/PES kompozit ipliklerin boyuna görüntüleri (44X)	85
Şekil 46. 16 bobin kapasiteli numune çözgü makinesinin şematik gösterimi	85
Şekil 47. Basit yapılı dokuma örgüleri	87
Şekil 48. Atkı takviyeli dokuma örgüleri	87
Şekil 49. Basit örgü yapılı (BÇ1, ÇÇ1) ve atkı takviyeli (AÇ1, ÜÇ1) çelik kumaşlara ait görüntüler (110X)	88
Şekil 50. Basit örgü yapılı (BB1, BB2, ÇB1, ÇB2) bakır kumaşlara ait görüntüler (110X)	88
Şekil 51. Atkı takviyeli (AB1, AB2, ÜB1, ÜB2) bakır kumaşlara ait görüntüler (110X)	89
Şekil 52. Yansız odanın dıştan ve içten görünümü	90
Şekil 53. Kalkanlama etkinliği genel test düzeneği	91

Şekil 54. Yatay polarizasyonda referans ölçümü.....	92
Şekil 55. Dikey polarizasyonda zayıflatma ölçümü(çerçeve anten ile)	92
Şekil 56. Yatay polarizasyonda zayıflatma ölçümü (Bikonik anten ile)	93
Şekil 57. Dikey polarizasyonda zayıflatma ölçümü (Log peryodik anten ile)	93
Şekil 58. Yatay polarizasyonda zayıflatma ölçümü (Horn anten ile)	93
Şekil 59. Dikey polarizasyonda demir plaka zayıflatma ölçümü	94
Şekil 60. Dikey polarizasyonda dinamik aralık, referans ve gürültü seviyesi	95
Şekil 61. Yatay polarizasyonda dinamik aralık, referans ve gürültü seviyesi	95
Şekil 62. BÇ1 ve BB1 bez ayağı dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri.....	112
Şekil 63. BÇ1 ve BB1 bez ayağı dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	113
Şekil 64. BÇ1 ve BB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	114
Şekil 65. ÇÇ1 ve ÇB1 çapraz atkı saten dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	115
Şekil 66. ÇÇ1 ve ÇB1 çapraz atkı saten dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	116
Şekil 67. ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	117
Şekil 68. AÇ1 ve AB1 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	118
Şekil 69. AÇ1 ve AB1 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	119
Şekil 70. AÇ1 ve AB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	120
Şekil 71. ÜÇ1 ve ÜB1 üst atkı takviyeli dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	121
Şekil 72. ÜÇ1 ve ÜB1 üst atkı takviyeli dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	122
Şekil 73. ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	123
Şekil 74. BB1 ve BB2 bez ayağı dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	126
Şekil 75. BB1 ve BB2 bez ayağı dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	127
Şekil 76. BB1 ve BB2 bez ayağı dokumaların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	128

Şekil 77. ÇB1 ve ÇB2 çapraz atkı saten dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	129
Şekil 78. ÇB1 ve ÇB2 çapraz atkı saten dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	130
Şekil 79. ÇB1 ve ÇB2 kumaşlarının çapraz atkı saten dokumaların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	131
Şekil 80. AB1 ve AB2 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	132
Şekil 81. AB1 ve AB2 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	133
Şekil 82. AB1 ve AB2 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumaların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	134
Şekil 83. ÜB1 ve ÜB2 üst atkı takviyeli dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	135
Şekil 84. ÜB1 ve ÜB2 üst atkı takviyeli dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	136
Şekil 85. ÜB1 ve ÜB2 üst atkı takviyeli dokumaların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	137
Şekil 86. ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri.....	140
Şekil 87. ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri.....	140
Şekil 88. ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri	141
Şekil 89. BÇ1, ÇÇ1, AÇ1 ve ÜÇ1 kodlu çelik kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri	142
Şekil 90. BÇ1, ÇÇ1, AÇ1 ve ÜÇ1 kodlu çelik kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	144
Şekil 91. BB1, BB2, ÇB1, ÇB2, AB1, AB2, ÜB1 ve ÜB2 kodlu bakır kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri.....	145
Şekil 92. BB1, BB2, ÇB1, ÇB2, AB1, AB2, ÜB1 ve ÜB2 kodlu bakır kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri	146

KISALTMALAR LİSTESİ

APCO-25	Amerika Kamu Telsiz Operatörleri Birliği Proje 25 Sayısal Telsiz Standardı
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
DB	Desibel
DCS	Sayısal Kodlu Susturma
DECT	Geliştirilmiş Dijital Kablosuz Telekomünikasyon
ELF	Aşırı Düşük Frekans
EM	Elektromanyetik
EMA	Elektromanyetik Alan
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMD	Elektromanyetik Dalga
EMI	Elektromanyetik Girişim
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
EMR	Elektromanyetik Radyasyon
EMSE	Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği
FDD	Frekans Bölmeli Çift Yönlü
GHz	Gigahertz
GPS	Küresel Konum Belirleme Sistemi
GSM	Küresel Mobil Haberleşme Sistemi
HF	Yüksek Frekans (High Frequency)
Hz	Hertz
IARC	Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
ICNIRP	Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ISM	Endüstriyel, Bilimsel ve Tıbbi Frekans Bandı
İTKİB	İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri
KET	Kısa Mesafe Erişimli Telsiz
KHz	Kilohertz
LF	Düşük Frekans (Low Frequency)
MHz	Megahertz
MF	Orta Frekans (Medium Frequency)

MW	Mikrodalga Frekansı
PAMR	Kamu Erişimli Mobil Telsiz
PES	Polyester İplik (FDY : Kısmi Çekilmiş PES İplik)
PMR	Kişisel Mobil Telsiz
RF	Radyo Frekansı
SAR	Özgül Soğurma Değeri
SE	Kalkanlama Etkinliği
TDD	Zaman Bölmeli Çift Yönlü
THz	Terahertz
UHF	Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
UMTS	Evrensel Gezgin Telekomünikasyon Sistemi
VHF	Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency)
VLF	Çok Düşük Frekans
YGH	Yüksek Gerilim Hattı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

Araştırma Materyaline İlişkin Basit Yapılı Dokumalara Ait Kısaltmalar

BÇ1 : “Bez ayağı Dokuma” Örgülü Çelik Kompozit İplikli Numune Kumaş

BB1 : “Bez ayağı Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

BB2 : “Bez ayağı Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

ÇÇ1 : “Çapraz Atkı Saten Dokuma” Örgülü Çelik Kompozit İplikli Numune Kumaş

ÇB1 : “Çapraz Atkı Saten Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

ÇB2 : “Çapraz Atkı Saten Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

Araştırma Materyaline İlişkin Atkı Takviyeli Dokumalara Ait Kısaltmalar

AÇ1 : “Alt Atkı Takviyeli Çapraz Atkı Saten Dokuma” Örgülü Çelik Kompozit İplikli Numune Kumaş

AB1 : “Alt Atkı Takviyeli Çapraz Atkı Saten Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

AB2 : “Alt Atkı Takviyeli Çapraz Atkı Saten Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

ÜÇ1 : “Üst Atkı Takviyeli Dokuma” Örgülü Çelik Kompozit İplikli Numune Kumaş

ÜB1 : “Üst Atkı Takviyeli Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

ÜB2 : “Üst Atkı Takviyeli Dokuma” Örgülü Bakır Kompozit İplikli Numune Kumaş

BÖLÜM I

GİRİŞ

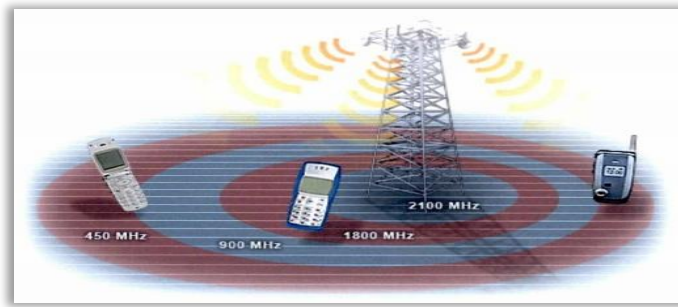
Bu bölümde araştırmanın problem durumu, amacı, önemi, sınırlılıkları, varsayımları ve tanımları ele alınmıştır.

Problem Durumu

Günümüz teknoloji çağında her geçen gün keşfedilen yenilikler yaşamımıza büyük kolaylıklar getirmekte dolayısıyla insanların ihtiyaçlarını pratik olarak karşılamaktadır. Geçmişten günümüze endüstriyel alanda olsun elektrik-elektronik alanlarda olsun bu teknolojik gelişmeler insan yaşamında çok büyük rol oynamakta böylece günlük hayatımızın her alanında etkili bir konuma sahip olabilmektedir.

Ev, işyeri, okul, hastane, fabrika gibi ortamlarda kullanılan elektrik ve manyetik alan üreten 50 Hz frekanslı (ELF bandı) şehir şebekesi cereyanı ile çalışan bilgisayar, televizyon, elektrikli fırın, elektrikli süpürge, saç kurutma makinesi, elektrikli tıraş makinesi, fotokopi makinesi, elektrikli battaniye ve ısıtıcılar, trafolar vb elektrikli cihaz ve sistemler, 88-108 MHz'de çalışan FM radyo yayımları (Sobacı, 2012), fizik tedavide kullanılan kısa dalga boylu (27.12 MHz) ve yüksek mikrodalga (2450 MHz) frekanslı elektromanyetik dalgaları içeren elektrikselsel bileşeni baskın medikal diatermi cihazları (Aniolczyk, Koprowska, Mamrot ve Lichawska, 2004), 2450 MHz frekans bandında çalışan mutfakların vazgeçilmez kolaylığı mikrodalga fırınlar (Çerezci, 2012; Sevgi, 2000; Tübitak-Bilten, 2000), yaygın olarak kullanılan mobil haberleşme teknolojileri; CDMA450 MHz frekansında çalışan cep telefonu (Sobacı, 2012), UMTS 2100 MHz frekans bandında çalışan 3. Nesil 3G'li ve GSM900, DCS1800 MHz frekans bandlarında kullanılan diğer 2. Nesil 2G cep telefonları (Çerezci, 2012; Darıcı, 2002; Güler, Çetin, Özdemir ve Uçar, 2010; Sobacı, 2012), VHF dar bandında 146-174 MHz arasında çalışan analog el telsizleri (Güler ve diğerleri, 2010; Sobacı, 2012), UHF bandında çalışan tek frekansa sahip PMR 446 MHz özel dijital mobil telsiz (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu [BTK], 2012) ile yine UHF geniş band aralığını (410-470 MHz) kapsayan APCO-25 sayısal telsiz [el telsizi (şehir

içi), mobil telsiz (kırsal alan), araç telsiz] haberleşme sistemleri (Sobacı, 2012), PCS1900 MHz (DECT) bandındaki kablosuz ev tipi telefonlar (BTK, 2012; Darıcı, 2002), ISM 2.4 GHz frekans bandında çalışan kablosuz bebek odası dinleme cihazları (baby phone), kablosuz bebek video monitörleri (Özdemir ve Özkurt, 2013), yine ISM 2.4 GHz frekans bandında çalışan bluetooth ve internet erişiminde kullanılan kablosuz (Wi-Fi) ağlar (Çerezci, 2012; Kaplan, 2002), cep telefonlarının çekim gücünü arttırmak amacıyla kurulan GSM baz istasyonları, radar sistemleri, günlük yaşamın vazgeçilmezleri arasında olup yaygın kullanılan radyo-mikrodalga frekanslı haberleşme sistemlerine verilebilecek örneklerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı frekansların kapsama alanları (Sobacı, 2012)

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından Resmi Gazete’de yayımlanan ve teknik düzenleme ve kriterlere uygun olarak piyasaya arz edilen “Kısa Mesafe Erişimli Telsiz (KET) Cihazları Hakkında Yönetmelik”te, vücuda takılan kablosuz mikrofon sistemleri (863-865 MHz; 1785-1800 MHz), özel mobil telsizler (PMR 446 MHz), uzaktan kumanda cihazları (26-40 MHz), güvenlik amacıyla ev ve işyerlerinde kullanılan sosyal alarm sistemleri (868-869 MHz), kişisel alarm sistemleri (169 MHz), kablosuz ses sistemleri (FM radyo (87.5-108 MHz), kaset, CD çalar, mobil telefonlar), geliştirilmiş sayısal kablosuz telekomünikasyon sistemleri (DECT telefon; 1880-1900 MHz), arama-kurtarma cihazları (40 MHz, 169.4 MHz), alçak güçlü tıbbi cihazlar (13-138 MHz, 433-434 MHz, 2.4-2.483 GHz ve üzeri yüksek frekanslar) vb. başlıklar halinde sıralanan kısa mesafe erişimli alçak güçlü telsiz cihazlarının teknik kriterlerine ilişkin bilgiler verilmiştir (BTK, 2012).

Bu cihazlar fayda sağladıkları kadar kullanımı sırasında yaydıkları elektromanyetik dalgalarla canlılar üzerinde elektromanyetik alan oluşturmaktadır. Oluşan bu elektromanyetik alan, insan sağlığını tehlikeye atıp vücuttaki biyolojik ve fizyolojik uyumu bozmakta, halsizlik, dikkat bozukluğu, yorgunluk, baş ağrısı,

uykusuzluk gibi çeşitli reaksiyonlara sebebiyet verdiği, hatta uzun süreli maruziyette kanser yapıcı etkilere kadar ulaştığı düşünülmektedir.

Canlıların vücutlarında biyokimyasal ortamlar ve iyonlar olduğu için elektromanyetik alanlar kuvvet uygulayarak çeşitli iyon içeren dokulara rahatça nüfuz edebilmekte kendi frekanslarında onları da titreştirmektedirler. İyonların titreşmesi kendi etraflarında gerilim oluşmasına sebep olmakta ve yakınlarında oldukları potansiyele duyarlı hücre zarı kanallarının kontrol dışı açılmalarına veya kapanmalarına sebebiyet vermektedir. Bu yolla hücre etrafındaki kimyasal denge, normal olmayan etkilerle değişmeye ve elektromanyetik etkinin daha çok arttığı durumlarda hücre fonksiyonlarının bozulabilmesine kadar gitmektedir (Çerezci, 2012).

İnsan vücudu elektriksel bir sisteme sahip olduğundan çevremizi saran elektromanyetik dalgaların dışarıdan bu sisteme etki etmesiyle düzenin bozularak organizmada bazı karışıklıklara neden olabileceği belirtilmektedir. Bu etkinin ardından vücudun molekül ve atomları kendi aralarında kurulan elektriksel dengenin kaybedilebilmesi dolayısıyla dokuların işleyişindeki elektriksel yapı bozulabilmekte, biyokimyasal faaliyetler etkilenebilmekte, kalp dolaşım sistemi, bağışıklık sistemi ve sinir sisteminde buna bağlı bozukluklar ortaya çıkabilmektedir. Vücudun bağışıklık sisteminin sürekli zayıflamasının ise “ kanseri arttıran veya başlatan, tetikleyen bir etki” yapacağı da gündemdeki konular arasındadır (Güler ve Seyhan, 2000).

Yaklaşık yirmi yıl önce hayatımıza giren ve bugün yaklaşık 2 milyar insanın kullandığı cep telefonlarının ve baz istasyonlarının sayılarının hızla artması ile son yıllarda giderek artan oranda radyo frekans radyasyonu (RFR) söz konusudur. RF alanların değişik biyolojik etkilere neden olduğunu gösteren çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar çeşitli kanser türleri, lösemi ve lenfoma, kan beyin bariyeri geçirgenliğinin artması, beyin sıcaklığının, hücre ve DNA sentezinin artması, üremede azalma, kromozomal bozulmalar, beyin elektriksel aktivitesinin, kan basıncının artması, davranış bozukluğu, çocuklarda öğrenme güçlüğü gibi pek çok etkinin varlığını göstermektedir. RF alan kaynakları kalp pili kullanıcıları üzerinde de etkili bulunmuştur. Cep telefonu frekanslarında ve daha düşük frekanslarda yapılan çalışmalarda bu elektromanyetik alanların beyin hücrelerinde DNA kırıklarına ve yapısında bozulmalara neden olduğu bulgulanmıştır (Gazi Non-İyonizan Radyasyon Korunma Merkezi [GNRK], 2012a).

Beyin tümörlerinin artışını cep telefonunu kullanımı ile ilişkilendiren araştırmaların yanında, herhangi bir ilişki gösterilemeyen çalışmalar da bulunmaktadır.

Ancak radyo frekans radyasyon, Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (IARC) tarafından 2012’de olası kanser yaparlar (Grup 2B) grubuna katılmıştır (EMO, 2012).

Brezilya Sağlık Bakanlığı ile Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komisyonu, Porto Alegre Çevre Konseyi (COMAM/PA), Rio Grande do Sul Sağlık Teyakkuzu (CEVS/RS) ve diğer bazı kuruluşların desteklediği, 18 Mayıs 2009 tarihinde Brezilya’nın Porto Alegre kentinde gerçekleştirilen Porto Alegre Bildirgesi’nde, tüm dünyada olduğu gibi Brezilya’da da elektrik ve kablosuz iletişim teknolojilerin (mobil ve telsiz telefonlar, Wi-Fi ve WIMAX ağları, RFID vs.) yanı sıra büyük elektrik şebekesi ve kablosuz geniş bant altyapı değişiklikleriyle; varlığı ve kullanımı daha önce benzeri görülmemiş bir şekilde artan non-iyonize elektromanyetik alanların (gerek çok düşük frekansın gerekse radyo frekans elektromanyetik alanların) uzun ve kısa dönem etkilerinden korunmak için, var olan riski değerlendirme açısından halkın bilgilendirilmesi vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmalarda, çocuklarda radyo frekans radyasyonun (RFR) yetişkinlere göre % 80 daha fazla soğurulduğu bulgulanmıştır. Bu bulgu, çocuk kafatasının yetişkinlere göre daha farklı olması, beyin iletkenliklerinin daha yüksek olması dolayısıyla beyin dokularının EM alanlara karşı daha korunmasız bulunması nedenine bağlanmıştır. Son yıllarda oldukça yoğun görülen Alzheimer, Parkinson, MS, beyin tümörleri gibi beyin rahatsızlıklarının nedenlerinden birinin bu radyasyon kaynakları olup olmadığı, 2000’li yılların başlıca bilimsel araştırma konularından birini oluşturmaktadır (GNRK, 2012b).

AB ülkelerinde 12 araştırma merkezinin yaptığı REFLEX projesinde, cep telefonları frekanslarındaki elektromanyetik radyasyonun DNA da kırılmalar ile genetik zararlar yaptığı ileri sürülmektedir (Çerezci, 2012).

Bununla birlikte, yüksek gerilim hatları yakınındaki evlerde yaşayan çocuklarda çocukluk çağı kanserlerindeki artışın epidemiyolojik olarak gösterilmesi ile bu konudaki tüm araştırmalar US National Academy of Sciences (Amerikan Bilimler Akademisi) tarafından tekrar incelenmiş ve 1996 yılında yüksek gerilim hatları yakınında yaşayan çocuklarda lösemi görülme riskinin diğerlerine göre 1,5 katı fazla olduğu Amerikan Bilimler Akademisi tarafından kabul edilmiştir (Seyhan, 1999).

2007 yılında ABD’de yayınlanan ve bilim dünyası tarafından uluslar arası kamuoyunda saygı duyulan, konusunda uzman 14 tıp doktoru tarafından hazırlanan Bioinitiative Raporunda, EMA’ların değişik frekanslardaki biyolojik (ısı) ve ısı olmayan etkilerine (nöronların ölümü ve beyin hücrelerini zarar görmesi, kan beyin

bariyeri sızıntısı ve sonucunda Alzheimer, Parkinson ve sinirsel hastalıklar, kalp ritim bozukluğu, kalp durması, habis ve kötü huylu beyin tümörleri, sperm hücrelerinin ölümü ve kısırlık, kusurlu doğum vb.) ve ICNIRP (İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu) tarafından çıkarılan yönetmeliklerdeki yetersizliklere dikkat çekilmiştir. Raporda ayrıca bu konudaki yönetmelikler hazırlanırken, özellikle yüksek gerilim hatlarına ilişkin düşük frekanslı (ELF) manyetik alanlardan yayılan EM radyasyona maruz kalma konusunda, genel halk için hazırlanan maruziyet limit değerlerinin [elektrik alan şiddeti (5000 V/m) ve manyetik akı yoğunluğu (200 μ T)] belirlenmesinde radyasyona karşı, kısa süreli maruziyetin dikkate alınıp uzun süreli maruz kalma durumunun göz ardı edildiği belirtilerek, ayrıca bu frekansların kanser yaptığının delilleri, bağışıklık sistemine etkileri vb. 21 konuda güncel bilgiler ortaya konulmaktadır. Bu yüzden pek çok ülkenin bu rapordan hareketle limit değerlerini aşağı çektiği ifade edilmektedir. Bioinitiative Raporunda, düşük frekanslı ELF alanlar için sınır değeri 0,1 μ T olarak önerilmektedir (Çerezci, 2012).

Görüldüğü gibi elektromanyetik dalgaların neden olduğu zararlar ve elektromanyetik alanlardan korunma son yılların önemli bir araştırma konusudur. Elektromanyetik (EM) etkinin azaltılması için kullanılan başlıca yöntemlerden birisi kalkanlamadır. Literatürde ekranlama olarak da ifade edilen kalkanlama, B. Kılıç (2010) tarafından “bir cihaz, bir platform (uçak, gemi vb.), belirli bir yapı (oda, bina vb.) veya canlı bir organizmanın elektromanyetik dalgalardan izole edilmesi” (s.51) şeklinde ifade edilmektedir.

Elektromanyetik dalgaların canlılar üzerindeki etkilerini tamamen yok etmek ya da azaltmak için farklı iletkenler (lif, iplik, kumaş, polimer vs) kullanılarak ekranlama amaçlı tekstil yapıları oluşturulmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla gümüş, bakır, çelik, gümüş kaplı bakır vb. iletken liflerin örgü, dokuma veya nonwoven yapılarda elektromanyetik kalkanlama amaçlı kullanıldığı görülmektedir. EM kalkanlama amaçlı üretilen, dokuma-örgü kumaş yapıları üzerine çeşitli araştırmalar mevcuttur.

EM kalkanlama sağlamak amacıyla farklı oranlarda kullanılan iletken ipliklerle üretilen tekstil yapıları üzerine yapılan araştırmalarda, örgü kumaşlarda; polyester ipliklerle birlikte iletken malzeme olarak kesikli paslanmaz çelik lif (Cheng, 2000), özlü ipliklerin üretiminde farklı numaralardaki pamuk iplikleriyle beraber özde iletken materyal olarak bakır filament (Can, 2008), atkıdan yatırımlı örme kumaş olarak giyim endüstrisinde kullanılmak amacıyla pamuk iplik / bakır tel ve örme kumaş destekli

kompozit oluşturmak amacıyla aramid/polipropilen/bakır tel bileşiminden oluşan iplikler (Soyaslan, 2009), yine atkıdan yatırılmış olarak üretilen numune örme kumaşlarda çekirdek (özlü) iplik üretiminde penye pamuk lif bileşimli iplikler ile özde iletken malzeme olarak paslanmaz çelik tel (G. Kılıç, 2010) kullanılmıştır. Dokuma kumaşlarda; polyester, rayon ve kevlar lifleriyle oluşturulan ipliklerde paslanmaz çelik tel ve kesikli lifi (Ueng ve Cheng 2001), penye pamuk fitilleri ile birlikte eğrilmek üzere iletken malzeme olarak çeşitli inceliklerde bakır tel, gümüş filament ve gümüş elyaf (Duran, 2011), polyester iplikler ile katlanıp bükülerek elde edilen ipliklerde iletken materyal olarak paslanmaz çelik tel ve gümüş kaplı bakır (Okyay, Bilgin, Akgül ve Örtlek, 2011), pamuk ipliklerle birlikte gümüş kaplı bakır tel (Mühl ve Obolenski, 2004), polyester ipliklerle birlikte iletken malzeme olarak paslanmaz çelik tel (Bilgin, Sarıtaş, Okyay ve Örtlek, 2011), paslanmaz çelik kesikli lif ve filamentlerinden oluşan paslanmaz çelik/polyester karışimli hibrid iplikler (Su ve Chern, 2004), dokuma kumaşlar kevlar veya rayon ipliği ile farklı karışım oranlarında, bakır tel, paslanmaz çelik tel ve kesikli lif içeren özlü iplikler (Cheng ve diğerleri, 2003), özlü iplik üretiminde pamuk lifleri ile iletken olarak bakır tel (Perumalraj ve diğerleri, 2009), dokuma ve örme kumaşlarda ise; pamuk ipliği ile çeşitli incelikte bakır, çelik ve gümüş telleri (Dağ, 2010) kullanılmıştır. Sonuç olarak kompozit tekstil yapılarının bileşenindeki iletken lif çeşidinin ve miktarının EMSE değeri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde ve elektromanyetik kalkanlama amaçlı araştırmaların örgü ve dokuma kumaş yapıları üzerinde yoğunlaştığı, dokuma kumaş yapılarının genelde temel dokuma örgülerinde (bezayağı, ribs, panama, dimi, saten vb.) olduğu (Bilgin ve diğerleri, 2011; Cheng ve diğerleri, 2006; Dağ, 2010; Duran, 2011; Okyay ve diğerleri, 2011; Mühl ve Obolenski, 2004; Perumalraj ve diğerleri, 2009; Su ve Chern, 2004; Ueng ve Cheng, 2001) kompozit ipliklerde iletken olarak daha çok paslanmaz çelik (316 L) filament (Bilgin ve diğerleri, 2011; Cheng, 2000; Cheng ve diğerleri, 2003; Dağ, 2010; G. Kılıç, 2010; Okyay ve diğerleri, 2011; Su ve Chern, 2004; Ueng ve Cheng, 2001) ve bakır filament (Can, 2008; Cheng ve diğerleri, 2003; Cheng ve diğerleri, 2006; Dağ, 2010; Duran, 2011; Perumalraj ve diğerleri, 2009; Ramachandran ve Vigneswaran, 2009; Soyaslan, 2009) kullanıldığı, bakır kompozit ipliklerin daha çok atkıda konumlandırıldığı (Cheng ve diğerleri, 2006; Dağ, 2010; Duran, 2011) görülmüştür.

Bu çalışmada ise, iletken olarak 35 mikron (0.035 mm) paslanmaz çelik ve incelenen araştırmalarda kullanılmadığı görölen incelikte 35 mikron emaye kaplı bakır filament iplikler atkıda ve çözgüde kullanılmış, bazı temel dokuma örgülerinin yanında atkı takviyeli örgüleri de içeren dokuma yapılarına yer verilmiş, bu yapılar farklı iletken iplik kullanım miktarlarında tasarlanarak EM kalkanlama özelliğini ne ölçüde etkilediği incelenmiştir.

Bu bağlamda çelik/PES ve bakır/PES kompozit ipliklerin atkıda ve çözgüde kullanılması ile farklı örgü yapısı ve farklı iletken iplik kullanım miktarlarında oluşturulan dokuma kumaşların 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında elektromanyetik kalkanlama (istenmeyen dalgayı azaltarak minimize etmek) özelliklerinin belirlenmesi araştırmanın problemini oluşturmaktadır.

Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı, paslanmaz çelik ve bakır iletken filamentler kullanılarak üretilen dokuma kumaş yapılarının, elektromanyetik dalgalara (10 MHz - 3 GHz frekans aralığı) karşı etkin kalkanlama özelliğinin belirlenmesidir. Bu genel amaç doğrultusunda araştırma kapsamında test edilecek hipotezler aşağıda verilmiştir:

- İletken iplik çeşidi EMSE değeri üzerinde etkilidir.
- Birim alanda iletken iplik kullanım miktarı arttıkça EMSE değeri yükselir.
- Kumaş örgü yapısı EMSE değeri üzerinde etkilidir.

Araştırmanın Önemi

Paslanmaz çelik ve emaye kaplı bakır filament içeren kompozit iplikler kullanılarak elektromanyetik kalkanlama sağlayabilecek dokuma kumaşlar üretmeyi amaçlayan bu çalışma, elektromanyetik dalgaların çevreye ve insan sağlığına verdiği zarara karşı önlem almaya yönelik bilgi üreterek ilgili literatüre katkıda bulunması açısından önemlidir.

Ayrıca bu çalışma ile elde edilecek veriler, ilgili bilim dalına katkı sağlaması, daha ileri araştırmalara kaynak oluşturması ve ilgili sektöre bilgi ve seçenek sunması açısından da önem taşımaktadır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırma, Çelik/PES ve Bakır/PES kompozit ipliklerden üretilen dokuma kumaşlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Araştırma dokuma kumaşlara uygulanan EMSE test ölçümleri ile sınırlıdır.

Varsayımlar

Araştırmanın amaçlarına ulaşmasında ölçümlerden elde edilen veriler yeterli ve güvenilirlerdir.

Tanımlar

1:1 bakır kompozit iplik ve PES iplik oranı/kursu, ipliklerin 1 bakır kompozit iplik:1 PES iplik kursu şeklinde düzenlendiğini ifade etmektedir.

Atkı ve çözgü sıklıklarında birim alanda kullanılan iletken iplik miktarı, araştırma kapsamında kullanılan numunelerde çözgü sıklığı yani iletken kompozit ve PES iplik kursu oranı sabit olduğu için, değişkenlik atkı iplikleri için söz konusudur.

Araştırma kapsamında kullanılan iletken filamentlerden 35 mikron çapındaki bakır emaye kaplı bakır filament; 35 mikron çapındaki çelik ise, östenitik çeliklerden AISI 316 L tipi paslanmaz çelik filamentini ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan çelik kompozit iplik, 35 mikron çapında 316 L tipi paslanmaz çelik iletken filament ile polyester ipliğin birleştirilmesinden meydana gelen ipliği ifade etmektedir. Bakır kompozit iplik ise, 35 mikron çapındaki saf bakır iletken filament ile polyester ipliğin birleştirilmesinden meydana gelen ipliği ifade etmektedir.

Polarizasyon, elektrik alanın zamanla çizdiği şekle göre tanımlanan bir kavramdır. Antenin yaydığı elektromanyetik dalgalar için iletim boyunca elektrik alan eğer zemine dik ise düşey, paralel ise yatay polarizasyonlu dalga adını almaktadır (Sevgi, 2005b). Çalışmada dikey ve yatay olmak üzere iki polarizasyonda yapılan ölçüme yer verilmiştir.

İlgili araştırmalarda adı geçen ve kompozit iplik elde edilirken iletken liflerle iplik yapısına katılan kevlar lifi, karbon kökenli yüksek sağlamlığa sahip bir lif çeşididir. Aramid lifi ise, sentetik lif grubunda olup basık yapılı, alev almaya karşı dirençli bir tekstil materyalidir.

BÖLÜM II

KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bu bölümde elektromanyetik radyasyon, metallerde elektriksel iletkenlik, tekstillerde elektriksel iletkenlik konularında literatür bilgilerine ve konu ile ilgili araştırma özetlerine yer verilmiştir.

Elektromanyetik Radyasyon

Bu başlık altında, radyasyonun tanımı ve sınıflandırılması, elektromanyetik radyasyon ve kaynakları, elektriksel (elektrik, manyetik ve elektromanyetik) alanlar, elektromanyetik dalgalar ve özellikleri, elektromanyetik kalkanlama teorisi, EMSE ölçüm metodları ve elektromanyetik alanların insan sağlığına biyolojik etkileri ve maruziyet sınırları konularında açıklamalar yer almaktadır.

Radyasyonun Tanımı ve Sınıflandırılması

Radyasyon, Güler ve Çobanoğlu (1994, s.11) tarafından, “parçacık ya da tek renkli ışık yayımı, bu parçacıkların ya da ışımının kendisi” ya da “maddesel ortamdan geçerken onunla etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen x ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınımlar” olarak ifade edilmektedir.

Radyasyon (ışınım) genel anlamda enerjinin uzayda dalgalar ya da tanecikler (fotonlar) halinde yayılması olayıdır. Isı, ışık ve radyo dalgaları günlük yaşamdan bildiğimiz ışınım yoluyla yayılma örnekleri olup evlerde ısınma amacıyla kullanılan radyatörler de isimlerini ısı yayıcı anlamına gelen aynı kökten almaktadır (Tübitak-Bilten, 2001). Dilimizde kullanılan radyasyon, İngilizce "radiation" sözcüğünden gelmektedir ve bu sözcük, madde içine nüfuz edebilen ışınlar için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, madde içine nüfuz edip atomları iyonlaştırması (elektron koparması) ya da iyonlaştırmamasına göre, “elektromanyetik (iyonlaştırmayan) radyasyon” ve nükleer (iyonlaştıran) radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır (Sevgi, 2000).

İyonlaştırmayan (elektromanyetik) radyasyon (NIR), atomik bağları kırmak için yeterli enerjiye sahip olmayan fotonları içeren elektromanyetik parçalar için kullanılan genel bir terimdir. Bu gruba giren dalgalar, az enerjiden yüksek enerjiye doğru; radyo dalgaları, mikro dalgalar, infrared radyasyon, görünür ışınlar, lazer ışınları, ultraviyole ışınları olmak üzere sıralanmaktadır. Yüksek yoğunluktaki NIR, biyolojik sistemde iyonizasyona neden olmayarak başka biyolojik etkileri görülebilmektedir. Örneğin ısınmaya, kimyasal reaksiyonlarda değişmeye ya da hücreler ve dokularda elektrik akımının indüklenmesine neden olabilmektedir (Yağmur, Bozbıyık ve Hancı, 2003).

Kavas (2002)'ye göre iyonlaştırmayan radyasyon, "radyasyon etkisi altında, elektronun çekirdekte koparak serbest hale gelmesini sağlayamayacak kadar düşük enerjiye sahip ışın çeşidi" (s.14) olarak tanımlanmaktadır (Sorgucu, 2011'den aktarılmıştır).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre iyonize yapmayan ışımda, her foton 12 elektron volt (eV)'tan daha az enerjiye, 100 nanometre (nm)'den daha uzun dalga boyuna ve 300 terahertz (THz)'den daha düşük frekansa sahiptir (Dinçer, 2000).

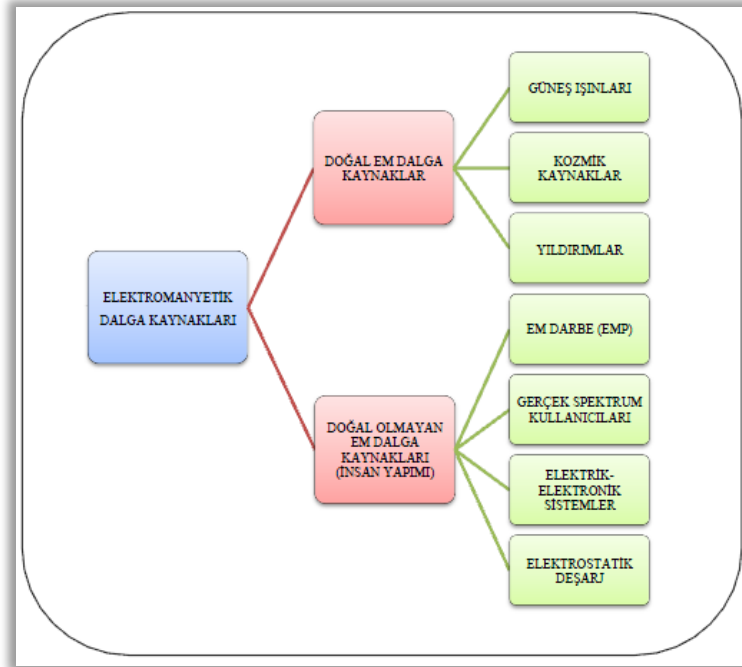
Mobil iletişim sistemlerinin neden olduğu ışınlam, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon bölgesi içerisinde yer almaktadır (Tübitak-Bilten, 2001).

İyonlaştıran (nükleer) radyasyon (IR), enerji yüklü fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalar, çarptıkları cisimlerden elektron kopararak iyonlaşmalarına yol açan yüksek frekanslı ve dolayısıyla yüksek enerjili olan x ışınları ve gama ışınlarını kapsar (Tübitak-Bilten, 2001).

Dalga boyu son derece küçük, frekansı çok büyük olan x ve gama ışınları herhangi bir madde ile karşılaştığında, dalga olmaktan çok "kuantum" ya da "foton" denilen bir enerji kümesi gibi davranmaktadır. Bu ışınlar hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağları kırarak atomları ya da molekül parçalarını pozitif ya da negatif yüklü duruma getirebilecek yeterli enerjiye sahip olduklarından moleküllere çarptığında onları iyonlaştırarak, molekül yapısını yani yaşamsal işlevlerini bozmakta ve böylece olumsuz biyokimyasal tepkimeler sonucunda kanser oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle bu ışınlar "iyonlaştırıcı radyasyon" olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda x ve gamma ışınlarına maruz kalan insanlarda, kanserlerin oluşumunun arttığı gözlenmiştir (Yağmur ve diğerleri, 2003). Bu çalışma iyonlaştırmayan elektromanyetik radyasyon kapsamındadır.

Elektromanyetik Radyasyon Kaynakları

Elektromanyetik kaynaklar, doğal ve yapay EM kaynaklar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir:



Şekil 2. Elektromanyetik dalga kaynakları (Yaman, 2011)

Doğal EM Kaynaklar

Doğal EM kaynaklara (Şekil 2) örnek olarak güneş ışınları, kozmik kaynaklar, yıldırımlar vb. atmosferik olaylar verilebilir. Elektrikli aletlerin yarattığı elektrik alan (E) dışında atmosfer de elektriksel yüklerle doğal bir kaynak olarak elektrik alan yaratmakta ve normal havada doğal elektrik alan 120-150 V/m şiddetindeyken, fırtınalı havalarda meydana gelen yıldırım, şimşek vb. doğa olaylarıyla bu doğal alanın 10.000 V/m'ye kadar ulaştığı belirtilmektedir (Güler ve Seyhan, 2000).

Yapay EM Kaynaklar

Tablo 1'de bazı yapay kaynaklar tarafından kullanılan frekans bantlarına ve uygulama alanlarına yer verilmiştir.

Frekans Bandı (MHz)	Hizmet	Uygulama
87.5 - 108	Yayınçılık	FM RADYO
108 - 118	Hava Seyrüsefer	ILS, VOR
118 - 137	Hava mobil haberleşme	Hava mobil haberleşme sistemleri
137 - 138	Meteorolojik Yardım	
138 - 144	Hava mobil haberleşme	
144 - 146	Amatör	
146 - 156	Kara mobil telsiz	Kara mobil telsiz sistemleri
156.7625 - 156.8375	Deniz haberleşmesi	Gemi-kıyı haberleşmesi
156.8375 - 174	Kara mobil telsiz	Kara mobil telsiz sistemleri
174 - 216	Yayınçılık	Analog TV vericileri
216 - 230	Yayınçılık	T-DAB
230 - 380	Telsiz haberleşmesi	
380 - 385	Acil Durum Haberleşmesi	Acil Durum Haberleşmesi
385 - 390	Telsiz haberleşmesi	
390 - 395	Acil Durum Haberleşmesi	Acil Durum Haberleşmesi
395 - 400	Telsiz haberleşmesi	Askeri
400 - 470	Kara mobil haberleşmesi	Kara mobil telsiz sistemleri
470 - 790	Yayınçılık	Analog TV
790 - 862	Yayınçılık	Analog TV (2015 ten sonra mobil)
863 - 870	Kısa mesafe telsiz	Alçak güçlü cihazlar
870 - 890	Telsiz haberleşmesi	
890 - 915	GSM	Cep telefonları
915 - 921	GSM	Cep telefonları
921 - 925	GSM-R	Cep telefonları
925 - 935	GSM	Cep telefonları
935 - 960	GSM	Cep telefonları
960 - 1215	Hava seyruşefer	TACAN, DME
1710 -1888	GSM	Cep telefonları
2000 - 2200	GSM	Cep telefonları

Tablo 1. Elektromanyetik alan oluşturan bazı yapay kaynaklarca kullanılan yayın frekansları (Güler ve diğerleri, 2010)

Elektrik enerjisi ile çalışan birçok alet ve sistemler elektromanyetik enerji yaymaktadır. EM ışıma yapan sistem ve aletlerin bir kısmı aşağıda gibi sıralanmıştır.

- Çeşitli elektrikli ev aletleri
- Enerji nakil hatları ve trafo istasyonları
- Elektrikli trenler
- TV, bilgisayar ekranları
- İndüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri
- Radyo, TV ve telsiz verici istasyonlarının antenleri
- Radar sistemleri (sürekli ve darbeli)
- Uydu iletişim sistemleri
- Tedavide kullanılan tıbbi elektriksel cihazlar

- Mikrodalga fırınları
- Sanayide RF frekansında çalışan çeşitli sistemler
- GSM haberleşme sistemi (temel baz istasyonu anteni ve cep telefonu anteni) gibi elektromanyetik radyasyon yayan yapay EM dalga kaynaklarıdır (Dinçer, 2000).

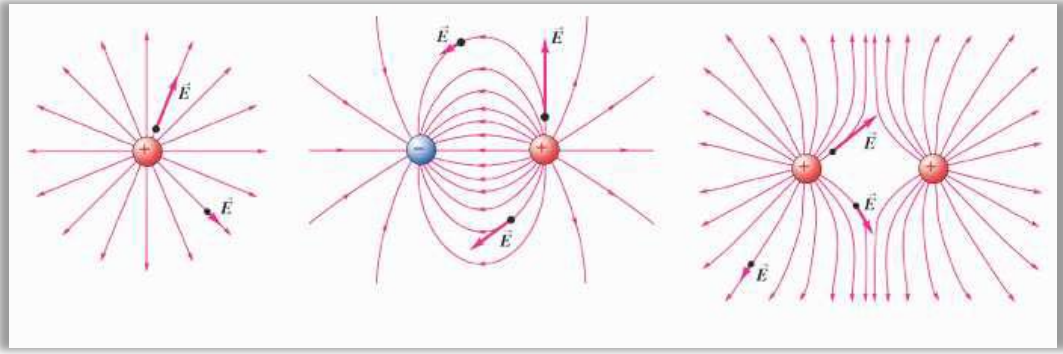
Elektriksel Alanlar

Elektriksel alanlar çevredeki canlı ve cansız varlıklara (elektriksel cihazlara) etki edebilmektedir. Elektriksel alanlar elektrik alan, manyetik alan ve elektromanyetik alan olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu elektriksel alanlar, elektrik enerjisi üretildiğinde enerji iletim hatlarından veya kablolardan veya havadan gönderildiğinde elektrikli aletlerde kullanıldığında oluşmaktadır. Günümüzde elektrik enerjisinin kullanımı, yaşamın vazgeçilmez bir parçası olduğundan bu elektriksel alanlar çevremizde her yerde bulunmakta ve 0-300 GHz frekans aralığında hizmet vermektedir (Dinçer, 2009).

Elektrik Alan

Elektrik alan, bir elektrik yükünün başka bir elektrik yükü üzerinde yarattığı çekme veya itme kuvveti olarak ifade edilmektedir. Burada elektrik alanı oluşturan neden, elektrik yüklerinin varlığından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, elektrik şebekesine bağlı bir lamba, içinden akım geçip yanıyor olmasa bile çevresinde bir elektrik alan yarattığı belirtilmektedir. Bir cihazın besleme gerilimi yükseldikçe, bunun sonucu olarak ortaya çıkan elektrik alanı da yükselmektedir. Elektrik alan (E) şiddetinin birimi metre başına düşen volt (V/m) olarak ifade edilmektedir. Elektrik alan şiddeti, kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalmaktadır. Ayrıca, elektrik alandan korunmak için az da olsa yalıtkan küçük bir engelin (bina, ağaç vb) bile elektrik alanını engellediği vurgulanmaktadır (Elektrik Mühendisleri Odası [EMO], 2010).

Elektrik alan \vec{E} vektörü ile gösterilmektedir. Eksi yük için elektrik alan vektörü radyal (yükten olan doğrusal uzaklık) olarak eksi yüke doğru yönelirken, artı yük için ise radyal olarak yükten dışarı doğru yöneldiği görülmektedir (Şekil 3). İki zıt kutuplu yük için elektrik alan çizgileri, artıdan çıkıp eksiye son bulmaktadır. Elektrik alanda iki farklı çizginin hiçbir zaman diğer bir çizgiyi kesmediği belirtilmektedir. Aynı kutuplu iki artı veya eksi yük içinse, yüklerden çıkan çizgiler birbirlerini kesmeyecek bir şekilde sonsuzda son bulur (Çınar, 2006).



Şekil 3. Elektrik alan vektör çizgileri (Çınar, 2006)

Sonuçta meydana gelen elektrik alan, bu alan içerisindeki her elektriksel yüke kuvvet uygulamaktadır. Elektrik alan içerisinde q yüküne uygulanan kuvvet $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$ olarak verilmektedir. İletken malzemelerde, canlı doku ve cihazların iletkenlerine etki edebilecek bu F kuvveti, elektriksel yüklerin hareketine ve dolayısıyla elektriksel akımın oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan akımın yoğunluğu (J) elektriksel alan (E) ile de orantılıdır ($\mathbf{J} = \mathbf{s} \cdot \mathbf{E}$). Burada sabit orantı katsayısı olan s ortamın elektriksel iletkenliğini ifade etmektedir (Dinçer, 2009).

Herhangi bir ortam (bir iletken tel, hava, insan vücudu, kapı, pencere, vb.) elektriksel olarak ϵ , σ , μ parametreleri ile belirlenmektedir. Boşluğun (hava) parametreleri (ϵ_0 , μ_0 , $\sigma = 0$) genelde referans olarak kullanılmaktadır. Denklemlerde görülen J ve ρ ise ortamdaki bağımsız elektromanyetik olaylara neden olan kaynakları göstermektedir (Sevgi, 2004b). EM Büyüklükler ve birimleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. EM büyüklükler ve birimleri (Sevgi, 2004b)

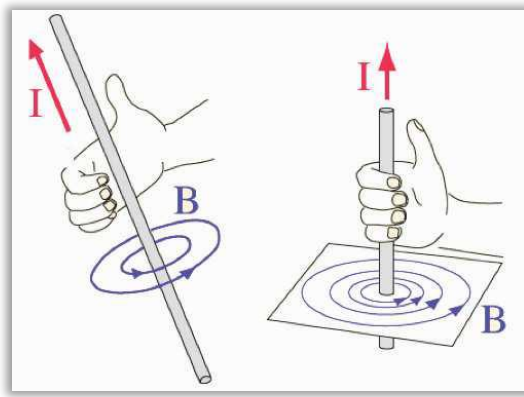
Sembol	Büyükük	Birim
E	Elektrik Alan	Volt/m
H	Manyetik Alan	Amper/m
J	Yüzey Akım Yoğunluğu	Amper/m ²
ρ	Hacimsel Yük Yoğunluğu	Coulomb/m ³
ϵ	Ortam Di Elektrik Katsayısı	Farad/m
σ	Ortam İletkenliği	Siemens/m
μ	Ortam Manyetik Geçirgenlik	Henry/m

- Ortamın iletkenliği (σ), iletken akım yoğunluğunun elektrik alan şiddetine oranıdır ve metre başına siemens birimi ile ölçülmektedir ($\sigma = J/E$, [S/m]).

- Ortamın dielektrik katsayısı (ϵ), elektrik akı yoğunluğunun (D) elektrik alana (E) bölünmesiyle tanımlanmaktadır ($\epsilon = D/E$, [F/m]) (Sevgi, 2004b).

Manyetik Alan

Manyetik alan, hareket halindeki elektriksel yüklere kuvvet uygulayarak bir noktada v hızıyla hareket eden bir q yükünde F kuvvetini oluşturan alan vektörüdür $\mathbf{F}=q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$. Manyetik alan çizgileri kendileri üzerinde kapanan ve akımı çevreleyen çizgilerdir (Şekil 4). Ayrıca, sağ el kuralı ile manyetik alanın yönü bulunmaktadır (Sevgi, 2004b).



Şekil 4. Manyetik alan çizgileri (Çmar, 2006)

Manyetik alan, elektriksel yüklerin yer değiştirdiğinde, yani bir elektrik akımı sirkülasyonu olduğunda ortaya çıkmaktadır. Lamba yandığında, elektrik alanının yanı sıra, akımın besleme kablosundan lambaya geçişinden kaynaklanan bir manyetik alan da söz konusu olmaktadır. Akım ne kadar yükselirse, bunun bir sonucu olarak manyetik alan da o kadar yüksek olmaktadır. Elektrik alanda olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe ile hızla azalmaktadır. Ancak, manyetik alan, elektrik alanda olduğu gibi engel teşkil eden nesnelere neredeyse hiç engellenmemektedir (EMO, 2010).

Manyetik alan, günlük yaşantımızda her yerde karşımıza çıkmaktadır. Akım geçiren her şey, manyetik alan oluşturmaktadır. Mıknatıslar da manyetik alan oluşturmaktadır hatta dünyanın akışkan olan iç kesimleri bile dünyanın manyetik alanını oluşturmaktadır. Manyetik alan da elektrik alan gibi vektörel bir niceliktir. B simgesiyle gösterilen manyetik alan vektörünün yönü, yüklerin hareket yönüne diktir. Bunun yanında, elektrik alan çizgileri gibi manyetik alan çizgileri de birbirlerini kesmezler ve

manyetik alan çizgilerinin sıklığı, akım geçen telden radyal uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır (Çınar, 2006).

Elektrik Alan Değerleri (V/m)	Manyetik Alan Değerleri (μT)
Tıraş Makinası	Buzdolabı 0,30 (3 mG)
Bilgisayar monitörü	Ekmek Kızartma Makinası 0,80 (8 mG)
Ekmek Kızartma Makinası 40	Müzik Seti 1,00 (10 mG)
Televizyon (tüplü) 60	90.000 volt hat (30 m mesafede) 1,00 (10 mG)
Müzik Seti 90	400.000 volt hat (100 m mesafede) 1,20 (12 mG)
Buzdolabı 90	Bilgisayar monitörü 1,40 (14 mG)
90.000 volt hat (30 m mesafede) 100	Televizyon (tüplü) 2,00 (20 mG)
400.000 volt hat (100 m mesafede) 200	Elektrikli battaniye 3,60 (36 mG)
Elektrikli battaniye 250	Tıraş Makinası 500 (5 mG)

Şekil 5. Sürekli kullanılan bazı cihazlardan yayılan elektrik ve manyetik alan değerleri (EMO, 2010)

Şekil 5'te günlük hayatta kullandığımız cihazların etrafa yaydığı elektrik ve manyetik alan değerleri verilmiştir. Manyetik alan, manyetik akı yoğunluğu (B) veya manyetik alan şiddeti (H) ile iki şekilde belirtilirken manyetik akı yoğunluğu Tesla (T) veya Gauss (G) birimleri ile kullanılmaktadır. $1T = 10^{-4} G$ 'dir. Manyetik alan şiddetinin (H) birimi ise A/m (Amper/metre)'dir. Ayrıca $1 \mu T$ (mikrotesla) = 10 mG (miligauss) = 0,8 A/m'dir Ortamın manyetik geçirgenliği (μ), manyetik akı yoğunluğunun manyetik alana oranı ($\mu=B/H$, [Henry/m]) olarak bulunmaktadır. Boş uzayda, $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Henry/m olarak alınmaktadır (Sevgi, 2004b).

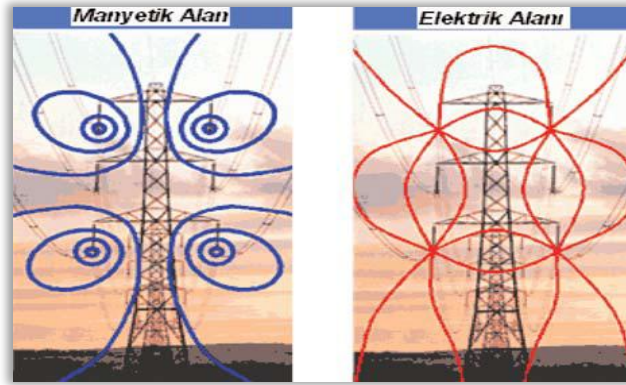
Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik alan, manyetik alanla elektrik alanın birleştirilmiş asıl halidir. Bir gözlemciye göre yüklü parçacıklar hareket etmiyorsa, orada sadece elektrik alan vardır. Eğer yükler hareket halindeyse, gözlemciye göre yüklü parçacıkların hareketinden ötürü gözlemci elektrik alanının yanı sıra bir de manyetik alanın etkilerini hissedecektir. Faraday ve Maxwell, bu olguların yüklerin gözlemcilere göre hareketlerinden kaynaklandığını ve zamana bağlı olarak değişen manyetik alanın bir

elektrik alan oluşturacağını ve aynı zamanda, zamana bağlı olarak değişen elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını bularak formülleştirmişlerdir (Çınar, 2006).

Etrafımızdaki tüm akım taşıyan kablolar, elektrikli aletler, yüksek gerilim hatları (YGH), TV ve bilgisayarlar, FM radyo ve TV vericileri, mikrodalga fırınlar, mobil telefonlar, uydu antenleri ve verici antenler, evlerde kullanılan çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, buzdolapları, mikrodalga fırınlar, saç kurutma makinesi, elektrikli tıraş makinesi, elektrikli ısıtıcılar vb. daha birçok cihaz elektromanyetik dalga kaynak tiplerini oluşturmakta ve her biri etrafına EM alan yaratmaktadır (Seyhan, 1999).

Şekil 6'da yüksek gerilim hatları etrafında oluşan manyetik ve elektrik alanların çizgileri gösterilmiştir.



Şekil 6. Tipik bir havai iletim hattı tarafından üretilen manyetik ve elektrik alan çizgileri (Dinçer, 2009)

Kaynaklarından yeterince uzakta elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirine, dalga yayılım yönü de her iki bileşene dik ise elektromanyetik alanlar, düzlem dalga olarak kabul edilmektedir. Düzlem dalgalarda elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine ortam parametreleri ile tanımlıdır ve dalga empedansı (Z) kaynaktan yeterince uzakta $Z_0 = E/H = 377 \Omega$ olup, boşluk dalga empedansı adını almaktadır. Bu dalgalar enerjilerini kaynaktan uzaklaştıkça daha geniş bir yüzeye yayarak etkilerini azaltırlar. Bu nedenle EM etkilerden korunmanın en basit ve etkili yolunun kaynak ile olan mesafeyi arttırmak yönünde olduğu vurgulanmaktadır (Sevgi, 2004b).

Elektromanyetik Alan Teorisi (Maxwell Denklemleri)

19. Yüzyılın ilk yarısında yüzyıllardır açıklanamamış olan manyetizma-elektrik ilişkisini ortaya koyan elektriğin öncülerinden ünlü fizikçi Michael Faraday,

elektrik ve mıknatıs bilimi üzerine birçok deney gerçekleştirmiş, gerçekleştirdiği bir deneyinde güçlü bir mıknatıs kullanarak mıknatısı sabit tutulan iletken bir çerçeveye yaklaştırıp uzaklaştırması ile akım geçebildiğini görerek manyetizmadan elektriğin elde edilebileceğini 1831 yılında kanıtlamıştır. Mıknatısın elektriksel etkisini sezinlemesiyle açıklığa kavuşan bu durumla buna göre, bir tel bobinde oluşan manyetik etki ikinci bir bobinde elektriksel etki olarak ortaya çıkmaktadır. “Elektromanyetik İndüksiyon” denilen bu olay, günümüzde elektrik santrallerinde elektrik üretmek için kullanılmaktadır (Bentli, 2007). Bu tarihsel deney sonucunda bakır disk kullanarak yaptığı başka bir deneyde, mıknatıslı göstergenin oluşturduğu manyetik alanın, bakır diskte bir elektrik akımı indüklediğini ve indüklenen akımın da ters yönde bir manyetik alan oluşturarak göstergenin titreşimlerini söndürdüğünü gözlemlemiştir (Yavuz, 1988). Faraday, değişen manyetik alanın elektrik alan yarattığını, değişen elektrik alanın da manyetik alan yarattığını bulmasıyla bugünkü manyetik alan teorisini geliştirmiştir.

Elektromanyetik dalganın bulunuşu teorik olarak 1864’de James Clerk Maxwell tarafından yapılmıştır. Maxwell, denkleminin açıklamasını yaparken elektromanyetik dalganın varlığını ilk olarak ortaya atarken ışığın bunun özel bir hali olduğunu öne sürmüştür. Daha sonra Heinrich Hertz adındaki bir bilim adamı 1877’de Maxwell teorisini deneysel olarak ispatlayarak, Hertz dalgaları çok kısa dalgalar olduğundan Maxwell gibi ışıkla benzerliğini ortaya koymasına güç olmamıştır (Yeşil, 1995).

Tablo 3. Elektromanyetizmanın Temel Yasaları ve Maxwell Denklemler (Orhun ve Tanışlı, 1998)

Eşitlik	Yasanın Adı	Fiziksel Anlamı
$\oint E \cdot dS = \frac{q}{\epsilon_0}$	Elektrik Alanda Gauss Yasası	1. Elektrik yükleri arasındaki etkileşme kuvveti, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters, yüklerin çarpımıyla doğru orantılıdır. 2. Yükler bir iletkenin dış yüzeyinde yer alırlar.
$\oint B \cdot dS = 0$	Manyetik Alanda Gauss Yasası	1. Manyetik yükler yoktur. 2. Tek kutuplu mıknatıs elde edilemez.
$\oint E \cdot dl = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	Faraday’ın İndüksiyon Yasası	Kapalı bir iletken halkadan geçen manyetik akım değişirse halkada indüksiyon akımı oluşur.
$\oint B \cdot dl = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i$	Amper Yasası	1. Akım taşıyan tel etrafında manyetik alan oluşur. 2. Işık hızı ortamın elektromanyetik özellikleriyle değişir.

Tablo 3’te Maxwell denklemleri verilmiştir. James Clerk Maxwell, elektrik ve manyetik alanların davranışlarını açıklamak amacıyla Gauss, Amper, Faraday kanunlarını kullanarak, elektromanyetizmanın Maxwell adını verdiği temel denklemlerini yazmıştır. Elektromanyetizmada gauss kanunu elektrik veya manyetik

alanların toplam akısıyla ilgilidir. Amper kanunu manyetik dolanım, faraday kanunu ise elektrik dolanımıyla ilgilidir. Maxwell bu kanunları tüm elektromanyetik alanları içerecek şekilde genişletmiştir (Elhasoğlu, 2006).

Elektrik alanda Gauss yasası'na göre, elektrik alanı oluşturan pozitif veya negatif yükler vardır. Manyetik alanda Gauss yasası'na göre manyetik alanı oluşturan herhangi bir yük yoktur. Amper yasası'na göre yükler ve değişken elektrik alan, manyetik alan oluşturmaktadır. Faraday indüksiyon yasası'na göre ise, zamana göre değişen manyetik alan, elektrik alanı oluşturmaktadır (Tablo 3). İçinden akım geçen iletken telin etrafındaki manyetik alanın değişmesi sonucu ΦE manyetik akısı da $d\Phi B / dt$ hızıyla değişerek, bir elektrik alan oluşturacaktır. Bu olgu, Faraday'ın indüksiyon yasası şeklinde ifade edilmektedir. İndüksiyon akımının yönü Lenz Kanunu ile belirlenmektedir. Lenz kanunu'na göre: "İndüksiyon akımının yönü kendisini meydana getiren sebebe zıttır." Faraday yasasındaki eksi işareti bunu anlatmaktadır (Orhun ve Tanışlı, 1998).

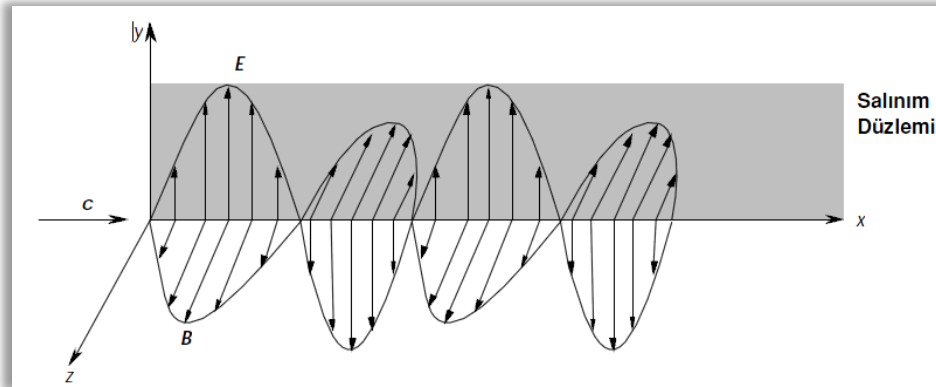
Elektromanyetik Dalgalar ve Özellikleri

Elektromanyetik dalgalar ilk kez 1894'te James Clerk Maxwell tarafından keşfedilmiştir. Elektromanyetik dalgalar, birlikte değişen ve birbirine dik düzlemdeki elektrik ve manyetik alanlardan oluşmaktadır. Uzayda değişen elektrik alanlar manyetik alanları oluşturmaktadır. Bu değişim sinüzoidal (sinüs fonksiyonunun şekli) bir eğri şeklindedir. Bir ortamda elektrik alanı değiştirmek için yüklü cisimleri ivmeli hareket ettirmek gerekmektedir. Dolayısıyla ivmeli hareket eden yükler elektromanyetik dalga yaymaktadırlar (Can, 2008).

Elektromanyetik dalga, bir radyo frekans kaynağından üretilen ve boşlukta yayılan bir alan olarak ifade edilmektedir. Günümüzde özellikle haberleşmede sınırsız ortamda kullanılan elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alan bileşenleri birbirine dik olacak şekilde ve boşlukta yaklaşık olarak $3 \cdot 10^8$ m/s hızla yayılmaktadır. Dolayısıyla boş uzayda ışık hızı ile ilerleyen, elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip olan enine dalgalara elektromanyetik dalgalar denilmektedir (Yaman, 2011).

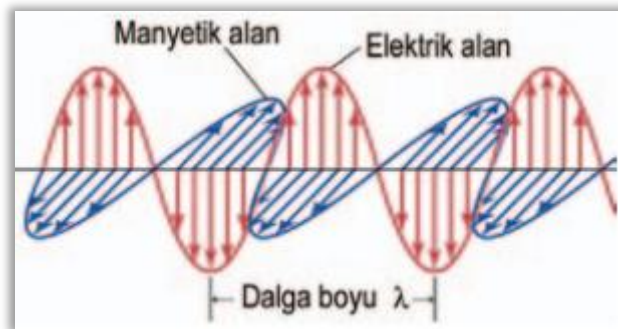
Şekil 7'de kutuplanmış bir elektromanyetik dalga x yönünde ilerlemektedir. Elektrik alan (E) daima y eksenine paralel olup, y yönünde kutuplanmış ve xy düzleminde (salınım düzlemi) titreşmektedir. Benzer şekilde manyetik alan (B), daima z

eksenine paralel olup, z yönünde kutuplanmış ve xz düzleminde salınmaktadır (Orhun ve Tanışlı, 1998).



Şekil 7. Elektromanyetik dalganın kutuplanmış halde anlık görünümü (Orhun ve Tanışlı, 1998)

Elektromanyetik dalgaların karakteri ve ışıma özellikleri, frekansa ve dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Elektromanyetik dalgaların saniyede yaptığı salınım sayısına yani kendilerini tekrarlama sıklığına frekans, bir salınımda aldıkları yola ise dalga boyu denilmektedir. Dalga boyu, iki dalga tepesi arası mesafe olup (Şekil 8) birimi metre ya da cm cinsindedir. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. 1 Hz saniyede bir salınım, 1 kHz (kilohertz) saniyede 10^3 Hz, 1 MHz (megahertz) saniyede bir milyon Hz ya da 10^6 Hz, 1 GHz (gigahertz) saniyede bir milyar Hz ya da 10^9 Hz salınım yapmaktadır (Tübitak-Bilten, 2001).



Şekil 8. Elektromanyetik dalga bileşenleri (Erol, 2005)

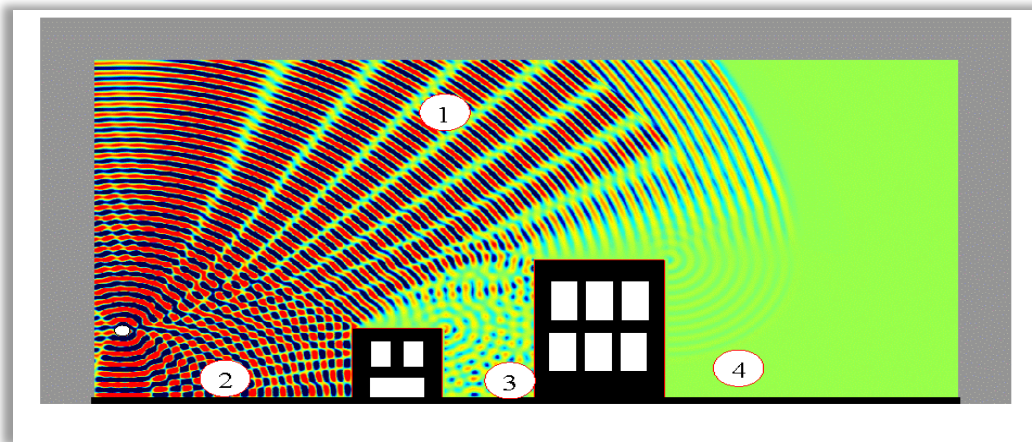
Hava ortamındaki elektromanyetik alanların dalga boyları ile frekansları arasındaki ilişki $c = \lambda \cdot f$ formülüyle gösterilmektedir. Diğer bir ifadeyle hız (c), dalga boyu (λ) ile frekansın (f) çarpımına eşittir. Dalga boyu en uzun olanın frekansı en

düşük, dalga boyu en kısa olanın frekansı yüksektir. Dalga boyunun hesaplanmasında pratik olarak λ (m) = 300/f (MHz) denklemi kullanılabilir. Örneğin, bu denkleme göre f = 10 GHz frekansında dalga boyu, $\lambda = 3$ cm, f = 1 GHz'de $\lambda = 30$ cm ve f = 100 MHz'de $\lambda = 3$ m'dir (Sevgi, 2004b).

Elektromanyetik dalgaların nesnelere (bu arada canlılarla da) etkileşimleri frekansa göre çok farklı olabilmektedir. Örneğin, yüksek gerilim hatları gibi düşük frekanslarda (50 Hz) manyetik alan etkileri daha baskın ve önemli olurken, cep telefonları, radyo-TV yayınları ve mikrodalga fırınları (birkaç yüz MHz' den birkaç bin MHz' e kadar) için elektrik alanın önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bazı kullanılan frekanslara örnek verilecek olursa, evlerimize gelen şehir şebeke ceryanı 50 Hz, FM radyo yayınları 88-108 MHz, TV yayınları 400 - 800 MHz, mikrodalga fırınlar 2450 MHz frekansa sahiptir. Kendisi de elektromanyetik dalga olan görünür ışık 10^{14} Hz, nesnelere yaydığı kızılötesi dalgalar ise 10^{12} Hz frekanslıdır (Sevgi, 2000).

Elektromanyetik dalgalar, yayılmaları için herhangi bir ortama ihtiyaç duymadan hava ve katı materyaller içinde yayıldığı gibi boş uzayda da yayılmaktadır. Elektromanyetik dalgalar binaların içine kadar girebilmektedir. Ancak, bina duvarından geçerken havada yayılmalarına göre enerjilerinin daha büyük bir kısmını kaybederek zayıflamaktadır. Elektriksel iletkenliklerine bağlı olarak bütün cisimlerin elektromanyetik dalgaları yansıtma ya da geçirme özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Tübitak-Bilten, 2001).

Elektromanyetik Dalgaların Yayılımı



Şekil 9. Yerden 15 m yükseklikte bir baz istasyonu anteninin neden olduğu dalgaların yayılması (1), yerden yansımalar (2), bina köşelerinden kırınım (3 ve 4) gösterilmektedir (Sevgi, 2004b)

Elektromanyetik dalgalar çeşitli cisim (kenar, köşe gibi) ve yüzeylerden saçılmaktadır (Şekil 9). Saçılmanın etkileri bakımından iki bileşen söz konusudur. Birincil etkiler yansıma ve kırılma, ikincil etkiler ise kırınım olarak ifade edilmektedir (Sevgi, 2004b).

Yansıma, Kırılma ve Kırınım

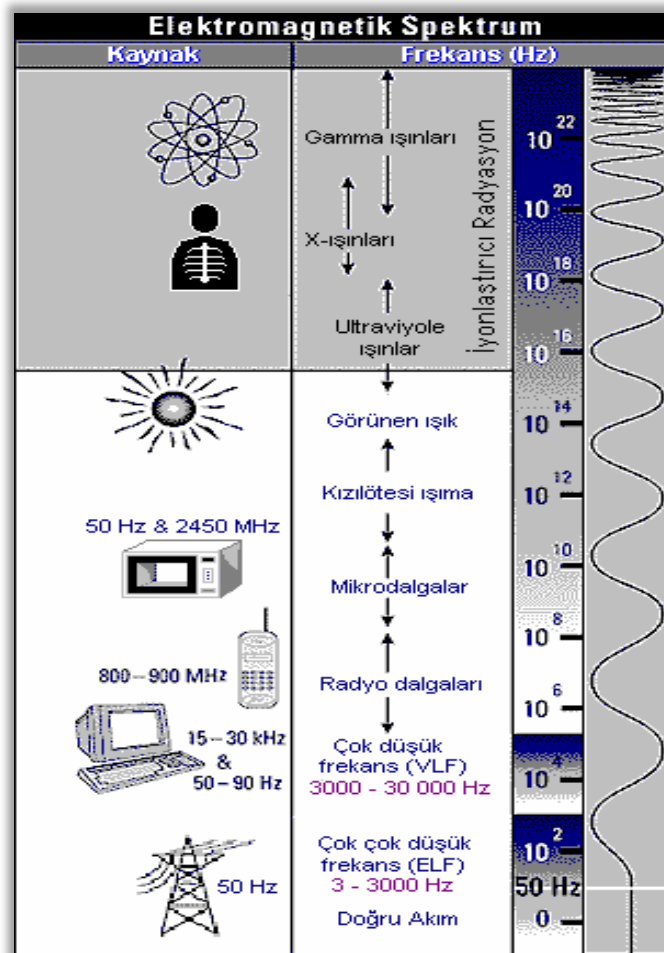
Snell yasası'na göre, bir düzleme belli bir açıyla gelen bir elektromanyetik dalga düzleme aynı açıya sahip olarak yansımakta ve her iki ortamın parametrelerine bağlı olarak değişen bir açıyla da ikinci ortama kırılarak geçmektedir. Bu etkiler, her iki ortamın yansıma ve kırılma katsayısı denilen parametrelerine göre şekillenmektedir. Yansıma ve kırılma olayının, elektromanyetik dalganın yatay ya da düşey polarizasyonlu oluşuna göre oldukça değiştiği de vurgulanmaktadır. Örneğin, yatay polarizasyonlu dalganın düzleme geliş açısına göre yansıma katsayısının fazı ve genliği biraz değişirken, düşey polarizasyonlu dalgalarda aykırı durumlar oluşabildiği belirtilmiştir. Düşey polarizasyonda "Brewster açısı" olarak bilinen bir açıyla gelen dalgaların hemen hemen hiç yansımada, yüzeye kuple olup yüzeyi yalayarak ilerledikleri ifade edilmektedir. Yüzey dalgası adı verilen bu dalga değişik yapılarda elektromanyetik yayılım amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, dikey polarizasyonda gerçekleşen bu durumun yatay polarizasyonda söz konusu olmadığı açıklanmıştır

Yansıma ve kırılma olayları dışındaki ikincil etkiler ise kırınım etkileridir. Ortamlardaki süreksizliklerin ayrıtlarından (kenar, köşe gibi) saçılmaları kapsamaktadır. Örneğin, metal, içi boş ve üzerinde yarık olan bir küre ya da silindirde yarıkların kenar ve köşelerinden saçılmalar olmaktadır. Bu ayrıtlara gelen dalgalar ikincil birer kaynak gibi değişik yönlere saçılmaktadır. Örneğin köşeler bir noktasal kaynak gibi her yöne dalga saçmaktadır. Bunun dışında, elektromanyetik dalgalar eğrisel yüzeyleri yalayarak izleyebilmekte ve arkadaki gölge bölgelere ulaşabilmektedir. Hatta bir küreyi çepeçevre dolaşıp geriye gelebildiği belirtilmektedir. Ayrıca, yarık boyutları (eni ya da boyu) elektromanyetik dalga boylarında olduğunda yarıklardan içeri sızabilen elektromanyetik dalgalar içeride ardışıl yansımalarla dolaşırken bir yandan da yarıktan tekrar dışarı çıkıp sürekli sızıntıya neden olabilmektedir. Çınlama denen bu olay özellikle EMC (elektromanyetik uyumluluk) etkileri açısından önemli görülmektedir (Sevgi, 2004b).

Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalgaların frekansına ve dalga boyuna göre sınıflandırılmasıyla elektromanyetik spektrum (tayf) elde edilmektedir. Boşlukta, belirli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin bu dalga boyu ile orantılı bir frekansı (f) ve foton enerjisi (E) bulunmaktadır. Bu yüzden elektromanyetik spektrum bu üç değerden herhangi biri kullanılarak da ifade edilebilmektedir.

Elektromanyetik spektrum, en uzun dalga boyundan en kısa dalga boyuna sırasıyla ifade edilecek olursa; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür bölge, morötesi, x-ışınları ve gamma-ışınları biçiminde sıralanmaktadır. Gözlerimizin gördüğü ışık, elektromanyetik dalganın gerçek bir parçasıdır. Elektromanyetik spektrumun görünür kısmı, gök kuşağının sahip olduğu portakal rengi ve kırmızıdan, mor ve maviye kadar bütün renkleri içermektedir. Bu renklerin her biri ışığın farklı dalga boylarına karşılık gelmektedir (Kalkan ve Aslantürk, 2007).



Şekil 10. Elektromanyetik spektrumda önemli frekanslar (Sevgi, 2005a)

EM spektrum altında çalışacak cihaz ve sistemler, ELF (aşırı düşük frekans) ve VLF (çok düşük frekans)'den başlayıp, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünen ışık, UV (ultraviyole) ışınlar, x-ışınları ve 10^{24} Hz frekansı aşan gama ışınlarına kadar uzanmaktadır (Şekil 10).

Elektromanyetik spektrumda;

- 3 Hz - 3 kHz arası çok çok düşük frekans bölgesi
- 3 kHz - 30 kHz arası çok düşük frekans bölgesi
- 10^{12} Hz'lere kadar olan bölge radyo dalgaları diye geçmektedir.
- 10^{12} Hz'ler kızıl ötesi ışınma bölgesidir. Bütün nesnelere bu frekanslarda ısınım yapmaktadır. Örneğin vücudumuzdaki ısının yaklaşık % 60'ı kızıl ötesi ısınım ile dışarı atılmaktadır.
- Görünür ışık frekansları 10^{14} Hz'lerdir. Bu frekansların üstü iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi olup mor ötesi, x ve gama ışınları bu bölgede yer almaktadır (Sevgi, 2005a).

3 KHz'den 300 GHz'e kadar olan elektromanyetik frekans aralıkları dalga boylarıyla birlikte Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Elektromanyetik frekans aralıkları (Ermol, 2008)

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

Serway (1996)'e göre, elektromanyetik spektrumda yer alan her dalganın kendine has özellikleri vardır. Bu özellikler, yayıldıkları frekansa ve dalga boyuna göre değişmektedir. Elektromanyetik alanlar, düşük frekanslarda büyük dalgalar halinde yayılırken, frekans yükseldikçe fotonlar halinde yayılmaya başlarlar ve her bir fotonun taşıdığı enerji ise elektromanyetik dalganın frekansı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Fotonların taşıdığı enerji aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (Sorgucu, 2011'den aktarılmıştır).

$$W = h \cdot f \text{ (Joule) ya da } W = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Burada h, planck sabitini ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s), f ise, fotonun yayıldığı frekansı (Hz) temsil etmektedir. Taşıdıkları enerji joule cinsinden ifade edilmiş olmasına karşın, ışınların iyonize olup olmaması, foton enerjisi ile ifade edilmektedir. Bu nedenle, foton enerji birimi olarak elektron volt (eV) kullanılmaktadır eV ile Joule arasındaki ilişki, $1 \text{ joule} = 6,24150974 \times 10^{18} \text{ eV}$ eşitliği ile dönüşüm sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, günlük hayatta çok sık maruz kalınan elektromanyetik dalgalar içerisinde radyo frekans ve mikro dalgalar ağırlık olarak ele alınmıştır.

Radyo Frekans Dalgaları (RF:10⁴-10⁹Hz) ve Mikrodalgalar (MW:10⁸-10¹²Hz)

Günlük hayatta en çok maruz kalınan elektromanyetik alanlar iki ayrı frekans bandından meydana gelmektedir. Birincisi, çok çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlar olarak isimlendirilen evlerde kullanılan elektriksel cihazlardan, yüksek gerilim hatları-trafolardan yayılan ELF bandıdır. Diğeri ise haberleşmede kullandığımız baz istasyonları, cep telefonları ve radyo-TV vericilerini kapsayan radyo-mikrodalga frekans (RF-MW) bantlarıdır (Çerezci, 2012).

Wilson ve Hawkes (1989) çalışmasında, mikrodalga (MW) ve radyo frekans (RF) radyasyonu, enerjilerinin 1eV'dan düşük olması nedeniyle “non-iyonize radyasyon” (s.13) olarak tanımlanmaktadır. Çoğu kaynakta mikrodalga ve RF alanların frekanslarının iç içe verildiği belirtilerek böylece mikrodalga'nın alt sınırının RF'nin üst sınırı içine girdiği ifade edilmektedir. Bazı kaynaklarda ise kesin bir şekilde bu alanların birbirinden ayrıldığı vurgulanmıştır (Aral, 2008'den aktarılmıştır).

Genellikle RF için dalga boyu (λ), frekans (f) ve enerji (E) aralıkları;

$$\lambda = 100 \text{ km} - 300 \text{ mm}$$

$$f = 3 \times 10^3 - 1 \times 10^9 \text{ Hz}$$

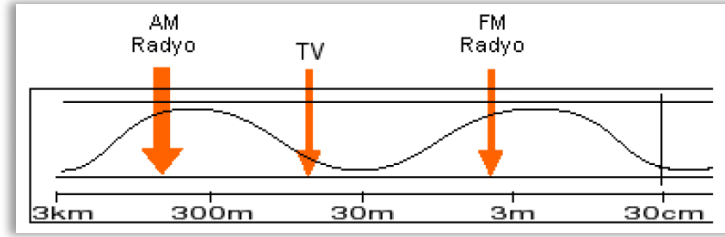
$$E = 1.2 \times 10^{-11} - 4 \times 10^{-6} \text{ eV'tur}$$

MW için ise bu aralıklar;

$$\lambda = 300 \text{ mm} - 0.3 \text{ mm}$$

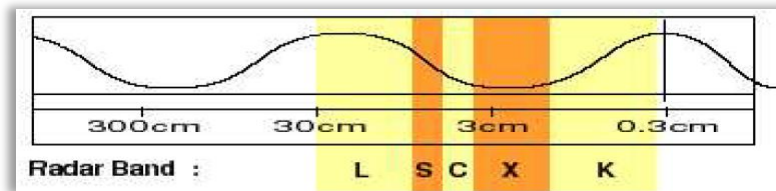
$$f = 10^9 \text{ Hz} - 10^{12} \text{ Hz}$$

$$E = 4 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-3} \text{ eV olarak verilir.}$$



Şekil 11. Radyo frekans dalgalar - Dalga boyu bandı
(Kalkan ve Aslantürk, 2007)

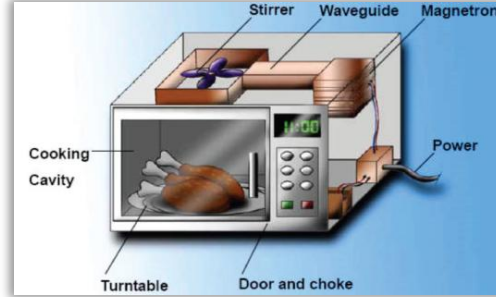
Radyo dalgaları elektromanyetik spektrumda en uzun dalga boyuna sahiptir. Dalga boyları 30 cm dolaylarından kilometrelere kadar ulaşmaktadır (Şekil 11). Radyo dalgaları, radyolara müzik getirmekten çok daha fazla iş yapmakta, televizyon ve cep telefonu sinyallerini de taşıma görevini üstlenmektedir. Evlerde televizyon üzerindeki anten, TV istasyonundan yayılan sinyali elektromanyetik dalga biçiminde alıp TV adı verilen görüntü cihazı tarafından işlenerek karşımıza görüntü olarak çıkartmaktadır. Cep telefonlarında da bilgi iletişimi için RF-MW dalgaları kullanılmaktadır. Bu dalgaların dalga boyları TV ve FM'in sahip olduğu dalga boylarından daha küçüktür. Mikrodalgalar, bilgileri içinde bulunduran sinyalleri, bir yerden başka bir yere taşımak için oldukça iyi bir taşıyıcı görevi yapmaktadırlar. Radar sistemlerinde kullanıldıkları için bu dalgalara radar dalgaları da denilmektedir. Bu dalgalar, santimetre mertebesinde ölçülen dalga boylarına (Şekil 12) sahiptirler (Kalkan ve Aslantürk, 2007).



Şekil 12. Mikrodalgalar - Dalga boyu bandı
(Kalkan ve Aslantürk, 2007)

Mikrodalga enerjinin en tanınmış ve yaygın uygulaması 2450 MHz'de çalışan mikrodalga fırınlardır (Tübitak-Bilten, 2001). Mikrodalga fırınlarda (Şekil 13) 2450 MHz'li dalgalar, gıdaların pişirilmesinde yiyecek malzemesine en etkili enerji transferi yaptığı için özellikle seçilmektedir. Mikrodalga fırının içine giren yiyecek ısınlanırken yiyecek maddesi içindeki su molekülleri saniyede milyon defa titreşim ve dönme yaparken oluşan sürtünmeler sebebiyle gıda malzemesi ısınmaktadır. Isınma işlemi gıdanın su oranı fazla olan bölgelerinde suyun elektromanyetik dalgadan çok fazla

enerji soğurması nedeniyle daha fazla olmaktadır. Mikrodalga fırında şiddetli ışınlama esnasında gıda malzemesinin bazı moleküllerinde deformasyon olabileceği yorumları da yapılmaktadır (Çerezci, 2012).

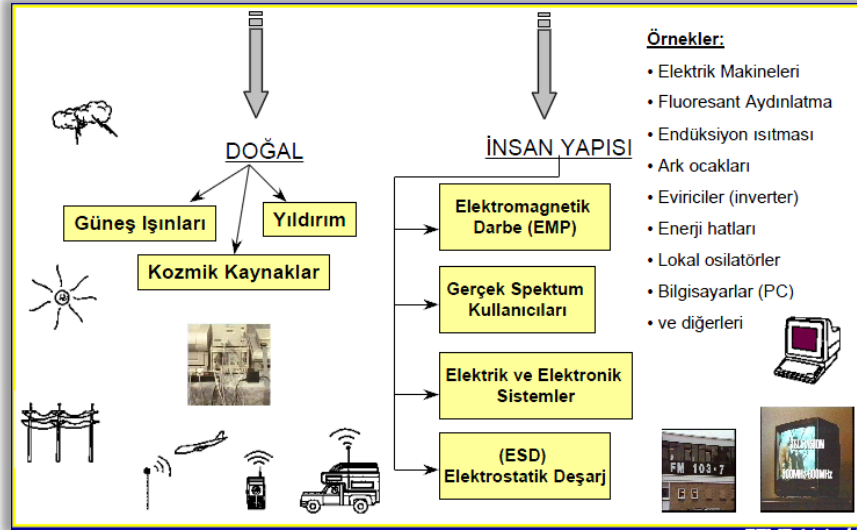


Şekil 13. Mikrodalga fırın (Çerezci, 2012)

Günümüzde, insanların en yaygın olarak kullanılan diğer bir radyo dalga-mikrodalga kaynakları cep telefonlarıdır. Türkiye’de bilgi iletişimi için de kullanılan bu dalgalar için hücresel haberleşme sistemleri GSM 900 ve DCS 1800 frekans bandlarında hizmet vermektedir. GSM 900’ün çalışma frekans bandı 880-960 MHz, DCS 1800’ün frekans bandı ise 1710-1880 MHz’dir. Ayrıca, araç telefonlarında kullanılan NMT de hücresel bir haberleşme sistemidir ve çalışma frekansı 450 MHz’dir (Tübitak-Bilten, 2001).

Elektromanyetik Girişim (EMI)

Radyo, TV gibi tek yönlü haberleşme sistemleri ile telefon, radar gibi iki yönlü sistemler haber işaretlerinin bir yerden bir başka yere elektromanyetik dalgalarla iletilmesi ile gerçekleşmektedir. Haber taşıyan EM işaretlerin başka EM işaretlere karışmasına EM girişim (EMI, electromagnetic interference) adı verilmektedir. Haber işareti faydalı işaret, bozucu işaret ise istenmeyen işaret olarak geçmektedir. Doğal bozucu işaretler olabileceği gibi (güneş patlamaları, yıldırım düşmesi, kozmik dengesizlikler) insanın neden olduğu yapay bozucu işaretler de (örneğin araç motorları, TV vericileri, enerji hatları, elektrik makineleri, aydınlatma lambaları, endüstriyel uygulamalar) söz konusu olabilmektedir (Şekil 14). EM dalgalar etkiledikleri cihazlar üzerinde yüzey akımları oluşturmakta ve bunun sonucu bu cihaz ikincil bir kaynak gibi EM ışıma yapmaktadır (Sevgi, 2003).

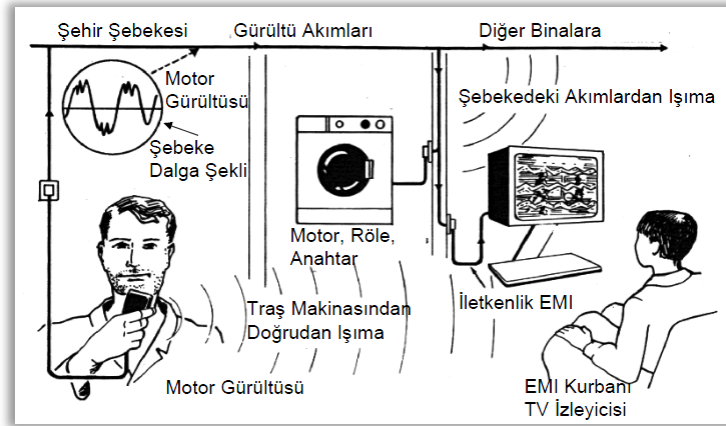


Şekil 14. EM girişim kaynakları (Sevgi, 2002)

Aşağıda günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan elektromanyetik ışıma örneklerine yer verilmiştir:

- Düşen bir yıldırımın telefon sistemlerini, evlerdeki elektronik cihazları çalışamaz duruma getirmesi.
- Evlerde elektrik süpürgesi, saç kurutma makinesi vb. ev aletlerinin TV görüntüsünde karlanmaya neden olması.
- Radyo dinlerken polis telsizlerinin araya girmesi.
- Havaalanı radarlarının diz üstü bilgisayarlarından etkilenmesi.
- Cep telefonlarının araç ABS fren sistemlerini etkilemesi.
- Baskı devrelerde sızıntı.
- Cep telefonu ile konuşurken bilgisayarda gürültü oluşması (Dural, 2008).

Kaynağı ve niteliği ne olursa olsun bir EM girişim probleminde EM girişim kaynağı, girişimden etkilenen kurban ve kaynak ile kurban arasındaki iletim ya da kuplaj ortamı olmak üzere üç unsur bulunmaktadır. Örneğin, bir bilgisayar EM girişim kaynağı, yakınındaki bir TV ise kurban olabilmektedir. Girişim kaynağı ile kurban arasında iki önemli girişim/kuplaj yolunu oluşturanlardan birisi şebeke üzerinden birbirine ulaşabilen besleme kablo iletkenleri, diğeri ise bağlantı olmadan direk atmosfer yoluyla oluşan EM dalgalarıdır (Sevgi, 2003).

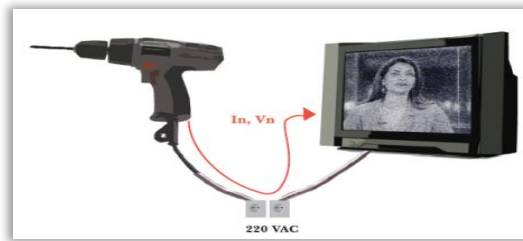


Şekil 15. Tipik EMC / EMI problemleri (Sevgi, 2002)

Kaynakla kurban arasındaki EMI problemi iletkenlik yolu (kablo ve diğer bağlantılar üzerinden) ve ışınım yolu (kablosuz, atmosfer yoluyla) yayılım (Şekil 15) olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir.

İletkenlik Yollu Yayılım (CE)

Girişim kaynağı ile etkilenen sistem arasında güç, işaret ve telefon hatları var ise bunlar üzerinden veya başka metalik yollar üzerinden iletkenlik yolu ile girişim gerçekleşebilmektedir (B. Kılıç, 2010). Bu yayılım, toprak iletkenleri, işaret kabloları, anten sürücüler vb. düşük empedanslı yollar üzerinden geçerek çoğunlukla 30 MHz'in altındaki frekanslarda gözlemlenmektedir. 30 MHz'in üzerinde ise zayıflama hızla artmaktadır (Sevgi, 2002). Şekil 16'daki iletkenlik yoluyla EM girişim, darbeli matkap girişim kaynağını, TV etkilenen sistemi, güç hattı ise kuplaj yolunu oluşturmaktadır.



Şekil 16. İletkenlik yoluyla EM girişim (B.Kılıç, 2010)

Işınım Yollu Yayılım (RE)

Girişim kaynağından çıkan EM enerjinin ışınım yoluyla toprak iletkenleri, işaret kabloları, anten sürücüler vb. düşük empedanslı yollar üzerine ulaşmasıyla oluşarak

çoğunlukla 30 MHz'in üstündeki frekanslarda etkili olmakta ve 30 MHz'in altındaki ışımaların ise ihmal edilebilir düzeyde olduğu kabul edilmektedir (Sevgi, 2002). Şekil 17'deki ışıma yoluyla EM girişim, telefon girişim kaynağını, TV etkilenen sistemi, hava ise kuplaj yolunu oluşturmaktadır.



Şekil 17. Işıma yoluyla EM girişim
(B.Kılıç, 2010)

Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

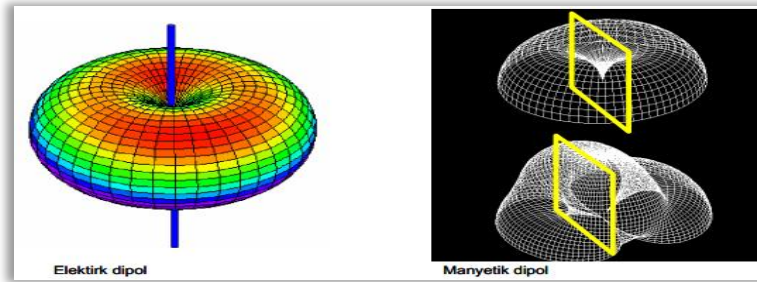
Becerik (2011), elektromanyetik uyumluluğu, “bir elektrik ya da elektronik sistem, makine ve aygıtın elektromanyetik bir ortamda sistemin diğer elemanlarını etkilemeden arızasız olarak çalışma yeteneği” (s.36) olarak tanımlamaktadır.

İlgili uluslararası kuruluşlarca EMC “bir sistem veya cihazın içinde bulunduğu elektromanyetik ortamda fonksiyonlarını, bu ortamda telafi edilemez bir bozulma yapmaksızın yerine getirebilme yeteneği” olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, EM uyumlu ürün için tasarımdan planlamaya, üretimden pazara kadar her aşamada EMC koşullarına uygunluğun zorunluluğunu açıkça ortaya koymaktadır (Sevgi, 2004a).

Tanımlardan da anlaşılacağı üzere elektromanyetik uyumlulukta bir cihazın verimli bir şekilde çalışabilmesi için etrafında bu uyumluluğu bozabilecek elektromanyetik girişim problemlerinin önemli bir sorun olduğu görülmektedir. EMI problemlerinden kaynaklı bütün EMC problemlerinin ardında elektrik dipolü ve manyetik dipol olmak üzere iki temel elektriksel kaynağın söz konusu olduğu ifade edilmektedir. İçinden akım akan iletken tel parçaları elektrik dipol gibi, içinden akım akan halka şeklindeki parçalar ise manyetik dipol gibi davranmaktadır. Elektrik dipol yakınında güçlü elektrik alan, manyetik dipol yakınında ise güçlü manyetik alan oluşmaktadır. Dolayısıyla, elektrik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında elektriksel ekranlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında ise manyetik ekranlama gerekmektedir (Sevgi, 2004c).

Şekil 18’de solda, ortasından beslenen belli uzunluktaki iletken bir çubuk anten (elektrik dipol) ve etrafında üç boyutlu gösterilen değişimler ise elektrik alanının yoğun

olduğu yerleri göstermektedir. Çubuk doğrultusunda anten hiç ışına yapmazken, yatay doğrultuda eksene paralel maksimum ışına yapmaktadır (Şekil 18). Sağda ise bir kare şeklinde bir çerçeve anten (manyetik dipol) ve ışınması gösterilmiştir. Her iki dipol de üzerinden geçen akımla etrafında elektrik ve manyetik alanlar oluşturmaktadır (Sevgi, 2003).

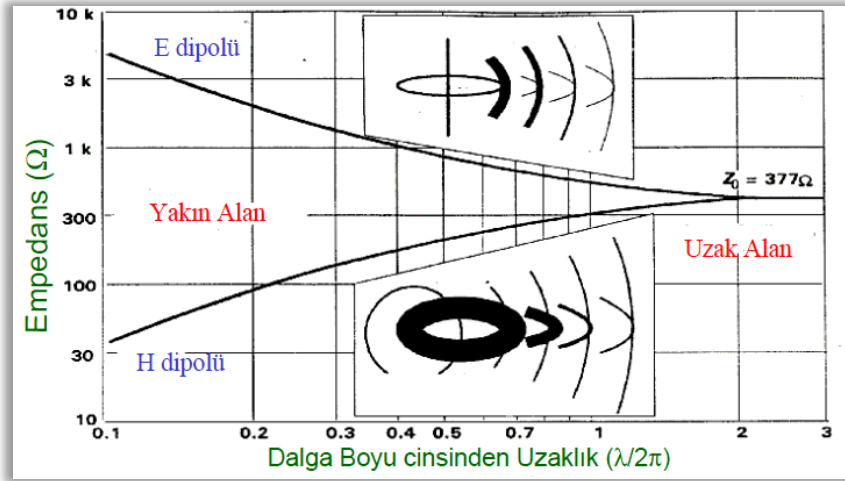


Şekil 18. Elektrik (çizgisel) ve manyetik (halka) dipoller ve tipik ışınmaları (Sevgi, 2003)

Bu tür ışınmaların gerçekleştiği antenlerde önemli görülen parametrelerden biri de anten polarizasyonudur. Polarizasyon, elektrik alanının zamanla çizdiği şekle göre tanımlanan bir kavramdır. Antenin yaydığı elektromanyetik dalgalar için iletim boyunca elektrik alan eğer zemine dik ise düşey, paralel ise yatay polarizasyonlu dalga adını almaktadır (Sevgi, 2005b).

Wieckowski ve Janukiewicz (2006) çalışmasında, EM girişim problemlerinde elektrik ve manyetik dipol kaynaklarının etkileri açısından yakın alan, uzak alan ve bu iki alanın sınırı olarak kabul edilen geçiş alan bölgelerinin varlığından bahsetmektedir. Uzak alan bölgesi $\lambda/2\pi$ uzaklıktan başlayıp sonsuza kadar uzanan bölgeyi kapsamaktadır. Uzak alanda, elektrik ve manyetik dipol kaynaklarının etkileri önemsenmemekte ve yayılan dalgalar düzlemsel dalga olarak geçmektedir. Yakın alan bölgesi ise kaynaktan $\lambda/2\pi$ 'ye kadar olan uzaklıktaki bölgeye denilmektedir. Yakın alanda; elektromanyetik girişim kaynakları, kaynakların ölçüm noktasına uzaklığı ve yayılma çevre parametreleri önemli rol oynamaktadır.

EM girişim problemlerinde çoğu kez yakın alanlar söz konusu olduğundan her iki dipolün de yakın alan davranışlarının iyi bilinmesi alınacak önlemler açısından son derece önemli görülmektedir. Şekil 19'da her iki dipolün yakın alan davranışları verilmiştir.



Şekil 19. Elektrik ve manyetik dipollerin mesafeyle ışıma dirençlerinin değişimi (Sevgi, 2002).

Şekil 19'da yatay eksen dipolden itibaren uzaklığı, dikey eksen ise dalga empedansını göstermektedir. Elektrik dipolün dalga empedansı dipol yakınında çok yüksek görülürken ($\sim 5-10$ k Ω), manyetik dipolün dalga empedansı birkaç ohm'lar (Ω) düzeyindedir. Dalga boyu cinsinde olan uzaklık $\lambda/2\pi$ (m)'yi aştığında her iki dipol için de aynı dalga empedansına yani boşluk düzlem dalga empedansına (377 Ω) ulaşılmaktadır. Bu $\lambda/2\pi$ mesafesi yakın alan - uzak alan sınırı (geçiş alanı) olarak kabul edilmektedir.

Özetle, EM girişimin ortadan kaldırılmasının üç şekilde önlenebileceği ifade edilmektedir.

- EM sızıntısının kaynaklandığı girişimin nedeni bulunarak uygun karşı önlemlerle girişim kaynağı ortadan kaldırılarak,
- EM girişimden etkilenen kurban sağlanlaştırılarak yani birçok elektrikli cihaz artık bir arada yaşamak zorunda olduğundan istenmeyen bozucu işaretlere karşı daha dayanıklı cihazlar geliştirilerek,
- Girişim yolları ortadan kaldırılarak yani kaynak ile kurban arasındaki girişim kuplajı engellemek amacıyla EM işaretleri yutan, engelleyen düzenlerden yararlanılarak örneğin, iletkenlik yollu girişimde ferrit filtrelerle bozucu işaretler süzlebilmektedir. Ya da ışınım yollu girişimin önü ekranlama duvarları ile kesilerek EM girişim önlenebilmektedir (Sevgi, 2003).

Elektromanyetik Kalkanlama Teorisi

Bu başlıkta, kalkanlama ya da ekranlama kavramı, elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EMSE), frekansa bağlı olarak kalkanlama etkinliği bölgeleri, elektromanyetik kalkanlamada kullanılan malzemeler, faraday kafesi ve işleyişi, EMSE ölçüm metotları ve ilgili standartlara yer verilmiştir.

Kalkanlama Nedir?

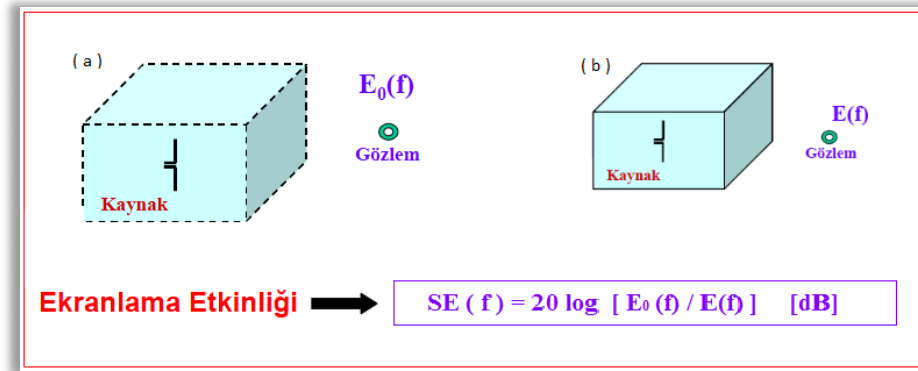
İkinci dünya savaşından bu yana radyo haberleşme sistemleri ve evlerde, iş yerlerinde, fabrikalarda elektronik cihazların sayısı çok hızlı bir şekilde artmakta dolayısıyla da ekranlama ihtiyacı her geçen gün çok önemli boyut kazanmaktadır. Elektromanyetik ekranlı yapılar çevremizdeki elektromanyetik (EM) gürültü kirliliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek açısından artan sayıda kullanılır hale gelmiştir. Günümüzde özellikle devlet, askeri endüstri, özel sektör, tıbbi tesisler ve Ar-Ge yapan birimler EM girişime karşı ekranlı yapılara gereksinim duymaktadırlar. Hatta son yıllarda dünyada hem savunma sanayisinde hem de endüstride elektronik dinleme ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmakta, elektronik dinlemeye karşı ortamı güvenli hale getirmek için de ekranlı yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Ekranlı yapılar, sağlaması gereken ekranlama etkinliği derecesine göre, metal folyo, metal kumaş, metal panel vb malzemeler kullanılarak inşa edilmektedir (B. Kılıç, 2010).

Etrafına elektromanyetik dalga yayan girişim kaynaklarının kalkanlaması ya da ekranlanması, bu dalganın bir iletken materyal tarafından absorbe edilmesi veya yansıtılması yoluyla gerçekleşmekte böylece zararlı olabilecek dalganın içeri nüfuz etmesi engellenmiş olmaktadır. Ekranlama; kart, devre ya da cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik anlamda izole etmek olarak da tanımlanmaktadır. Ekranlamanın etkinliğinin ekranlanacak kaynağın cinsine bağlı olduğu da ifade edilmektedir (Sevgi, 2004c).

Ekranlanacak yapı, ekranlı yapı içerisindeki cihazlara/sistemlere ve EM girişimi engellemek, elektronik dinlemeyi engellemek gibi ekranlamanın işlevlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin yüksek güçlü radar sistemlerine çok yakın bir yerde duyarlı elektronik cihazlar varsa bu cihazları korumak için daha yüksek düzeyli bir ekranlı yapı kurulması gerekirken, elektronik dinlemeyi engellemek için nispeten daha düşük ekranlama düzeyine sahip yapılar kurulabilmektedir (B. Kılıç, 2010).

Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği (EMSE) Nedir?

Kalkanlama etkinliği (SE-Shielding Effectiveness) ya da ekranlama etkinliği, kaynak ile gözlem arasında ekran yokken oluşan alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine oranıdır. SE, şekil 20'de gösterildiği gibi kaynak ile gözlem arasında ekran yok iken ölçülen elektrik alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Yüksek SE (dB), iyi bir ekranlama etkinliğini ifade etmektedir. Negatif SE ise, çınlama (rezonans) yani ekranlama bir yana negatif işaretin kuvvetlenerek ekranlı malzemenin tersinde bir davranış göstermesi anlamına gelmektedir (Sevgi, 2004c).



şekil 20. Ekranlama etkinliğinin tanımı a) Ekran yok iken yapılan ölçüm $E_0(f)$ b) Ekran var iken yapılan ölçüm $E(f)$ (Sevgi, 2004c)

Ekranlama etkinliği (SE) ölçümleri belirlenirken elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güçten yararlanılarak aşağıdaki denklemlerde lineer birimler için SE şöyle bulunmaktadır (IEEE-STD-299, 2006):

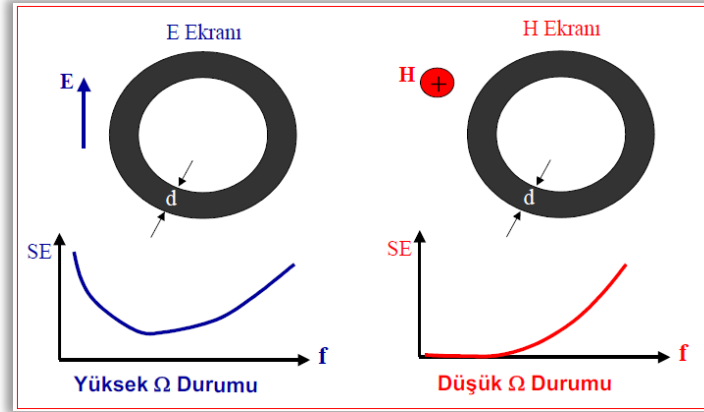
$SE [dB] = 10 \log (P_1 / P_2)$	P_1 : Ekran yokken ölçülen güç (watt)
	P_2 : Ekran varken ölçülen güç (watt)
$SE [dB] = 20 \log (E_1 / E_2)$	E_1 : Ekran yokken ölçülen elektriksel alan şiddeti ($\mu V/m$)
	E_2 : Ekran varken ölçülen elektriksel alan şiddeti ($\mu V/m$)
$SE [dB] = 20 \log (H_1 / H_2)$	H_1 : Ekran yokken ölçülen manyetik alan şiddeti ($\mu A/m, \mu T$)
	H_2 : Ekran varken ölçülen manyetik alan şiddeti ($\mu A/m, \mu T$)

Bu formüller yerine daha pratik olarak elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç ile ilgili logaritmik birimlerden (dB) yola çıkarak, ekran yokken gerçekteşen ölçüm (dB) ile ekran varken gerçekteşen ölçümler (dB) arasındaki fark, doğrudan ekranlama etkinliğini (SE) (dB) vermektedir (IEEE-STD-299, 2006).

$$S E = |E1| \text{ (dB)} - |E2| \text{ (dB)}$$

$$S E = |H1| \text{ (dB)} - |H2| \text{ (dB)}$$

$$S E = |P1| \text{ (dB)} - |P2| \text{ (dB)}$$



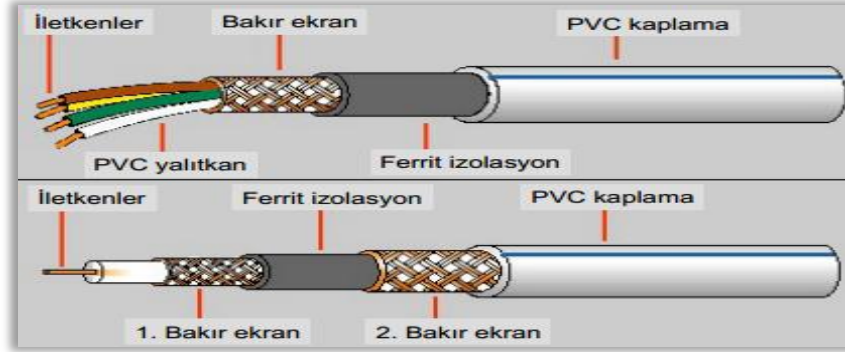
Şekil 21. Elektrik ve manyetik dipoller için ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi (Sevgi, 2004c)

SE, frekansla değişmektedir. Elektrik ve manyetik dipoller için ekranlama performansı açısından ekranlama etkinliğinin frekansla değişiminin karşılaştırılması Şekil 21'de gösterilmektedir. Şekilde özdeş ve kalınlığı d olan iki metal küre görülmektedir. Kürelerden birinin yakınında yüksek elektrik alan yaratan elektrik dipol bulunurken diğerinin yanında ise yüksek manyetik alan yaratan bir manyetik dipol yer almaktadır. Metal kürenin ekranlama etkinliği, elektrik dipol tipi girişim kaynakları için alçak frekanslarda yüksek iken, manyetik dipol tipi girişimler için ekranlama etkinliği neredeyse yok olmaktadır. Yüksek frekanslara çıkıldığında ise her iki tip kaynak için de ekranlama etkinliği frekans arttıkça artmaktadır (Sevgi, 2004c).

Elektrik dipolü gibi davranan elemanların neden olduğu girişimi ortadan kaldırmak için elektriksel ekranlama yeterli olurken (örneğin basit bir alüminyum folyo ile 15-20 dB ekranlama sağlanabilmekte), manyetik dipol gibi davranan elemanların neden olduğu girişimde bu yöntem kullanılamamaktadır. Örneğin, güçlü bir trafonun civarında elektriksel ekranlama işe yaramamaktadır. Bu durumda manyetik filtreleme sağlayan ferromanyetik (demir, nikel, kobalt) malzemelerden oluşan koruma materyalleri tercih edilmektedir (Sevgi, 2003).

Şekil 22'de, günümüzde kullanılan tek ve çift ekranlı kabloların örnekleri gösterilmiştir. Üstte bakır ekran koruması altındaki kablo dışarıdan gelebilecek girişimlere karşı iyi bir elektriksel ekranlama sağlarken manyetik alan girişimlerine

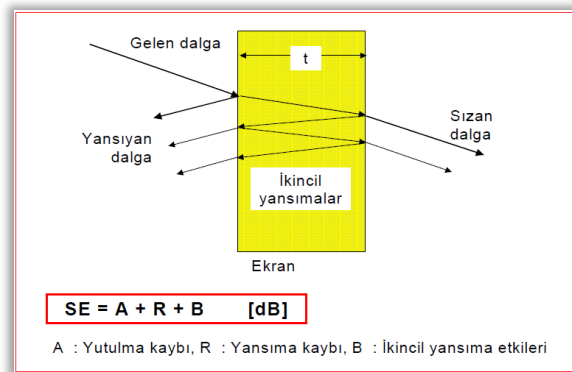
karşı korumasızdır. Altta, iki bakır ekran arasında ferrit izolasyon bulunan çok iletkenli bir kablo örneğinde ise bakır ekran elektriksel koruma sağlarken ferrit bilezik manyetik ekranlama etkisi göstermektedir (Sevgi, 2004e).



Şekil 22. Günümüzde kullanılan tek ve çift ekranlı tipik kablolar, (üstte) sadece elektriksel ekranlama, (altta) elektriksel ve manyetik ekranlama (Sevgi, 2004e).

Malzemelerin ekranlama etkinliği uygulama alanını belirleyen bir parametredir. Metal ekranlar için ekranlama etkinliğini sadece materyalin elektrik ve manyetik parametreleri ile belirlenirken, bükülü metalik veya grafit teller içeren materyaller, metalize yüzeye sahip plastik materyaller, kompozit materyaller ve ekranlama özelliğine sahip tekstil materyallerinde ise, SE değerinin sadece fiili olarak ölçülerek belirlenebileceği ifade edilmektedir (Kılıç ve diğerleri, 2009).

Şekil 23'te elektriksel ekranlama için mekanizma gösterilmektedir. Kalınlığı t olan kayıplı bir duvar elektromanyetik dalgaları üç şekilde zayıflatmaktadır. Birincisi duvardan yansımalar (R), ikincisi duvar içindeki zayıflamalar (A) (yutulma) ve üçüncüsü ise duvar içerisindeki ardışıl yansıma (B) kayıplarıdır (Sevgi, 2004c).



Şekil 23. Kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri (Sevgi, 2004c)

Belli bir kalınlığa sahip metal ekranlarda ekran kalınlığı (t) arttıkça metal içindeki yutulma oranı artmaktadır. Malzemenin yüksek iletkenlik özelliğine sahip olması da hem yansıtma hem de yutma kapasitesini arttırmaktadır. Metal ekranın üzerine gelen EM dalgalar, hava-metal ekran empedans uyumsuzluğu nedeniyle metal duvara çarpıp geri yansiyarak yansıma kaybını (R) oluştururken, bir kısım EM dalga ise metal ekranın içerisine girerek ekrandan çıkana kadar yutularak yutulma kaybı (A) yaşamaktadır. EM dalga son olarak metal duvar içerisinde pek çok ardışıl yansımalar yaparak ardışıl yansıma kayıplarını da (B) beraberinde getirmektedir. Bu kayıpların dışında, ekranlı yapılarda ekranlama etkinliği; metal birleşim yerlerinde, delikler ve açıklıkların olduğu yerlerde sızıntı nedeniyle ve ekranlı yapının boyutlarıyla bağlantılı olarak belirli frekanslarda ekranlı yapıların rezonatör gibi çalışarak duran dalga etkisi oluşturması nedeniyle de ekranlama etkinliği azalmaktadır. Dolayısıyla bu kayıplar göz önünde bulundurularak “net ekranlama etkinliği $SE = R + A + B - \text{Sızıntı Etkileri} - \text{Duran Dalga Etkileri}$ ” şeklinde ifade edilmektedir (B. Kılıç, 2010).

Roh ve diğerleri (2008)’ne göre, EM dalganın uzaydaki empedansı, ekrandaki empedansından farklı olduğunda ekrandan yansıma gerçekleşmektedir. Bu yansımanın ekranın kalınlığından bağımsız ve materyalin iletkenliğinin, manyetik geçirgenliğinin ve frekansın bir fonksiyonu olduğu vurgulanmaktadır. Dalga empedansı manyetik ve elektrik alanlar için farklı olduğundan her dalga tipi için ekrandaki yansımalar farklı karakteristikler gösterebilmektedir. Metalik yüzeye çarpan bir elektromanyetik dalganın bir kısmı geri yansıtılırken diğer kısmı da ortam ya da bariyerden geçerek ölçülen sinyali oluşturmaktadır. Bariyerden geçerken EM dalga titreşime zorlandığından enerji kaybı ısı şeklinde kaybedilerek EM dalga zayıflamaktadır. Yaşanan bu absorpsiyon kaybı, alanın dalga empedansına bağlı olmamakla birlikte yakın veya uzak alan şartları ile ilgili de olmadığı belirtilmektedir. Bu kayıpların (yansıma ve absorpsiyon) kombine efekti ekranın etkinliğini (SE) belirlemektedir. Ayrıca ekranlama etkinliğinin frekansla, ekran geometrisiyle, ekranın içerisindeki yerleşimle, zayıflatılan alan tipiyle, çarpma yönüyle ilişkili olduğu da ifade edilmektedir (Kılıç ve diğerleri, 2008’den aktarılmıştır).

Pratikte ekranlamada önemli görülen hususlar aşağıda verilmiştir:

- Ekranlama, elektrik alanın düşük frekanslarda yansıtılması yüksek frekanslarda yutulması ve manyetik alanın düşük frekanslarda yutulması ile gerçekleşmektedir.
- Yüksek iletkenlik, yansıma ve yutulmayı pozitif yönde etkilemektedir.

- Yüksek manyetik geçirgenlik yüksek yutulmaya neden olurken, düşük yansıma oluşturmaktadır.
- Çok düşük frekanslı manyetik kaynakların ekranlanacağı hallerde yüksek manyetik geçirgenlikli malzemeler kullanılmaktadır.
- Ekran kalınlığı arttıkça yutulma artmaktadır.
- Manyetik alan için kalın ekranlara ihtiyaç duyulurken elektrik alan için ince yapılar (folyo kalınlığında) kullanılabilir.
- Kaynak ile ekran arasındaki uzaklık, yansıma özelliklerini değiştirebilmektedir.
- Elektrik kaynaklar ekrana yakın, manyetik kaynaklar ekrana uzak yerleştirilmelidir.

Uygulamaya yönelik önemli hususlar:

- Ekranlama yapısını tasarlamadan önce elektrik, manyetik ya da her ikisine de ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi gerekmektedir (çoğu durumda elektriksel ekranlama gereksinimleri karşılamak için yeterli olmaktadır).
- Manyetik ekranlama frekansın artması ile yükselmektedir.
- Elektriksel ekranlama ise belli bir frekansta minimum göstermektedir

Sonuç olarak bir ekranlamanın EMC performansı, kullanılan malzemelerin özelliklerine, çalışma frekansına ve dikkate alınan kaynaklara bağlıdır. Ancak pratikte, girişim kaynağına göre ekranın konumu, farklı ekran parçalarının arasındaki bağlantılar, ekran üzerindeki delikler ve boşluklar vb. başka etkenler de baskın rol oynamaktadır (Sevgi, 2004c).

Frekansa Bağlı Olarak Kalkanlama Etkinliği Bölgeleri

Kalkanlama, frekansa bağlı olarak EM alanın egemen unsuruna göre manyetik alan, elektriksel alan ve düzlem dalga kalkanlama olmak üzere üç ayrı bölgede değerlendirilmektedir.

Manyetik alan (H) kalkanlama/ekranlama, pratik olarak $f < 30$ MHz gibi düşük frekanslarda önemlidir. Manyetik ekranlamada zayıflama frekansla artmaktadır. İyi bir ekranlama için ekran içindeki direncin mümkün olduğunca düşük tutulması gerektiği belirtilmektedir. Manyetik ekranlamada ekrandaki delikler ve açıklıklar elektriksel alana nazaran daha az önemli görülmektedir (Sevgi, 2004c).

Ekranlı yapının 100 kHz'nin altında yeterli ekranlama yapabilmesi için yüksek demir içerikli ve oldukça kalın ekranlama malzemesi kullanılması veya yüksek

manyetik geçirgenliğe sahip ekranlama malzemesi kullanılması gerekmektedir. Malzeme kalınlığı ve manyetik geçirgenlik düzeyi arttıkça manyetik ekranlamanın etkinliği artmaktadır (B. Kılıç, 2010).

Elektriksel alan (E) kalkanlama, pratik olarak $f > 30$ MHz gibi yüksek frekanslarda önemlidir. Elektriksel alanda delikler ve açıklıklar frekansa bağımlı olarak önem kazanmaktadır. Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkilemektedir. Değişik kaynaklarda verilen yaklaşık formüller genelde yarı sayı ve uzaklığa bağlı olarak ekranlama etkinliğini vermektedir. Fakat bu formüllerin birkaç ölçme ile test edilememesi, çoğunlukla teori ile pratik arasında 30 dB'den büyük farklar gözlenmesi gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bunun nedeninin verilen formüllerin hangi uzaklık ve konumda geçerli olduğunun belirtilmemesinden kaynaklandığı vurgulanmaktadır. Ancak deneyimlerin, 10 MHz'e kadar materyal ve bağlantının 10 MHz'in üstünde ise açıklık geometrisinin ekranlama etkinliğini belirlediği ifade edilmektedir (Sevgi, 2004c).

İnce metalik bir malzeme ile yeterli elektriksel ekranlama sağlanabileceği, bunun için ekranlama yapısı içerisinde birbirine değen metal malzemeler arasındaki bağ direncinin düşük olması ve elektriksel bütünlüğün çok iyi sağlanmış olması gerektiği vurgulanmaktadır. Yine, bakır, alüminyum, magnezyum gibi iyi iletkenler kullanılarak yüksek yansıma kayıpları elde etmenin mümkün olabileceği de belirtilmektedir (B. Kılıç, 2010).

Düzlem dalga kalkanlama, 300 MHz'in üzerinde etkili olan bu ekranlamada önemli olan ekranlı yapının EM dalgalara karşı boşluk kalmayacak şekilde sıkı bir bağlantı noktalarına sahip olması gerekmektedir. Ekranlı yapıya eklenen kapılar, havalandırma filtreleri, güç/işaret filtreleri, erişim paneli, dalga kılavuzu yapısı vb tüm unsurların bağlantısının çok sıkı ve düzgün bir biçimde yapılması gerekmektedir (B. Kılıç, 2010).

Pratikte verilen ekranlama etkinliği değerlerinin anlamlı olabilmesi için Tablo 4'te ekranlama seviyeleri verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere 30 dB ekranlama etkinliği ortalama değer olarak kabul edilmektedir. Pratikte birçok sorunun 40 dB ekranlama etkinliği ile çözülebileceği de ifade edilmektedir. Ancak, askeri sistemlerde 100-120 dB civarında ekranlama etkinliği değerleri istenebilirken, telefon kabloları için şartnamelerde istenen değerler 80-90 dB civarındadır (Sevgi, 2004c).

Tablo 5-7'de ekranlama etkinliği (dB) değerleri, bu değerlerin ekranlı malzemedeki karşılığı olan olarak zayıflatma değerleri (%) ve ekranlama

performanslarına yer verilmiştir. Tablo 5'te ve Tablo 6'daki % azalma oranları incelendiğinde, yaklaşık 30 dB ve üzeri SE değerlerinde bu oranların % 99'un üzerinde zayıflatma sağladıkları görülmektedir.

Tablo 5. SE ve % Azalma değerleri
(G. Kılıç, 2010; Kılıç ve diğerleri, 2008; Okyay ve diğerleri, 2011)

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 6. Elektromanyetik koruma etkinliği (Palamutçu ve Dağ, 2009)

Frekans (MHz)	Koruma Verimliliği (dB)	Azaltma Oranı (%)
1	29.6	99.890
10	29.1	99.899
100	28.5	99.859
300	28.0	99.841
1000	27.7	99.831
3000	27.3	99.814

Tablo 7. Tipik ekranlama değerleri (E: EM alan, P: EM güç) (Sevgi, 2004c)

Ekranlama (SE)	$E_{dış} / E_{iç}$	$P_{dış} / P_{iç}$	Açıklama
10 dB	% 32	% 10	Kötü
20 dB	% 10	% 1	Alt sınır
30 dB	% 3.6	% 0.1	Ortalama
60 dB	% 0.1	% 0.0001	İyi
90 dB	% 0.0031	% 0.001 ppm	Çok İyi
120 dB	% 0.0001	% 0.000001 ppm	Olağan üstü

SE değeri, ekranlama etkinliğini gösteren logaritmik bir değerdir. Elektrik alanın yüzdesel olarak ne kadar zayıfladığını göstermek için % azalma kullanılmaktadır. % azalma aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$\% \text{ Azalma} = E_1 - E_2 / E_1 \times 100$$

Yukarıdaki denklemde E_2/E_1 yerine $[SE = 20 \log E_1/E_2]$ denkleminden elde edilecek değer yazılırsa % azalmanın SE cinsinden değeri aşağıdaki formülle bulunur (Kılıç, Örtlek ve Saraçoğlu, 2008).

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

Elektromanyetik Kalkanlamada Kullanılan Malzemeler

Ekranlama amacıyla seçilecek malzemeler üç grupta toplanmaktadır (Sevgi, 2004c):

Yüksek performanslı malzemeler çelik, bakır, paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılmış ve tamamen metal kaplı kutu (80-120 dB).

Standart performanslı malzemeler, iletken metal tabakalar ya da metal parçacıklı plastikler (20-40 dB).

Zayıf performanslı malzemeler, metalleştirilmiş kumaş yapılar iletken kağıt malzemeler (iletken polimerler) (15-30 dB).

Elektrik ve manyetik alanın farklı malzemelerden geçişi sırasında davranışları Şekil 24'te gösterilmiştir. Şekilde elektrik alanın hem yalıtkan hem de iletken ekrandan geçerken zayıfladığı, manyetik alanın yalıtkan malzemelerden rahatlıkla geçerek yoluna devam ettiği sadece manyetik malzemelerde zayıflamanın gerçekleşebileceği resmedilmiştir (Kalenderli, 2005).



Şekil 24. Elektrik ve manyetik alanın malzemelerden geçişi (Kalenderli, 2005)

Uluaydın ve Şeker (2011, s.267), elektromanyetik alanlardan korunma ve kalkanlama uygulamaları adlı çalışmasında EM alanlardan korunmada kullanılacak malzemeleri özelliklerine göre yüzey iletkenliğine, esnekliğine, element içeriğine ve uygulama alanına göre sınıflandırmaktadır.

Yüzey iletkenliğine göre malzemeler, kullanımın amacına göre yüzeyi iletken ve yüzey iletkenliği olmayan malzemeler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yüzey iletkenliği elektrik şokuna karşı bir risk oluşturmuyorsa yüzeyi iletken olan malzemeler kullanılıp daha yüksek korunma oranlarına ulaşılabileceği, eğer ortam elektrik şoku riski taşıyorsa uygulama alanına göre bu durumda yüzeyi iletken olmayan malzemelerin tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Esnekliğine göre malzemeler, uygulama olarak esneklik gereken hamile kıyafeti ve bebek cibinliği (Şekil 25) vb. örme veya dokuma malzemeler EM dalgalara karşı korunma amaçlı tercih edilmektedir.



Şekil 25. EM korumalı hamile elbisesi ve cibinlik
(Uluaydın ve Şeker, 2011)

Element içeriğine göre malzemeler, EM kalkanlama malzemeleri temelde gümüş, nikel, bakır, karbon, çelik, demir, kobalt, alüminyum gibi elementler içermektedir. Nikel insanlarda alerjik reaksiyonlara sebep olabildiğinden uygulamalarda bu tip detaylara özen gösterilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu tür malzemelerin EM etkisi ya yansıtma, ya soğurma, ya kırılma/bükme ya da bunların kombinasyonlarıyla gerçekleşmektedir. Fakat, genel olarak kullanılan malzemelerle iletken yüzey oluşturularak gelen EM dalganın büyük bir kısmının geriye yansıtılması sağlanmaktadır. Yüzeyde bakır üstü gümüş kaplı elyaftan yapılmış kumaşlar buna örnek verilirken, soğurma özelliğine sahip malzemelere ise EM tuğlalar, EM emen sıvalar örnek verilmektedir.

Uygulama alanına göre malzemeler, cam gibi özel alan uygulamalarında karbon nanotüp, In_2TiO_2 kaplamalar veya metal buhar filmler kullanılarak EM

dalgaların girişimi engellenebilmektedir. Yine, radara yakalanmayan uçak ve gemilerde EM dalgalara karşı hem kırma hem soğurma sağlayan özel boyalar kullanılmaktadır.

Faraday Kafesi (Ekranlı Oda) ve İşleyişi

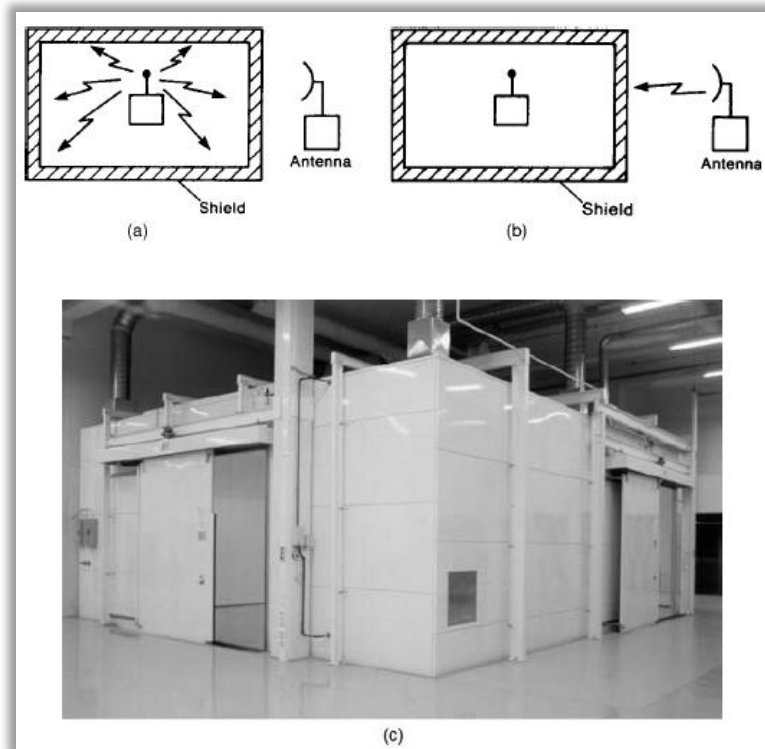
Faraday kafesi, yüksek frekanslı gerilimleri, EMI denilen elektromanyetik parazitleri ve her türlü elektriksel gürültülerin dışarıdan içeriye, aynı şekilde içerden dışarıya geçmesini engelleyen, iyi bir iletkenlik özelliğine sahip topraklanmış bir çeşit kapalı zırh olduğu belirtilmektedir. Günlük hayatta kullandığımız bilgisayarlar, televizyonlar, cep telefonları, yüksek frekansla çalışan aletler (MR cihazları), radyolar vb cihazlar, içerisinden akım geçen her türlü alet atmosfere manyetik dalgalar yaymaktadır. Dolayısıyla, faraday kafesi, içerisinde bulunan her şeyi dışarıdaki EM girişimlerden koruyan bir kafes olarak nitelendirilmektedir. İletken bir tel ile çevrilmiş ve topraklanmış herhangi bir kapalı kafesle bu korumanın gerçekleştirilebileceği ifade edilmekle birlikte en iyi performansın küre şeklindeki kafeslerle elde edildiği de vurgulanmaktadır. Faraday kafesi genel olarak; yıldırımın etkilerinden korunmak, test ölçüm laboratuvarlarından doğru sonuçlar elde etmek, TEMPEST diye bilinen elektromanyetik dinleme ve güvenlik sistemlerinde (gizli bilgilerin dışarıya çıkmasından endişelenilen durumlarda) kullanılmaktadır (Bentli, 2007). Bunun dışında ekranlı yapılar genel olarak silah sistemlerinin, bilgi işleyen cihazların, elektrikli ve elektronik ev aletlerinin, uyduların, antenlerin, hava araçları başta olmak üzere pek çok alt sistem, cihaz, sistem ve platformun EM özelliklerinin test edilmesi için kullanılmaktadır (B. Kılıç, 2010).

Günümüzde faraday kafesi mantığıyla inşa edilen EM girişim, EM uyumluluk vb. EM ölçümlerin gerçekleştirildiği yankısız odalar ya da yansısız odalar adıyla da bilinen ekranlı test odaları (Şekil 27) bulunmaktadır. Bu tür odaların tüm iç yüzeyleri (yan duvarlar, taban, tavan dâhil) EM dalga yutucu malzeme ile kaplanmış olarak gerçek serbest uzay koşullarını canlandırıyor bu ekranlı yapılara “Tam Yansısız Oda” (TYO) denilmektedir. Eğer EM dalga yutucu malzeme, zemin dışında diğer tüm iç yüzeylerde varsa (Şekil 26) bu yapı “Yarı Yansısız Oda” (YYO) olarak adlandırılmakta ve bu yapılar ise gerçek yeryüzü koşullarını canlandırmaktadır. Yansısız odaların iç yüzeylerinde yapıştırılmış EM dalga yutucu malzemeler genel olarak sünger ve ferrit esaslı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sünger esaslılar (Şekil 26), karbon yapılı poliüretan bir malzemedan yapılmış genellikle piramit şeklindedir.

Ferrit malzemeler ise, kalınlığı 6-7 mm civarında plaka şeklinde olup kimyasal içeriğinde magnezyum oksit ve demir oksit bileşimleri bulunmaktadır (B. Kılıç, 2010).



Şekil 26. Yarı yansız odanın içten görünümü, sünger esaslı EM dalga yutucu malzeme (B. Kılıç, 2010)



Şekil 27. Korumalı bir mahfazanın kullanımı (a) içeriden yayılan emisyonları önlemek için (b) dışarıdan yayılan emisyonları dışlamak için korumalı bir oda (Paul, 2006)

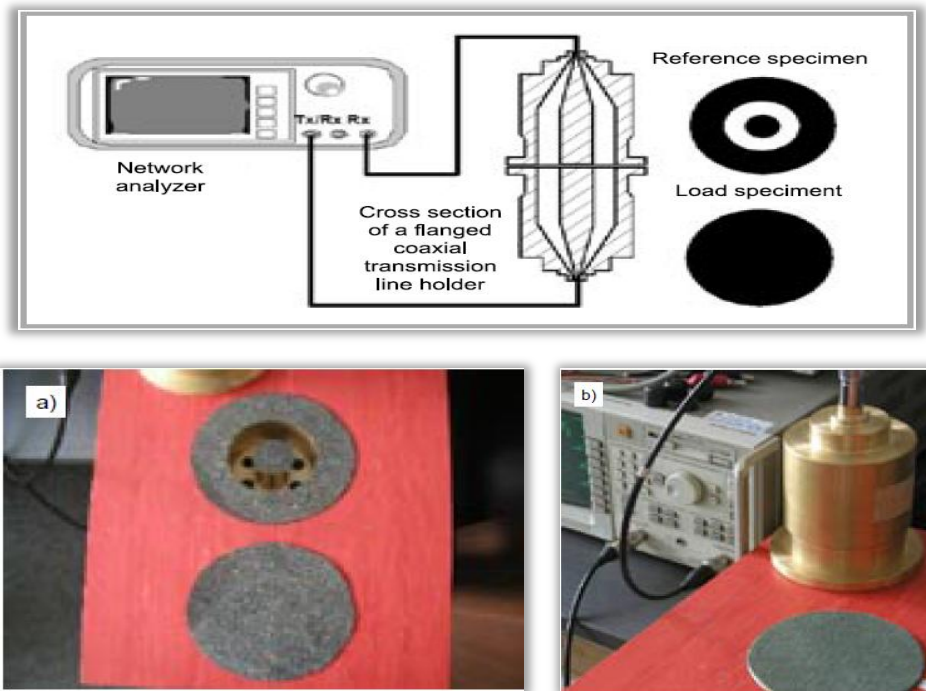
EMSE Ölçüm Metotları ve İlgili Standartlar

Elektromanyetik dalgalara karşı koruyucu olarak kullanılan malzemelerin EM ekranlama etkinliğinin (EMSE) ölçülmesinde çeşitli ölçüm metotları ve bu ölçümlerin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için uygun test cihazlarıyla donatılmış EM laboratuvar ortamlarının olduğu bilinmektedir. Özellikle istenmeyen EM girişim kaynaklarından yayılan sinyalin dışarıdan içeriye, aynı şekilde içeriden yayılacak sinyalin de dışarıya sızmasını engelleyen kontrollü test aparatlarında ya da kontrollü test odalarında bu ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Kompozit malzemeler ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu tekstillerin EMSE ölçümünde, “koaksiyel tutucu metodu”, “çift-TEM hücre metodu” ve “yansısız (yankısız) oda metodu” yaygın olarak kullanılan test metotları arasında yer almaktadır (Kılıç ve diğerleri, 2008; G. Kılıç, 2010).

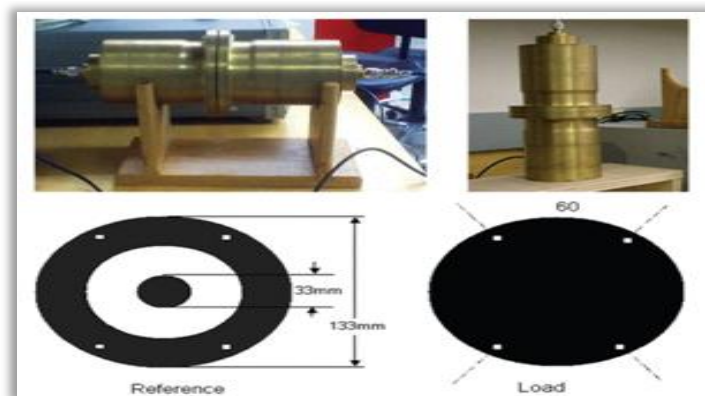
EMSE ölçümlerinde temel alınan başlıca standartlar da, “ASTM D 4935 koaksiyel test metodu” standardı, “MIL-STD-285” ilk askeri ekranlama standardı ve bu standardın iptali ile geliştirilen “IEEE-STD-299 ekranlama etkinliği ölçümü” standardı ve “TS EN 50147-1 yankısız odalar - ekran zayıflatmasının ölçülmesi” adlı standard bu konu ile ilgili olarak hazırlanan standartlar arasındadır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

ASTM D4935 koaksiyel test metodu standardı, 1989 yılında ASTM tarafından düzlemsel malzemelerin elektromanyetik koruyucu etkinliğini ölçmek için geliştirilmiş bir test standardı olarak yayınlanmıştır. Bu standardın en son revizyonu 1999 yılında gerçekleştirilmiş ve yalıtım malzemeleri, elektriksel parametreler ile ilgili konulardan sorumlu komite kararı ile Eylül 2005 yılından itibaren kabul görmemiştir. Ancak bu standard, hala bilgi amaçlı temin edilmekte ve düzlemsel materyallerin elektromanyetik koruyucu etkinliğinin ölçülmesi için kullanılmaktadır. Koruyucu etkinliği ölçümleri 30 MHz – 1.5 GHz arasında değişen frekanslar için yapılmaktadır. Ancak bu metoda ölçüm sınırlılığı olarak 1.7 GHz, üst frekans olarak belirlenirken bu sınırın aşılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu metotta iki metal flanştan oluşan dış çapı 133 mm iç çapı 76 mm olan iki yarım halka test adaptörleri (Şekil 29) kullanılmaktadır. Ölçüm işlemi iki aşamadan oluşmakta, birincisi test adaptörleri ve kumaş arasında kapasitif kuplajı dengelemek amacıyla 133/76 mm’lik halka şeklindeki metal test adaptörlerinin tam ortasında 33 mm çapındaki daire kesite göre referans numune ayarlanarak (Şekil 28a) ilk ölçüm aşaması adaptörlerin kalibrasyon işlemi şeklinde gerçekleştirirken, ikincisi ise adaptörlerin arasına ölçülecek numune materyalin

(Şekil 28b) yerleştirilmesiyle elde edilen ölçüm sonucu ve bu iki sonuç arasındaki farkın bulunmasıyla ekranlama etkinliği (SE) belirlenmiştir (Wieckowski ve Janukiewicz, 2006). ASTM D4935 test standardı için kullanılan koaksiyel test düzeneğinin kurulumuna ve gerekli aparatlara ilişkin ayrıntılı görüntüler Şekil 28 ve 29'da verilmiştir. Bu düzende kullanılan aparatlar halka şeklinde 133/76 mm çaplarındaki iki metal flanş, flanşların her iki ucuna takılan koaksiyel kablolar, kabloların iki ucunun takıldığı network analizör ile referans ve numune ölçümler için flanşlara uygun daire şeklinde kesilen ince numune materyaller yer almaktadır.

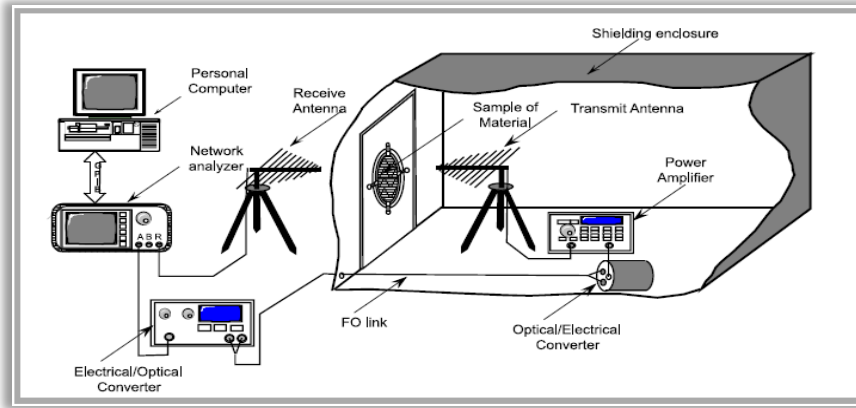


Şekil 28. ASTM D4935-99 test yöntemi kesit görüntüleri ve ölçüm aşamaları
a) Kalibrasyon ölçümü b) Numune kumaş ölçümü
(Wieckowski ve Janukiewicz, 2006)



Şekil 29. ASTM D4935-99 koaksiyel EMI SE test cihazı
(Horacio ve diğerleri, 2009)

MIL-STD-285 standardı, askeri amaçlı ekranlama etkinliği (SE) kullanımları için ABD’de geliştirilerek 1956 da yayınlanmıştır. Bu standard, 100 kHz – 10 GHz frekans aralığını kapsayan korumalı muhafazaları ölçmek için kullanılmakta bunun dışında standartta frekanslar, elektromanyetik alan bileşenleri, gerekli ekipman ve anten konfigürasyonlarını tanımlanmaktadır (Wieckowski ve Janukiewicz, 2006).



Şekil 30. MIL-STD-285 standardı, zayıflatma ölçüm düzeneği kurulumu (ITA PWR) (Wieckowski ve Janukiewicz, 2006)

Şekil 30’deki ölçüm düzeneği network analizör, alıcı ve verici antenler, sisteme güç uygulayan amfi, dışarı ışıma yapmayan koaksiyel kablolar, elektrik/optik dönüştürücü, bilgisayar, kapı üzerinde ölçümü yapılacak 30 cm’lik daire şeklindeki örnek malzeme ve odanın çevresini saran ekranlama malzemesinden oluşmaktadır. Bu standarda göre, network analizör dışarıya, dalga üretici olan amfi ise ekranlı odanın içine koyulmuştur. Amfi tarafından üretilen dalgalar odanın içerisindeki verici anten aracılığıyla penceredeki örnek malzemeye yönlendirilirken örnek malzemedan geçen sinyal oda dışındaki alıcı anten tarafından alınarak network analizörde sinyalin büyüklüğü ölçülmektedir. Ancak daha sonra bu standart iptal edilerek yerine geliştirilmiş olan IEEE-STD-299-1997 ile değiştirilmiştir. Bu standarda göre ölçüm yapılan ekranlı kabinin boyutlarının en az 2 m olması gerektiği belirtilirken, koruma değeri (dB) ise pencere üzerinde numune malzemenin varlığında ve yokluğunda ölçülen değerler üzerinden hesaplanmaktadır. MIL-STD-285’ten türetilmiş bu standartlarda genelde 1 x 1 m, 0.5 x 0.5 m kare ya da 30 cm çapında daire şeklinde test numuneleri ile ölçüm yapılabilmektedir (Wieckowski ve Janukiewicz, 2006).

IEEE-STD-299-2006 ekranlama etkinliği ölçümü adıyla bilinen standart, daha önce yayınlanan IEEE-STD-299-1997 standardının revizyonu gerçekleştirilmiş

halidir. 2006 yılında son revizyona uğrayan bu standart'a sadece ölçüm belirsizliği ile ilgili bir bölüm eklenmiştir. Gelecekte bu standartta, daha küçük muhafazalı kabinlerin ve koruyucu malzemelerin değerlendirilmesi yönündeki değişikliklerin olabileceği öngörülmektedir. Revizyonu gerçekleştirilen IEEE-STD-299 standardına göre, 9 kHz ile 18 GHz (50 Hz ve sırasıyla 100 GHz için uzatılabilir) arası frekanslarda yine 2 m'den büyük muhafazalar içerisinde elektromanyetik koruyucu etkinliği ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

Bu standartta ölçüm aralığı üç alt aralığa bölünmüştür:

- Düşük aralık - 9 kHz (50 Hz)'den 20 MHz'e - Manyetik bileşen (H) için
($SE_H = 20 \log_{10} H_1/H_2$)
- Titreşim aralık - 20 MHz' den 300 MHz'e - Elektrik bileşen (E) için
($SE_E = 20 \log_{10} E_1/E_2$)
- Yüksek aralık -300 MHz' den 18 Ghz'e (100 GHz) - Düzlem dalga gücü (P) için
($SE_P = 10 \log_{10} P_1/P_2$)

Bu standard, çelik levha, bakır ya da alüminyum levha, metal folyo gibi düzlemsel materyallerin, bu metallere üretilmiş koruyucu kumaş vb. yüzeylerin elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümlerinde kullanılmaktadır.

TS EN 50147-1/2005 yankısız odalar - ekran zayıflatmasının ölçülmesi adlı bu standard, 1996 yılında CENELEC tarafından kabul edilen EN 50147-1 (1996) standardı esas alınarak TSE tarafından 14 Nisan 2005 tarihli toplantısında TS EN 50147-1(2005) Türk Standardı olarak yayınlanmasına karar verilmiştir. Bu standard, 9 kHz - 40 GHz frekans aralığında ekranlı mahfazaların (odacıklar, odalar) ekranlama zayıflatmasının ölçmelerini kapsamaktadır. Ekran zayıflatması, elektrik alan için $\alpha_s = 20\log(E_0/E_1)$, manyetik alan için ise $\alpha_s = 20\log(H_0/H_1)$ eşitliğiyle verilmektedir.

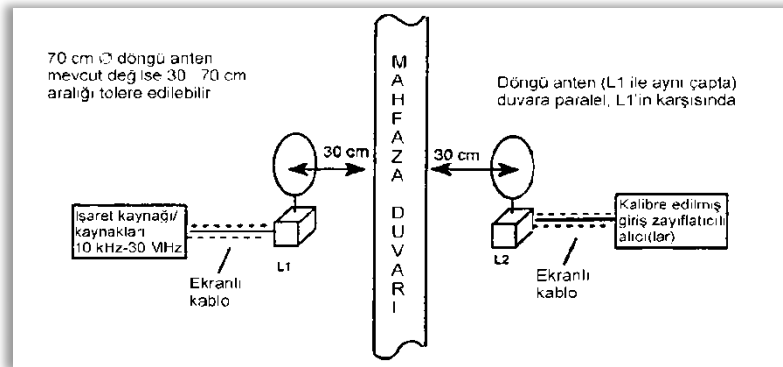
Burada α_s , dB cinsinden ekran zayıflatmasıdır. E_0 ve H_0 verici ve alıcı antenler arasında ekranlama yokken (referans seviye), E_1 ve H_1 ise verici ve alıcı antenler arasında ekranlama varken (referans seviye) olan alan şiddetleridir. Ekran zayıflatması deneyi yapılırken aşağıdaki cihaz tiplerinin kullanılması gerektiği ifade edilmektedir:

- Uygun frekans kararlılığına sahip 9 kHz - 40 GHz aralığını kapsayan sürekli dalga işaret kaynakları, mikrodalga bölgesinde (1-40 GHz) sürekli dalga kaynakları bulunamıyorsa, bu kaynaklar yerine darbe üreten kaynaklar kullanılabilir.
- Manyetik alan ölçmeleri için halka antenler.
- Elektrik alan ve düzlem dalga ölçmeleri için ayarlanabilir veya geniş bantlı iki

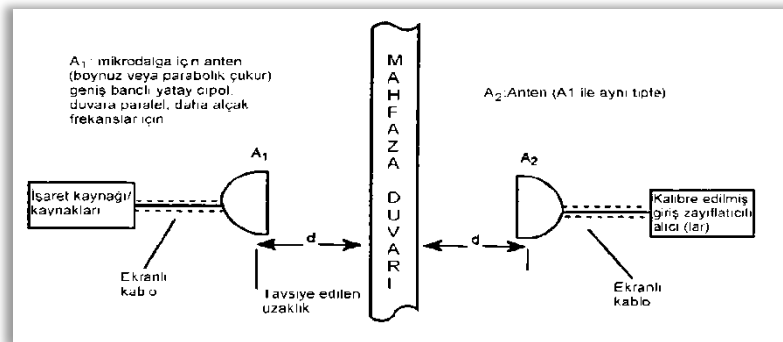
kutuplu antenler (dipol) ve mikrodalga frekanslardaki düzlem dalgalar için boynuz antenler.

- Ek yeri sızıntısı ölçmeleri için sondalar.
- Uygun hassasiyette alıcılar.

Elektrik alanı ve manyetik alan zayıflatma deneyleri (referans ölçmeler) antenler tam olarak birbirlerinin karşısına yerleştirilmiş ve birbirlerinden Şekil 31 ve Şekil 32'de gösterilen mesafeye duvar kalınlığı da eklenerek elde edilen bir mesafeyle ayrılmışken yapılmaktadır. Manyetik alanlar bir duvar paneline paralel ve doğrudan birbirlerini karşısındaki döngü antenlerle ölçülmesi gerekmektedir. Manyetik alanlar için tavsiye edilen deney frekansları 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz ve 20 MHz, elektrik alanları için tavsiye edilen deney frekansları ise, 10 MHz ve 30 MHz'dir. Düzlem dalga ölçmelerinde ise ölçümler, mahfazanın tanıtımaliğinde verilen frekans aralığına bağlı olarak en azından 100 MHz, 400 MHz, 1 GHz, 10 GHz ve 40 GHz frekanslarında alınmalıdır.



Şekil 31. Manyetik alan (elektrik alanı) ölçmesi için deney düzeneği



Düzlem dalga	$d = 1 \text{ m}$	30 MHz ... 1 GHz
	$d = 30 \text{ cm}$	> 1 GHz ... 40 GHz

Şekil 32. Düzlem dalga ölçmeleri için deney düzeneği (30 MHz - 40 GHz) (TS EN 50147-1, 2005)

Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığına Biyolojik Etkileri ve Maruziyet Sınırları

İyonize olmayan radyasyon içerisinde yer alan çok çok düşük frekanslar (ELF), düşük frekanslar, radyo ve mikro dalga frekansları, kızıl ötesi, görünür ışık gibi çeşitli frekans bandlarının insan sağlığı üzerinde bilinen etkileri Tablo 8’de özetlenmiştir.

Tablo 8. Elektromanyetik spektrum, tipik kaynaklar ve sağlığa yönelik bilinen etkileri (Şeker ve Korkut, 2005)

İYONİZE OLMAYAN RADYASYON (0-300 GHz)							İYONİZE RADYASYON (300 GHz Üzeri)			
RADYO FREKANSLARI VE MİKRODALGALAR					Kızıl Ötesi	Görünür Işık	Mor Ötesi	X-GAMMA IŞINLARI		
Frekans	Çok Çok Düşük Frekanslar	Düşük Frekanslar	Radyo Frekanslar	Mikrodalga Frekanslar				Yumuşak X-Işınları	Sert X- Işınları	Gamma X-Işınları
Tipik Kaynak	Taşıma, Dağıtma, İç Tesisat, Evlerde, Endüstride Kullanılan Cihazlar	Denizcilik, Haberleşme Cihazları	Haberleşme Cihazları	Haberleşme Cihazları, Radar, Mikrodalga Fırın	Flüoresan Lamba	Görünür Işık	Flüoresan Lamba	Medikal	Nükleer Patlama	
Bilinen Etkiler	Kan Hastalıkları Lösemi, Kanser, Hücre Büyümesi, Cenin (Embriyo) Etkileri	Merkezi Sinir Sistemi Etkileri, Immün (Direnc) Sistemi, Hücre Zarı Etkileri	Katarakt, Doğumsal Zararlar, Merkezi Sinir Sistemi	Katarakt, Düşük, Doğumsal Zararlar, Genetik Hasar	Katarakt	Göz Yorulması ve Göz Gerilmesi	Deri Kanseri, Katarakt	Kanser, Genetik Hasar, Erken Doğum		

Biyomanyetoloji ilkelerine göre, tüm maddeler dolayısıyla tüm canlılar, zayıf ya da güçlü birer manyetik özelliğe sahip oldukları için her mekânda dolayısıyla tüm canlıların içindeki ve dışındaki tüm boşluklarda yüksek ya da düşük birer manyetik alanın varlığından söz edilmektedir. Dolayısıyla, insanın kendi iç manyetik alanıyla olan dengesi çevredeki çeşitli EMR yayan kaynaklar tarafından (cep telefonu dalgaları, radyo-TV dalgaları, yüksek gerilim hatları, elektrikli ev eşyaları vb) bozulabilmektedir (Bold, Toros ve Şen, 2003).

İnsanoğlu biyoelektriksel bir sisteme sahip doğal bir EM alan kaynağı olup hücreler arası aktiviteler biyoelektrik sinyaller ile sağlanmaktadır. Cep telefonları, baz istasyonları, kaynak makineleri, endüstriyel iş makineleri gibi yapay EM alanlara

çevresel maruziyet insan vücudunda temel biyolojik sistemlerle etkileşebilmektedir. Son yıllarda yapılan deneysel, epidemiyolojik ulusal ve uluslararası araştırmalarda EM alanların temel biyolojik olaylarda değişikliklere neden olduğu vurgulanmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalardan elde edilen veriler doğrultusunda EM alan maruziyetinin; hücrenin hayati işlevleri olan membran fonksiyonlarında, hücresel iletimlerde ve metabolizmada önemli değişikliklere yol açtığı tespit edilmiştir. Ayrıca, DNA kırıkları ve kromozomlarda görülen anormalliklere, beyin nöronlarının ölümünü de kapsayan çeşitli hücre ölümlerine, serbest radikal oluşumunda artışa, hücresel strese ve zamansız yaşlanmaya, hafıza kaybı, öğrenme güçlüğü gibi beyin fonksiyonlarında değişikliğe ve özellikle çocukların aktivitelerinde değişikliklere, kadınlarda üreme sağlığı bozukluklarına, halsizlik ve baş ağrısına, uyku bozukluklarına, nörolojik dejenerasyonlara, melatonin salgılanmasında azalmaya ve kansere neden olduğu saptanmıştır (Fırlarer, 2011).

EM alana yoğun maruz kalınan yerlerde çalışanlarda depresyon, lösemi, santral sinir sistemi kanserleri, melanom ve akciğer kanseri gibi bazı hastalıklar ile ilişkinin belirlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda elektromanyetik dalgaların etkileri daha çok virüsler, bitkiler, domuzlar, böcekler, kuşlar ve kurbağalarda kas-sinir preparatları üzerinde incelenmektedir. Bu değişik deney hayvanlarından elde edilen bulgular, kısa dalgalar ile mikrodalgalar arasındaki frekansa sahip olan elektromanyetik dalgaların biyolojik etkilerinin etki alanı ile doğru orantılı, dalga uzunluğu ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Ancak, bu amaçla yapılan birçok deneyde yinelenebilirlik konusunda sorunlarla karşılaşmakta, bütün doğru etmenlerin kontrol edilip edilmediği konusunda kesin bir yargıya varmanın zorluğu ifade edilmektedir (Yağmur ve diğerleri, 2003).

Benzer şekilde, Şeker'in yayımlanan bir çalışmasında (2000), dünyanın her yerinde elektromanyetik alanlara maruz kalmamış bireylerin bulunması mümkün olmadığından elektrik ve manyetik alanların etkilerinde anlamlı epidemiksel çalışma yapmanın mümkün olmadığı ifade edilmiştir. Dolayısıyla EMA'nın kansere yol açıcı bir faktör olduğu henüz kesin olarak yüzde 100 ispat edilememekte fakat bunun kanser yapmayacağı anlamına gelmediği de vurgulanmaktadır. Bunun kesinleşmesi için insanlar üzerinde uzun süreli, epidemiksel ve deneysel çalışmalar yapılması gerektiği, bugün ise çoğunlukla hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalardan yorumlar yapıldığı belirtilmektedir. Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda ise EMA'nın kanser riskini arttırıcı etkileri saptanmıştır. Bu etkilerin oluşma sebeplerinin EMA'nın

frekansına, şiddetine, vücut ölçülerine, vücudun elektriksel özelliğine, EMA'nın mesafesine ve en önemlisi etki süresine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Buna göre en çok yüksek gerilim hatlarında veya yüksek gerilim tesislerinde radyo ve TV vericilerinde çalışanların bu tehlikeye maruz kalabilecekleri belirtilmektedir. Bu tür epidemiyolojik çalışmalar daha çok mesleki ve askeri alanlarda çalışanlar üzerinde yoğunlaşmıştır. 27 MHz kısa dalga diyatermi cihazı etkisi için kısa dalga tedavisi alan hamileler üzerinde yapılan çalışmada erken doğumlar ve düşük kilolu doğumların olduğu belirtilmiştir (Şeker ve Çerezci, 2000).

Doku ve hücre sistemleri ile yapılan çalışmalarda düşük şiddette EM alanlara maruz kalmanın, biyomoleküllerin (DNA, RNA ve protein) sentezi, hücre bölünmesi, kanser oluşumu, hücre yüzeyine ait özellikler, membrandan kalsiyum giriş-çıkışı ve bağlanması üzerine etkili olduğu gözlenmiştir. Biyokimyasal ve fizyolojik olarak yine hücre ve dokularda, hücre solunumunun azaldığı, hormonların etkilendiği, doku ve hücrelerin hormonal cevabının değiştiği, karbonhidrat, nükleik asit ve protein metabolizmasının değiştiği, yapısal değişiklikler gözlendiği, farklı antijenlere karşı immun (bağışıklık sistemi) cevabın etkilendiği saptanmıştır (Seyhan, 1999).

Yine son yıllarda bilim insanları mesleki alanlarda işyerlerinde EM alanlara maruz kalanlar üzerinde çeşitli çalışmalarda bulunmuş ve araştırmalarının sonucunda, beyin tümörü, erkek meme kanseri, lösemi riskinde artış, kromozom kırığı ve teratojen etkilerin ortaya çıkabileceği gösterilmiştir. Rusya'da yapılan bir çalışmada demiryolu işçilerinde EM alanlara maruz kalanlarda koroner kalp hastalıklarının daha fazla görüldüğü saptanmıştır. İsviçre'de yapılan bir kohort çalışmasında EM alana maruz kalan demiryolu çalışanlarında löseminin 2,4 kat, beyin tümörlerinin 5,1 kat daha fazla görüldüğü belirlenmiş, ancak beyin kanserinde doz-yanıt ilişkisi gösterilememiştir. Kanada'da çok merkezli yapılan bir olgu-kontrol çalışmasında EM alana maruz kalan çalışanlarda bir beyin kanseri tipi olan glioblastome multiforme riskinde 5,3 kat artış olduğu, ancak diğer beyin kanserleri için bir risk artışı söz konusu olmadığı belirlenmiştir (Firlarer, 2011).

EMA'nın insan vücudu üzerine iki tür biyolojik etkisinin olduğu ifade edilmektedir. Birinci kısım etkiler kısa zamanda hissedilen etkiler olup; baş ağrıları, göz yanmaları, yorgunluk, halsizlik ve baş dönmeleri gibi şikâyetlerdir. Ayrıca gece uykusuzlukları, gündüz uykulu dolaşma, küskünlük ve sürekli rahatsızlık nedeniyle topluma katılmamak gibi neticeler doğururken, diğer ikinci kısım etkilerin ise moleküler ve kimyasal bağlara, hücre yapısına, vücudu koruyan bağışıklık sistemine yaptığı ve

uzun sürede ortaya çıkabilen etkiler olarak bilinmektedir. EM alanların bu etkilerine dair bazı bulgular aşağıda özetlenmiştir (Şeker, 2000).

- E.M. alanların Alzheimer hastalığına neden olduğu ihtimali hayli yüksektir.
- Bazı araştırmalara göre EM alanlar hücre zarındaki kalsiyum akışına etki ederek adale kasılmasına, yumurta kısırlaşmasına ve hücre bölünmesine etki ederek kansere neden olmaktadır. EM alanlar ayrıca sinyalleriyle hücreleri etkileyerek normal büyüme yeteneklerini bozmaktadır.
- EMA'nın kadınlarda östrojen salgısını arttırdığını, östrojen'in meme kanseri yapabileceğini ve erkeklerde testosteron düzeyini azalttığını, bunun ise prostat veya erbezi kanserine neden olabileceği literatürde ifade edilmiştir. Video ve bilgisayar monitörlerinden yayılan RF enerjisinin hamile kadınlarda düşük yapma oranı ve gözler üzerinde zararlı etki oluşturma ihtimalini maruziyet süresine bağlı olarak arttırmaktadır.

EM alanlar, canlıların vücutlarına etkileri neticesinde şiddetlerine bağlı olarak bir ısı enerjisi açığa çıkarmakta bunun sonucunda da dokular içerisinde sıcaklık artışı görülmektedir. İnsan vücudunda herhangi bir dokunun kendi iç sıcaklığının $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha fazla artması o dokunun tolere edemeyeceği bir değer olarak alınmaktadır. Bu değer temel alınarak geliştirilen sınır değer, tüm vücudun ortalama özgül soğurma değeri (SAR) olarak kabul edilmektedir. 4W/kg olarak verilen bu SAR limitinin 10 kat düşük değeri ($0,4\text{W/kg}$) ihtiyat ilkesi ışığında Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Milletlerarası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (ICNIRP) tarafından insan vücudunun RF ve mikrodalga etkilerinin hissedilmeyeceği sınır, termal etkilerin başladığı değer olarak şimdiye dek kabul edilmektedir (Çerezci, 2012).

WHO tarafından elektrik ve manyetik alanlardan korunma açısından önemli olan ortak özellikleri açıklanırken, kaynaktan uzaklaştıkça güçlerinde azalma olduğu ifade edilmektedir. Tablo 9'da sık kullanılan elektrikli cihazların oluşturdukları manyetik alan ile uzaklık ilişkisi verilmiştir (Türkkan ve Pala, 2012). Görüldüğü üzere evlerde kullanılan cihazların etkilerine fazla maruz kalmamak adına mümkün olduğunca uzak mesafelerde kullanılması gerektiği öngörülmektedir.

Tablo 9. Elektrikli cihazların değişik uzaklıklardaki manyetik alanları (Türkkan ve Pala, 2012)

Elektrikli Cihaz	3 cm Uzaklık (μT)	30 cm Uzaklık (μT)	1 m Uzaklık (μT)
Saç kurutma makinesi	6-2000	0.01-7	0.01-0.03
Elektrikli traş makinesi	15-1500	0.08-9	0.01-0.03
Elektrik süpürgesi	200-800	2-20	0.13-2
Flüoresan lamba	40-400	0.5-2	0.02-0.25
Mikrodalga fırın	73-200	4-8	0.25-0,6
Taşınabilir radyo	16-56	1	< 0.01
Fırın	1-50	0.15-0,5	0.01-0.04
Çamaşır makinesi	0.8-50	0.15-3	0.01-0.15
Ütü	8-30	0.12-0,3	0.01-0.03
Bulaşık makinesi	3.5-20	0.6-3	0.07-0,3
Bilgisayar	0.5-30	< 0.01	
Buzdolabı	0.5-1,7	0.01-0.25	< 0.01
Renkli TV	2.5-50	0.04-2	0.01-0.15

Evlerdeki elektrik tesisatlarından ve yüksek gerilim hatlarından (20 kilovolt) yayılan manyetik alanlar 50 Hz frekans civarında olup iyonize olmayan radyasyon içinde yer alan çok düşük frekanslı (ELF) elektromanyetik alanları oluşturmaktadır. Enerji iletim hatlarından, bilgisayarlardan ve ev içinde kullanılan elektrikli cihazlardan yayılan çok düşük frekanslı EMA'nın sağlık üzerine etkilerini inceleyen hayvan deneyleri, insanlarla yapılan çalışmalar, hücre bazındaki çalışmalar, bilgisayar simülasyonları şeklindeki azımsanmayacak sayıda analitik çalışmalar yürütülmüş ve günümüzde de halen yürütülmektedir (Türkkan ve Pala, 2009).

Çok düşük frekanslı (ELF) alanların; hücreler arası aktiviteyi etkilemek, hormon salgısını etkilemek, vücudun koruma sistemini etkilemek, embriyolarda anormal gelişmelere neden olmak gibi dört önemli yönden etkilerinden şüphe edilmektedir. Ayrıca, 1988'de Davit Savitz, Wertheimer ve Leeper tarafından iyi bir epidemiyolojik metot ile tekrarlanarak yapılan çalışmalarda büyük manyetik alanlı iletim hatları ile çocuk kanseri riski artışı arasında ilişkili sonuçlara ulaşılmıştır. Daha sonra, 1992'de tekrarlanan İsviçre çalışmasında, 0,1 mT'nin altındaki manyetik alanlı evde yaşayan çocuklara göre, 0,2 mT alanlı evde yaşayanların lösemi riski üç kat, 0,4 mT ve üzerindeki alanların riskinin dört kat olduğu ve böylece alan şiddetinin riskle direkt olarak bağlantılı olduğu gösterilmiştir (Şeker ve Çerezci, 2000).

Dünya Sağlık Örgütü, EMA'lara yönelik yaptığı çalışmalarda özellikle kanserojen maddelerle ilgili çalışmalarını; (1) kanserojen, (2) olası (possible)

kanserojen, (3) muhtemel (probable) kanserojen, (4) henüz sınıflandırılmayanlar olarak dört grupta toplamaktadır. WHO, yüksek gerilim hatlarıyla ilgili uzun süreli, geniş katılımlı ve güvenilir çalışmalar gerçekleştirerek eldeki araştırma verilerine dayanıp ELF manyetik alanları artık “olası kanserojen” sınıfında göstermektedir (Sevgi, 2005). ELF manyetik alanların Ekim 2001’de IARC (International Agency for Research on Cancer-Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı) tarafından 2B sınıfı olası karsinojen olarak tanımlanması, Dünya Sağlık Örgütü’nün 9-11 Haziran 2004 tarihlerinde İstanbul’da yaptığı “Sensitivity of Children to Electromagnetic Fields - Çocukların Elektromanyetik Alanlara Hassasiyeti” toplantısında ELF manyetik alanların çocuk lösemisini 2 kat arttırdığını tüm dünyaya duyurması, ELF’nin sağlık etkilerine yönelik araştırmaların önemini bir kez daha vurgulamıştır (Seyhan, Sırav ve Fırlarer, 2010).

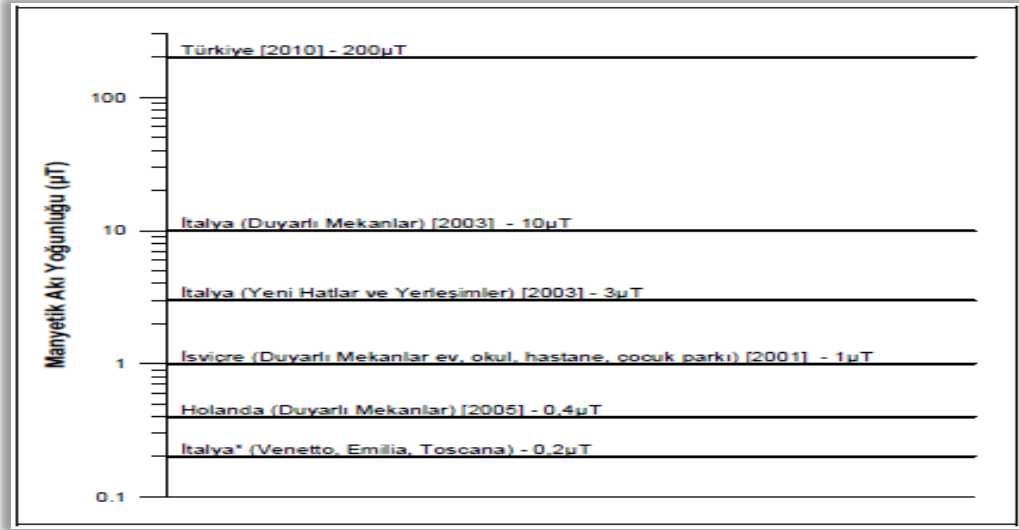
Yüksek gerilim hatlarından yayılan elektromanyetik radyasyon konusunda her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemiştir. Avrupa Birliği’ne üye ülkeler ve ABD dâhil olmak üzere birçok Dünya ülkesinde ortak olarak kabul gören ve uygulanan limit değerler bulunmaktadır. Bu limit değerler WHO tarafından da tanınan ve uluslararası bir komisyon olan ICNIRP (İyonize olmayan radyasyondan koruma komisyonu) tarafından belirlenmiştir. Limit değerler yayılan elektromanyetik radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmektedir. ICNIRP tarafından ELF bandına dâhil olan 50 Hz frekansında genel halk için belirlenen 2010 limit değerleri Tablo 10’deki gibidir (Çerezci, 2012).

Tablo 10. 2010 limit değerler (ICNIRP - 50 Hz için)

Elektromanyetik Kirlilik Kaynağı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)
Yüksekgerilim hatları, trafolar ve güç üniteleri (genel halk için)	5000	200

Çerezci (2012) tarafından yayımlanan elektromanyetik kirlilik ölçümü çalışmasında, 24.07.2010 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan Çevre ve Orman Bakanlığının yeni yönetmeliğine göre ülkemizde EMA’ların olumsuz etkilerinden koruyucu olmaya yönelik 200 μ T olan sınır değer; İsviçre’de yüksek gerilim ve trafo kaynaklı EM alanların ev, ofis, okul, hastane ve çocuk parkı gibi hassas mekânlarda özel uyguladığı 1 μ T limit değerine göre çok yüksek bulunmaktadır. Uluslararası literatürde yer alan bilimsel araştırmalarda, çocukların 0,4 μ T’nin üzerindeki manyetik

alan değerlerinde bilhassa 6 yaş altındaki çocuklarda kansere yakalanma riskinde yüksek artış olduğu rapor edilmektedir. Bu nedenle İtalya, Hollanda, İsviçre ve bazı Avrupa ülkelerinde yeni kurulacak hatlar için bu limitler duyarlı bölgelerde, yeni yerleşim bölgelerinde 0,4 μT ve 0,2 μT seviyelerinde belirlenmektedir.



Şekil 33. Ülkelere göre yüksek gerilim hatlarına ilişkin ELF frekanslı EMA için çıkarılan yönetmelik tarihleri ve manyetik alan sınır değerleri (Çerezci, 2012)

Şekil 33'te ülkelere göre belirlenen ELF frekanslı limitler ile yönetmeliklerin çıkış tarihleri gösterilmektedir. Çok düşük frekanslarda manyetik alanlar için dünya çapında mevcut olan standartlar ve tavsiyeler şöyledir:

- ACGIH1 mesleki TLV2: 200 μT
- DIN3/VDE: mesleki: 500 μT , genel halk için: 400 μT
- ICNIRP4: 100 μT
- İsviçre: 1 μT
- WHO5: 0.3-0.4 μT (olası kanserojen)
- TCO6: 0.2 μT
- U.S.-Kongre/EPA: 0.2 μT
- BioInitiative Report7: 1mG = 0.1 μT

Özetle, EM alanlara karşı belirlenen limitlerin, bu alanların sebep olduğu ısı artışı parametresini esas alarak kısa surede oluşabilecek zararlardan korunmak için hazırlandığı, uzun süreli EM radyasyon maruziyetleri için yeterli güvenlik sağlayamadığı tartışılmaktadır. Bununla birlikte, uzun süreli maruziyet standardın

altında kalsa bile canlı vücudunda ciddi biyolojik değişikliklere neden olan ısısal olmayan etkiler standartta yok kabul edilmektedir. Ayrıca bu standartlarda eksik yanlar belirtilirken cansız, ölü fantom modellerden elde edilen bilgilerin standartlarda temel alındığı bunun ise canlı insanları koruyamadığı, ayrıca mevcut standartların yetişkin erkeklere göre hazırlandığı kadınlar, yaşlılar, çocuklar için özel standartlar olmaması gibi yetersizlikler de vurgulanmaktadır (Çerezci, 2012). Bu yüzden bir kısım bilim adamı bu yetersizlikleri göz önünde bulundurarak, zararlı olabileceği yorumu yaparak ihtiyat ilkesi çerçevesinde konuyu değerlendirmektedirler. İhtiyatlılık ilkesi, kesin olarak zararsız olduğu ispatlanana dek radyo frekans radyasyonunun zararlı olabileceği kabul edilerek ona göre gerekli önlemlerin alınmasıdır. Bir başka ifade ile “kanıtın yokluğu, yokluğun kanıtı değildir” ilkesinden hareketle olumsuz sağlık etkisinin olmadığı kanıtlanana kadar olumsuz sağlık etkisi varmış gibi koruyucu önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmaktadır (EMO, 2012).

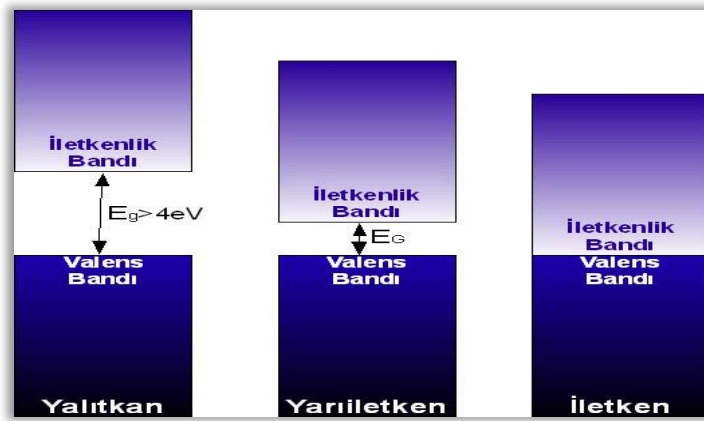
Metallerde Elektriksel İletkenlik

Elektriksel yüklerin herhangi bir etki ile bir yönde veya her iki yönde de hareketi elektriksel iletkenlik olarak ifade edilmektedir. Elektriksel iletkenlik hareketli taneciklere göre sınıflandırılmakta dolayısıyla hareketli tanecikler elektronlar ise elektronik iletkenlik, iyonlar ise iyonik iletkenlik, her iki tanecik türününse hareketli olduğu iletkenlik türü karma iletkenlik olarak tanımlanmaktadır (Bozoklu, 2007). Bu çalışmada araştırma materyali olarak iletken tekstil yüzeylerinin içerisinde kullanılan katı metallerin iletkenliğine yer verilmiştir.

Malzemelerin elektriksel özellikleri elektron bant yapıları ve elektron hareketleri ile ilgilidir. Elektronların elektrik alan, manyetik alan, elektromanyetik radyasyon ve sıcaklık etkisinde davranışları elektriksel özelliklerini oluşturmaktadır. Bu etkileşimde en önemli etkenin valens elektronları olduğu belirtilmektedir (Kittel, 1971/1996). Elektriksel iletkenlikten sorumlu bu elektronlar, iletkenlik bandında veya valens bandındaki enerji düzeylerinde çiftleşmemiş serbest elektronlar halinde bulunarak sisteme uygulanan herhangi bir potansiyele bağlı olarak uygun yönde hareket etmektedirler (Saçak, 2004).

Smyrl ve Lien (1993) tarafından yapılan çalışmada, maddelerin elektriksel özelliklerinin elektronik band kuramına ve bandlardaki elektron dağılımına bağlı olduğu ve bandlar tamamen dolu ya da boş olduğunda hiçbir iletimin meydana gelmediği ifade

edilmektedir. Eğer band aralığı, termal harekete geçme enerjisi olan band eşik enerjisine göre darsa, elektronlar iletkenlik bandına geçerek iletkenliği yükseltmektedir. Band aralığı eğer çok geniş ise, termal hareketlilik elektronların iletkenlik bandına geçmesi için yeterli olmaz ve madde yalıtkan özellikte davranır (Aydın, 2007'den aktarılmıştır). Maddelerin yalıtkan, yarı iletken ve iletken şeklinde elektriksel iletkenlikleri açısından gruplandırılmasında valens bandıyla iletkenlik bandı arasındaki (Şekil 34) elektron geçişlerinde eşik enerjinin (E_g) büyüklüğü önemli görülmektedir (Akyaz, 2012).



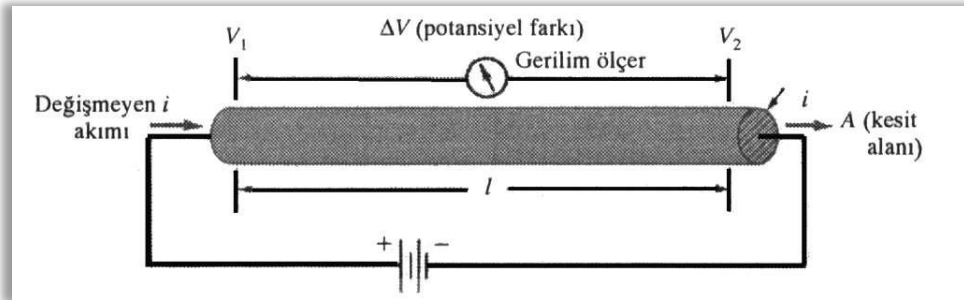
Şekil 34. Yalıtkan, yarı-iletken ve iletken maddelerde bant aralığının şematik gösterimi (Akyaz, 2012)

Ancak, iletkenlerde valens bandı ile iletkenlik bandı birbiri içine girdiği için $E_g = 0$ 'dır (Şekil 34). Ayrıca metallerin valens bandı kısmen dolu, iletkenlik bandı ise boştur. Bununla birlikte, elektron hareketi için engel oluşturan bir bant eşiği de söz konusu olmadığından metal elektronları, valens bandın düşük enerjili orbitallerinde yüksek olasılıkla yer alarak ve aynı bant içerisinde veya aynı bant ile örtüşmüş iletkenlik bandında geçebilecekleri daha üst enerji düzeyli boş yerler her zaman bulunmaktadır. Böylece, valens bandı içerisinde bulunan elektronlar kolayca yerlerini değiştirerek bant içerisinde hareket edebilmektedirler. Elektron iletimi kısmen dolu değerlik ya da iletkenlik bandı üzerinden kolayca sağlanmaktadır (Akyaz, 2012).

Smith (1983/2001)'e göre, elektriksel iletkenlik (σ) aşağıda verilen Ohm (Ω) Yasası ile şu şekilde açıklanmaktadır: Şekil 35'te görüldüğü gibi bir bakır telin uçları bir pile dokundurularak tel'e V potansiyel farkı uygulanırsa, tel üzerinden telin direnci (R) ile orantılı olarak bir I akımı akacaktır. Ohm yasasına göre elektrik akımı I ; uygulanan V gerilimi ile doğru, telin direnciyle ters orantılıdır.

$$\dot{I} = V/R \text{ burada,}$$

\dot{I} = Elektrik akımı, A (Amper)
 V = Gerilim farkı, V (Volt)
 R = Telin direnci, Ω (ohm)



Şekil 35. A kesit alanında bir metal tel numuneye uygulanan V potansiyel farkı (Smith, 1983/2001)

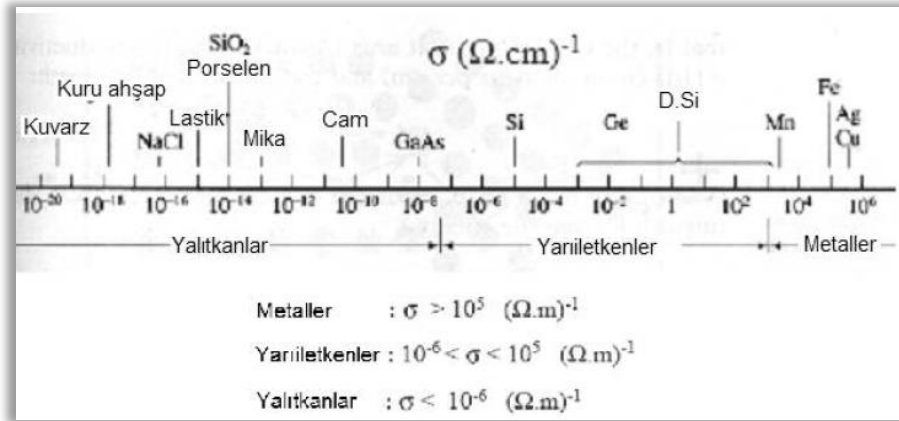
Şekil 35'te gösterilen metal telin R elektrik direnci telin boyuyla doğru orantılı, kesiti A ile ters orantılıdır. Bu değerler, elektrik özdirenci veya özdirenç (ρ) adı verilen bir malzeme sabiti aracılığıyla birbirleriyle ilişkilidir. Belirli bir malzeme için belirli bir sıcaklıkta sabit olan elektrik özdirencinin birimi şöyledir:

$$R = \rho \cdot l/A \text{ veya } \rho = R \cdot A/l = \Omega \cdot m^2/m = \Omega \cdot m \text{ olarak bulunur.}$$

Elektrik özdirencinin tersi ise, elektriksel iletkenlik σ terimi ile ifade edilir.

$$\sigma = 1/\rho$$

Elektriksel iletkenliğin birimi $(\text{ohm} \cdot \text{metre})^{-1} (\Omega \cdot m)^{-1}$ 'dir yada SI birim sisteminde $1/\text{Ohm} = \text{Siemens}$ 'tir. Gümüş, bakır ve altın gibi saf metaller $10^7 (\Omega \cdot m)^{-1}$ en yüksek iletkenliğe sahiptir. Polietilen, polisitiren gibi elektrik yalıtkanları $10^{-14} (\Omega \cdot m)^{-1}$ çok düşük bir iletkenliğe sahiptir ki bu değer yüksek iletkenlikli metallere 10^{23} defa azdır. Katı malzemeler çok geniş bir bölgede elektriksel iletkenlik göstermektedir. Elektrik akımını iletmelemlerindeki kolaylığa göre katı malzemeler sınıflandırılırsa; tipik olarak $10^7 (\Omega \cdot m)^{-1}$ mertebesindeki metaller yüksek iletkenliğe sahiptir. Diğer malzemeler ise, 10^{-10} ile $10^{-20} (\Omega \cdot m)^{-1}$ arasında değişen düşük iletkenliğe sahip olup elektriksel olarak yalıtkanlardır (Smith, 1983/2001). Bazı malzemelerin iletkenlik aralıkları Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. Malzemelerin elektriksel iletkenlik değerleri (Aran, 2008)

Nousiainen (2003) Bakır (Cu), gümüş (Ag), altın (Au), platin (Pt) ve demir (Fe) gibi yapısında d orbitali bulunan metaller (yani periyodik cetveldeki 1 ve 8. grup elementleri), yalıtkan ve yarı iletkenlere göre daha yüksek iletkenlik özelliği göstermektedir. Yarıiletken elementler, karbon (C), Silikon (Si), Germenyum (Ge) gibi elektrik iletkenliğinin materyalin nanokristalin yapısına bağlı olduğu bazı diğer kombine orbital yapılarını içermektedir (Kadoğlu ve Duran, 2012'den aktarılmıştır).

Tekstillerde Elektriksel İletkenlik (Koruyucu İletken Tekstiller)

İletken Tekstillerin Tanımı ve Kullanım Alanları

Son yıllarda, teknik tekstiller içerisinde katma değer en yüksek ve son teknolojinin kullanıldığı akıllı tekstiller, tekstil ve hazır giyim sektörleri içerisinde de yer almaya başlamış, tekstil ve hazır giyim ürünleri ilk başlarda sadece örtünme, barınma ve dekorasyon gibi temel amaçlarda kullanılırken tekstil sektöründe önemli gelişmeler yaşanmıştır. Ter tutmayan, nefes alabilen ve yanmaz kumaşlar; mobil telefon ya da mp3 çalarla birleştirilerek müzik dinlemeye ve iletişim kurmaya olanak sağlayan ve stresi azaltan giysiler; uyumak üzere olan sürücülerini uyandıran araba koltukları, kalp atışlarını dinleyen yatak çarşafı, oda sıcaklığına göre renk değiştiren dokumalar, çelikten 15 kat daha dayanıklı elyaflar gibi farklı amaçlarda çok sayıda yeni ürünler geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır (Gülsoy, 2010).

Akıllı tekstillerin uzantısı olarak görülen diğer bir tekstil dalını elektronik ya da iletken tekstiller oluşturmaktadır. Elektronik tekstiller de, teknik tekstillerin ilgilendiği alanların başında gelmektedir (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011).

Lewin ve Preston, (1993) ve Stegmaier ve diğerleri, (2006) iletken tekstiller teriminin, belirli bir yüzey iletkenliğine sahip lif, iplik ve kumaş gibi tekstil malzemelerinden üretilmiş geniş aralıktaki pek çok ürün için kullanıldığını (s.10) ifade etmektedir (Bedeloğlu, Sünter ve Bozkurt, 2010'dan aktarılmıştır). İletken liflere ve tekstil yapılarına her geçen gün artan talep nedeniyle iletken tekstillerin, elektromanyetik alanların ve statik elektriğin zararlı etkilerine karşı koruma, temiz oda giysileri, akıllı tekstiller ve giyilebilir elektronikler, plastiklerin kaynağı, korozyondan koruma ve ısıtma gibi farklı uygulama alanlarında kullanımları belirtilmiştir (Kadoğlu ve Duran, 2012). Metal iplik içeren kumaşlar son yıllarda görünüşleriyle moda amaçlı olarak da kullanılarak bu kumaşlarla eskimiş, yıpranmış ve kırışık bir görüntü yakalamak amaçlanmış ve ilk olarak “sports & elegant” yani hem spor hem şık konsepti ile moda defilelerinde sunulmuştur (Sığnak, 2008). Bu kullanım amacının dışında, teknolojinin ilerlemesiyle çeşitli tekstil ürünlerine iletken lifler dahil edilerek tekstil sektöründe giyilebilir tekstil adıyla yeni bir üretim alanı doğmuş ve günlük hayatı kolaylaştıran çok fonksiyonlu tekstil ürünleri elde edilmeye başlanmıştır. Bir giysi veya kumaş içerisine iletken liflerin veya bilgi ve iletişim teknolojilerinin yerleştirilmesiyle elde edilen giyilebilir akıllı tekstiller askeri, elektronik, tekstil ve sağlık sektörü gibi pek çok farklı alanda hizmet vererek geniş uygulama alanı bulmaktadır (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011).

Solaz ve diğerleri (2006), elektronik tekstillerin gerek kullanılan materyal gerekse de normal tekstil yüzeylerine çeşitli proseslerle iletkenlik gibi istenilen özelliklerin kazandırabileceğini bu nedenle, elektrik akımını ileten liflerin de elektronik tekstillerin üretiminde yaygın bir kullanım alanı bulacağını ifade etmektedir (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011'den aktarılmıştır). Son zamanlarda elektronik tekstiller, elektronik tıp adıyla tıbbi tekstillerde de kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle hastanelerde hastalara daha etkin bir sağlık hizmeti sunmak amacıyla, hasta ve doktorlar mekân ve mesafe olarak birbirinden ayrıldığı zaman elbise içine yerleştirilen sensörler ve iletişim sistemleri aracılığıyla hastanın tıbbi göstergelerinin elde edilmesi, izlenmesi ve bunların doktora, hastaneye veya acil servise bildirilmesine olanak vermektedir (Emek, 2004). Askerler için koruyucu kamuflaj olarak tasarlanan başka bir uygulamada, değişik arazi şartlarındaki bitki örtüsünde savaşılan askerlerin kıyafetlerinde özel boyanmış iletken lifler kullanılıp elektrik sinyaliyle renk yansıması sağlanarak giysi rengi araziye uygun hale getirilerek değiştirilebilmektedir. Askerler için düşünülen bu

tip koruyucu akıllı giysilerin, polis ve itfaiyeci kıyafetleri için de kullanım alanlarına göre uyarlanabileceği ifade edilmiştir (Coşkun, 2007).

İletken liflerin diğer uygulama alanlarından biri de kumaşlara antistatiklik özelliğın kazandırılmasıdır. Elektrik iletkenliğı özelliğinden dolayı iletken lifler antistatik uygulamalarda da yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektrostatik deşarj olarak da bilinen bu olayla sürtünen yüzeylerde oluşın fazla elektriğı, vücuttaki oluşın statik elektriğı ve elektronik malzemelerle çalışma yapılan tüm ortamlarda oluşabilecek statik yükü deşarj etmeye yardımcı olarak kullanılmaktadır. Kessler ve Fisher (1997) çalışmalarında halılarda sürtünme ile oluşın statik elektrik yükünün olumsuz etkisine ve iplikte ve bu ipliklerden üretilen halılarda iletken lifler kullanarak bu etkinin giderildiğı ifade edilmiştir (Bedeloğlu ve diğerleri, 2010'dan aktarılmıştır).

Günümüzde iletken tekstillerin bu kullanım alanları dışında bir kullanım alanını da, elektromanyetik alanlara karşı koruma oluşturmaktadır. Bu bağlamda teknik tekstiller adı altında da sınıflandırılan bu tür tekstillerin zararlı EM dalgalara karşı koruma amaçlı kullanımının mümkün olabileceğı ifade edilmektedir (İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri [İTKİB], 2005). Almanya'nın Frankfurt şehrinde düzenlenen "Uluslararası Teknik Tekstiller ve Dokusuz Yüzeyler Ticaret Fuarı"nda da ağırlıklı olarak göze çarpan lif/iplik türlerinden bir grubun iletken ve metal kaplı lifler olduğu görülmektedir. Bu alanda, Syscom Advanced Materials (ABD) firması tarafından geliştirilen metal kaplı sıvı kristal polimer içeren Liberator adı verilen liflerin, elektriksel iletkenliğı yanında yüksek mukavemetli, hafif ve yüksek sıcaklıklara da dayanıklı oluşu göz önünde bulundurularak bu liflerden yapılan kumaşların elektromanyetik ve radyo frekans girişimlerine karşı iyi bir kalkanlama etkisi sağladığı iddia edilmektedir (Kanık, 2012). Ayrıca başka bir fonksiyonel bir iplik çeşidi olarak bilinen gümüşle kaplanmış iplikler çok yönlü kullanım amaçlarıyla uygulama alanı bulmaktadır. İş elbiseleri ve medikal sektörde vücut fonksiyonlarının geçici veya sürekli kontrol altında tutulması, aynı şekilde iletişim amaçlı uygulamalar gümüş kaplama ipliklere tekstillerle mikro sistem bazında entegrasyon, cep telefonlarında lokal korumalar, yine gümüş kaplamalı ipliklerin son derece yüksek termik iletkenlik ve antimikrobiyel fonksiyonları (koku yayan bakterilerin öldürülmesi gibi) diğerlerinin yanında özellikle spor kıyafetlerinde, iç çamaşırlarında, çoraplarda, gümüş kaplı ipliklerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (İletken gümüş filamentler, 2008).

Sağlık sektöründe, fizik tedavi (fizyoterapi) ve radyoloji alanında tedavi amaçlı kullanılan elektrikli medikal cihazların yaydığı düşük ve yüksek frekanslı EM

alanlardan korunmak amacıyla fizyoterapi odalarından dışarıya sızan EM dalgaları önleyen duvar kaplamalarında ve bu odalardaki görevli personelin iş giysilerinde koruyucu iletken tekstil malzemeleri kullanılmaktadır (Aniolczyk ve diğerleri, 2004). Yine gümüş, bakır, nikel ya da gümüş, bakır, kalay ile metalize edilmiş metalize kumaşlar kapalı mekanlarda, laboratuvarlarda, test merkezlerinde statik elektriklenmeden korunma amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca hastaneler ve yoğun bakım üniteleri de gümüş kaplama ürünlerle elektronik dalgalardan ve zarar verici ışıklardan korunabilmektedir (İletken gümüş filamentler, 2008).

Bununla birlikte, teknik tekstiller alanında özellikle askeri ve güvenlik amaçlı örtü malzemesi olarak kullanılmak üzere özel olarak üretilen askeri üniforma, çadır, branda, uyku tulumu vb. koruyucu tekstillerle şarapnel parçalarına karşı balistik koruma, radar-infrared termal kameraya görünmezlik, kimyasal-biyolojik-radyolojik nükleer (CBRN) zararlara, elektromanyetik girişimlere (EMI), yangına, yüksek ısıya, kötü hava şartlarına ve antimikrobiyal etkilere karşı gerek insan vücudunu korumak gerekse hassas olan askeri silah ve araçlar için kamuflaj amaçlı çeşitli koruyucu tekstil yüzeyleri tercih edilmektedir (Kanık, 2012).

Özellikle elektromanyetik alanlara karşı koruma sağlayan iletken tekstillerin, elektrikli ev aletleri, cep telefonları, telsiz telefonlar, AM/FM radyolar, bilgisayarlar, yüksek gerilim hatları, tıbbi medikal cihazlar, uçakların hassas elektronik sistemlerine zarar veren, istenmeyen EM girişimin ve askeri gizli odaların ekranlanmasında kullanılabileceği de ifade edilmektedir (Perulmalraj ve Dasaradan, 2009).

Dolayısıyla bu tür elektromanyetik dalgaların zararlı etkilerine karşı kalkan görevi görebilecek iletken tekstil yüzeylerinin iyi bir kalkanlama malzemesi olarak iç giyimden (pijama, gecelik), ev tekstilleri, çarşaf, battaniye, perde, cebinlik, duvar kâğıdı, iş ve koruyucu giysilere kadar pek çok tekstil ürününde kullanım olanaklarına değinilmektedir (Kılıç, Örtlek ve Saraçoğlu, 2008).

Elektrik Akımını İleten Lif/Tel Çeşitleri ve Özellikleri

Elektrik akımını ileten liflerin iletken tekstil malzemelerinin üretiminde yaygın bir kullanım alanı buldukları görülmektedir. Özellikle dokuma ve örme yüzeylerde iletken elyaf ve filamentler kumaşa genellikle iplik yapısından entegre edilmekte ve kumaş yapısında genellikle gümüş, bakır, çelik, karbon gibi elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği özellikleri iyi olan metaller tercih edilmektedir

(Kadoğlu ve Duran, 2012). Tablo 11’de çeşitli iletken maddelerin bağıl iletkenlikleri ve manyetik geçirgenlikleri bir arada sunulmuştur. Çalışmada iletken lif olarak paslanmaz elik ve bakır kullanıldığı için bu liflere ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Tablo 11. Çeşitli metallerin bağıl iletkenlikleri (bakıra göre) ve manyetik geçirgenlikleri (Paul, 2006)

İletken Madde	Bağıl İletkenlik (σ_r)	Manyetik Geçirgenlik (μ_r)
Gümüş	1.05	1
Bakır	1	1
Altın	0.7	1
Alüminyum	0.61	1
Pirinç	0.26	1
Bronz	0.18	1
Kalay	0.15	1
Kurşun	0.08	1
Nikel	0.2	600
Paslanmaz elik (430)	0.02	500
elik (SAE 1045)	0.1	1000
Mumetal (1 kHz)	0.03	30,000
Superpermalloy (1 kHz)	0.03	100,000

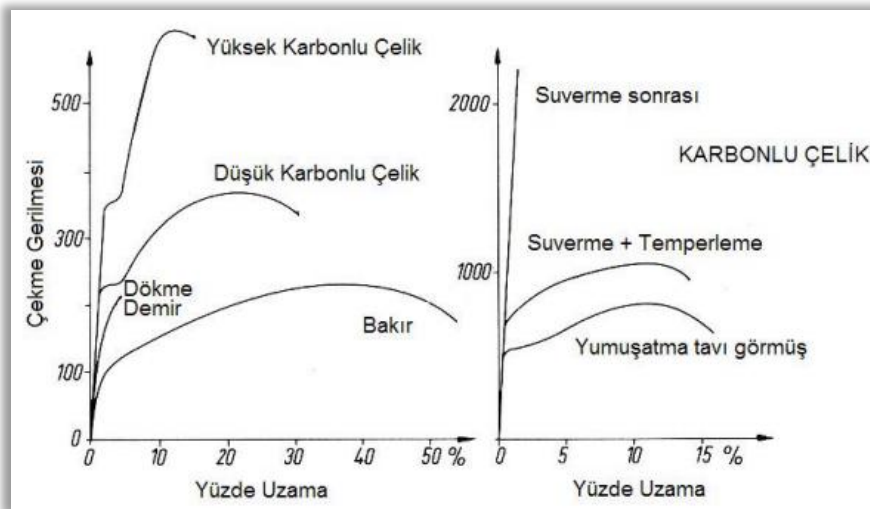
Paslanmaz elik Tel (SS) ve Alaşımları

Çelikler esas olarak Fe (demir) - C (karbon) alaşımlarıdır. Ancak, bileşimlerinde sadece karbonun bulunması durumunda (karbon çelikleri) bu çeliklerin bazı özellikleri yetersiz kalmakta, bu nedenle çeliklerde karbon dışında Mn, Si, Cr, Ni, Mo, Al gibi değişik elementlerle alaşımlama yapılmaktadır. Alaşımlama ile çeliklerin kullanım özelliklerinin (dayanım, süneklik, tokluk, aşınma dayanımı, sertleşebilme kabiliyeti, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı, elektriksel, manyetik özellikler vb.) geliştirilmesi mümkün olabilmektedir. Alaşım elementi olarak yüksek oranda Cr (krom) ve Ni (nikel) içeren pahalı çelikler, paslanmaz çelikler olarak ifade edilmektedir. Paslanmaz eliğin bileşiminde en az % 12 Cr bulunması halinde yüzeyde koruyucu bir oksit tabakası oluşmaktadır. Alaşımdaki Cr, eliği paslanmaz yapar ve miktarı ykseltirilerek korozyon dayanımı arttırılabilmektedir. İçerikteki Ni ise, çoğunlukla çeliğin sünekliğini ve kolay şekillenebilmesini sağlamaktadır (Aran, 2008). Çok ince olan amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler, kimyasal reaksiyonlarda pasif

davranarak korozyona karşı dayanım kazanmaktadırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle (kesme, aşınma, talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşma yeteneğine sahip olduğu belirtilmektedir (Sıgnak, 2008). Tablo 12’de bazı metallerin mekanik özellikleri ve Şekil 37’de değişik malzemelere ait çekme eğrisi örnekleri verilmiştir. Çekme eğrisi, her malzemeye özgü karakteristik bir eğridir ve malzemelerin mekanik davranışları ile ilgili çok yararlı bilgiler içermektedir. Malzemenin türü ve durumuna bağlı olarak değişik eğriler elde edilmektedir (Aran, 2008).

Tablo 12. Bazı metallerin mekanik özellikleri (Aran, 2008)

Bazı malzemelerin mekanik özellikleri				
	Elastiklik Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
Orta karbonlu çelik	200	600	750	17
Alaşımli çelik	200	680	800	22
Ostenitik paslanmaz çelik	193	205	515	40
Martenzitik paslanmaz çelik	200	700	800	22
Takım çeliği		1380	1550	12
Lamelli Dökme Demir				
Sfero Dökme Demir				
Aluminyum 3000 serisi	70	145	150	13
Aluminyum 2000 serisi	70	410	460	8
Magnezyum alaşımı	45	220	290	15
Pirinç				
Bronz	110	320	650	34
Lehim alaşımı		33	42	60

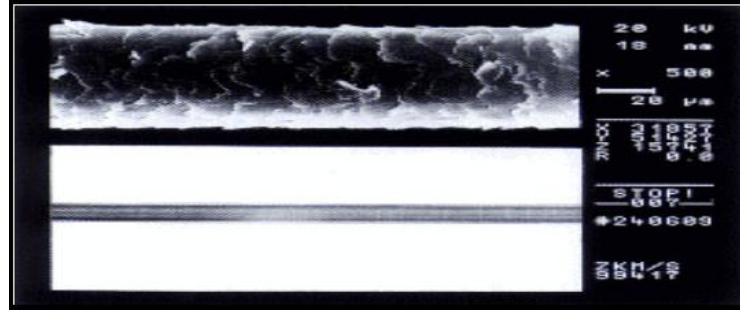


Şekil 37. Bazı metallere ait çekme eğrileri (Aran, 2008)

Tablo 13'te 316 L kalitedeki paslanmaz çeliğin kimyasal analizine yer verilmiştir.

Tablo 13. AISI 316L paslanmaz çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Aydoğdu ve Aydınol, 2006)

C	Cr	Mo	Ni	Si	Mn	P	S	Fe
0.021	16.82	2.44	11.5	0.406	1.50	0.0338	0.0478	66.19



Şekil 38. AISI 316 L Paslanmaz çelik tel SEM görüntüsü (<http://www.sobranie.com.tr/>)

Paslanmaz çelikler metalurjik yapılarına göre östenitik, ferritik ve martensitik olarak üç temel sınıfa ayrılırlar. Östenitik sınıfın böyle adlandırılmasının sebebi oda sıcaklığında östenitik fazın nikel elementi sayesinde kararlı olarak bulunmasıdır. Bunun için %18 krom, %8 nikel paylaşımı ideal koşuldur (Aydoğdu ve Aydınol, 2006).

- Östenitikler, Cr ve Ni içeren paslanmaz çeliklerdir. Bu tür çeliklerin korozyon direnci daha iyidir ve daha kolay şekillendirilebilirler (304, 316, 316L).
- Ferritikler, Cr içerir ve görece olarak daha ucuzdur (410, 430).
- Martensitikler, Cr, C veya Ni içerirler (420, 440) (Aran, 2008)

Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanları östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerdir. Ferritik paslanmaz çelikler düşük karbonlu olup % 12-18 krom içerirken östenitik paslanmaz çelikler temel olarak % 18 krom ve % 8 nikel içermektedir. Ayrıca, ferritik paslanmaz çelikler alaşımında nikel içermediğinden mıknatıslanabilmektedir. Tekstil amaçlı kullanılacak paslanmaz çeliklerin bünyelerinde en az mutlaka % 10 oranında nikel içermesi gerektiği ifade edilmiştir. Östenitik gruptan 316L kalite ipliklerde nikel oranı % 11 olup tekstil için en ideal kalitedeki iplik olarak kabul edilmiştir (Sığnak, 2008). Paslanmaz çeliklerin östenit ve ferrit fazlarının kafes yapıları farklıdır. Östenit yüzey merkezli kübik kristal yapıya (YMK), ferrit ise hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Östenitik çelikler YMK kafese sahip olduğundan kolay

şekillendirilebilir (Aran, 2008). Tablo 14’te bazı demirdışı metallerin çeliklerle olan fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması bir arada gösterilmiştir.

Tablo 14. Bazı demir dışı metallerin çelikler ile karşılaştırılması (Aran, 2008)

Metal	Yoğunluk (g/cm ³)	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Bağıl Özgül Dayanım
Alüminyum	2.70	580	1.2
Magnezyum	1.74	580	1.9
Berilyum	1.85	385	1.2
Bakır	8.93	1000	0.6
Nikel	8.90	1200	0.7
Titanyum	4.51	1100	1.2
Çelikler	~7.87	1400	1

Günümüzde paslanmaz çeliklerin teorik olarak yoğunluğu 7.9 g/cm³’tür (Kurgan, Ünlü, Yılmaz ve Varol, 2009).

Literatür incelendiğinde, bu türler içerisinde elektromanyetik kalkanlama amaçlı kullanılmak üzere, genelde tekstile uygunluğu nedeniyle 316 L kalitedeki ostenitik paslanmaz çeliklerin araştırmalarda (Bilgin ve diğerleri, 2011; Kılıç, 2010; Okyay ve diğerleri, 2011) en fazla tercih edilen metallerin arasında olduğu görülmüştür.

Bakır Tel ve Alaşımları

Bakır, insanlar tarafından kullanılan ilk metal, çağlar boyunca kullanım açısından da demirden sonra gelen ikinci metaldir. Yaklaşık M.Ö. 4000’den, hatta daha önceden başlayarak kullanıldığı düşünülmektedir. Bakır-kalay bronzunun M.Ö. 2400 yılından bu yana kullanıldığı bilinmektedir. Bakır-çinko alaşımı olan pirincin ise, Roma İmparatorluğundan önce kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir. Bakır ve alaşımlarının günümüze kadar en önemli mühendislik malzemeleri olarak kalmasının sebebinin, korozyon dayanımlarının, mükemmel elektrik ve ısı iletkenliğinin, cazip görünüşünün, sünekliğinin ve şekillendirme kolaylığının sayesinde olduğu bilinmektedir. Ayrıca, bakırın gümüşten sonra en iyi elektrik iletkenliğine ve gümüş ile altın arasında ise çok yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu belirtilmiştir (Koçak, 2006). Bu özelliklerinin dışında, bakırın yoğunluğu 8.9 g/cm³ olup diğer demir dışı metallere göre sertlik, aşınma ve yorulma dayanımı daha iyi bir malzemedir. Bakır elementine başka elementler katılarak alaşımları oluşturulmaktadır. En önemli bakır alaşımları pirinçler (Cu-Zn), bronzlar, Cu-Sn kalay bronzu, Mn-Al-Si bronzudur.

Malzemeler içindeki elektrik iletimi, uygulanan bir elektriksel alanın etkisiyle malzeme içindeki yük taşıyıcılar olan elektronların hareketleriyle oluşur. Taşıyıcıların hızı atomik bağa, kafes kusurlarına, mikro yapıya, iyonik bileşenlere ve difüzyon oranına bağlıdır. Bu yüzden elektrik iletkenliği malzemenin iç yapısına duyarlıdır. Metallerde kafes kusurlarının varlığı özgül direnci artırır. Örneğin, ticari bakırın direnci saf bakırdan yüksektir. Bunun nedeni ticari bakırın içinde bulunan katışıkların birer kafes kusuru olarak elektron hareketliliğini düşürmesidir. Dolayısıyla, bakırın alaşımları oluşturulurken içine katılan farklı elementler belirtilen kafes kusurundan dolayı direnci artırarak bakırın iletkenliğini düşürdüğü ifade edilmektedir (Aran, 2008). Bütün bu etkilerden dolayı malzemeler çok farklı iletken özelliklerine sahiptir. Saf bakır mükemmel iletkenliğe sahip olduğundan, bakır tellerin insan vücudunu zararlı elektromanyetik dalgalara karşı koruyabildiği bilinmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda (Cheng ve diğerleri, 2003; Cheng ve diğerleri, 2006; Dağ, 2010; Duran, 2011) özünde bakır tel bulunan ipliklerden oluşturulan çeşitli tekstil yüzeyleriyle elektromanyetik dalgaların vücuda girişi önlenerek önemli derecede korunma sağlandığı tespit edilmiştir.

İletken İplik ve Kumaş Elde Edilmesi

İletken iplikler, iletken filamentlerden, kesikli iletken liflerden veya iletken lif veya tellerin iletken olmayan tekstil lifleri ile birlikte eğilmesi ile elde edilebilmektedir. Ayrıca iletken olmayan ipliklerin, iletken metal malzemelerle sarılması ile de iletken iplikler üretilebilmektedir. İletken kumaşlar ise, yapılarında iletken ipliklerin veya tellerin kullanılması ile ya da kumaşın iletken malzemelerle kaplanması veya muamele edilmesi ile elde edilmektedir (Bedeloğlu, Sünter ve Bozkurt, 2010).

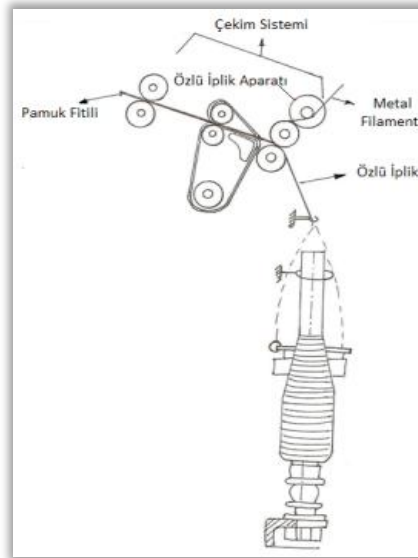
Doğal kaynaklı tekstil malzemelerinin elektriği iletmemesi, sentetik liflerin hammaddesi olan polimerlerin de gerekli olan serbest elektronları sağlayamaması sebebiyle tekstil materyallerine iletkenlik kazandırılması yolunda çalışmalar yoğunlaşmıştır (Coşkun, 2007). Son zamanlarda teknolojinin de ilerlemesiyle popüler bir konu olarak görülen ve elektromanyetik dalgalara kalkan olması sebebiyle kullanımı gittikçe artarak önem kazanan iletken tekstil yüzeylerinden (dokuma, örme, dokusuz yüzeyler) beklentiler de değişmekte ve çeşitlenmektedir. Bu yüzeylerde iletkenlik kazandırma yöntemleri genel olarak şu 3 başlık altında ifade edilmektedir.

- Elektriksel olarak iletken polimerlerin kullanımı
- Elektriksel iletkenlik kazandıracak kaplama tekniklerinin uygulanması
- Elektriksel olarak iletken ipliklerin kullanımı (Kılıç ve diğerleri, 2008)

Vassiliadis, Provatidis, Prekas ve Ranguss (2004) çalışmalarında, tekstil kumaşlarının iletkenliğini değiştirme doğrultusundaki ilk yaklaşımın metalik tellerin ve ince metalik bantların tekstil ürününün içerisinde kullanımıyla gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Böylece, metalik teller kumaş yapısı içerisine ağ gibi örülerek kumaşa gerekli elektriksel özellikler kazandırılmaktadır. Kumaşın elektriksel iletkenliği, tel çapı ile kumaş yapısı içerisindeki tel yoğunluğunun kontrol edilmesiyle bu metodun elektromanyetik koruma gibi özel uygulamalar için uygun iletken kumaşlar sunabileceği de ifade edilmektedir (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011'den aktarılmıştır).

Kadoğlu ve Duran (2012), iletken iplik elde edilmesi yolunda metal içeren hibrid iplik yapılarını, üretim yöntemlerine göre; özlü iletken iplikler, karışımli iletken iplikler, sarımlı iletken iplikler ve katlı iletken iplikler olarak sınıflandırmaktadır.

Özlü iplikler, öz ve manto olmak üzere iki bileşenden oluşarak, iletken özlü iplik yapılarında, öz kısmında metal filament, manto kısmında ise kesikli doğal veya sentetik elyaflar kullanılmaktadır. Özlü ipliklerin ring iplik eğirme sisteminde üretimi Şekil 39'da gösterilmiştir (Kadoğlu ve Duran, 2012).



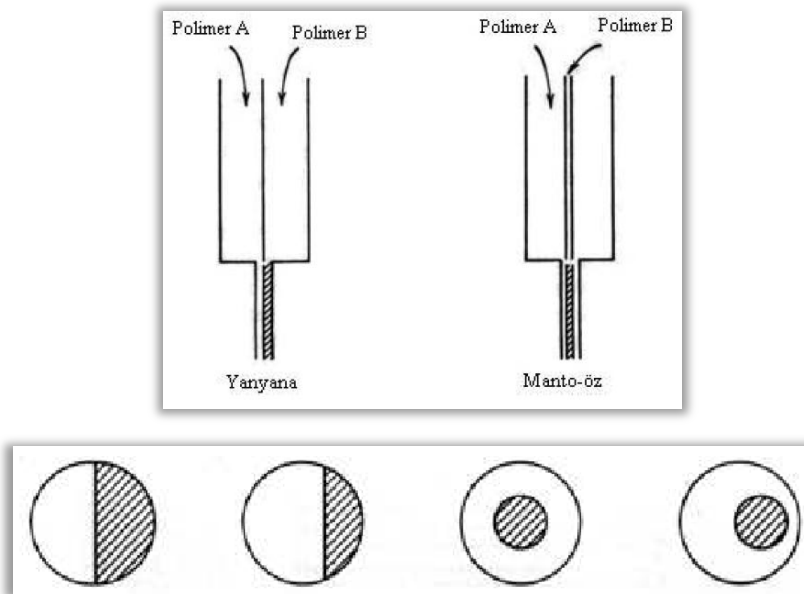
Şekil 39. Ring iplik eğirme sisteminde iletken özlü ipliklerin üretilmesi (Kadoğlu ve Duran, 2012)

Ramachandran ve Vigneswaran (2009) tarafından yapılan çalışmada DREF III iplik eğirme makinesinde üretilen iletken özlü ipliğin öz kısmında bakır filament, manto

kısımında ise pamuk lifleri kullanılarak farklı karışım oranlarında özlü ya da çekirdek iplikler üretilmiştir. Diğer yandan, Ueng ve Cheng (2001) tarafından yapılan çalışmada ise, açık uç friksiyon iplik eğirme makinesinde özlü iplik yapısında paslanmaz çelik tel ve kesikli lifleri öz; polyester, rayon ve kevlar lifleri ise manto olarak kullanılmıştır.

Karışımlı iletken iplikler, elektriksel iletkenlik özelliğine sahip olan kesikli liflerin, iletken olmayan liflerle belli oranlarda karıştırılmasıyla üretilmektedir. Bu tür ipliklerin üretilmesi, konvansiyonel ring ve open-end iplik eğirme sistemlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. İletken bileşenin karışımdaki oranı arttıkça, son ürünün iletkenlik özelliğinin de arttığı belirtilmektedir. Katlı iletken iplikler, iletken iplik veya filamentin başka iplik veya filamentlerle birlikte bükülmesi ile elde edilen iplik yapılarıdır. Bu ipliklerin üretimi, katlı büküm makineleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Sarımlı iletken iplikler ise, kesikli ya da kesiksiz liflerin üzerine metal filamentlerin sarılmasıyla üretilmektedir (Kadoğlu ve Duran, 2012).

Bu ipliklerin haricinde başka bir iplik elde etme yöntemi de, bikomponent filamentlerden oluşan ipliklerdir. Goswami, Martindale ve Scardino (1977) çalışmasında bikomponent filamentlerden oluşan iplikleri, iki polimer bileşenden meydana gelip bu bileşenlerin yüzeye yeterince bağlanması, çözelti ve eriyiklerin viskozitesinin uyumlu olması kaydıyla iplik borularından geçen polimerlerin yan yana bikomponent veya öz-manto bikomponent iplik kesitleri (Şekil 39) oluşturacak şekilde üretilen bir yöntem olarak (s. 27) tanımlamaktadır (Sünter, 2011'den aktarılmıştır).



Şekil 40. Yanyana ve manto-öz bikomponent iplik üretim prensibi ve bikomponent ipliklerin farklı kesit alanlarındaki biçimleri

Bu yöntemle öz veya manto kısmına bir takım iletken polimerler eklenerek yüksek iletkenliğe sahip bikomponent iplik üretimi gerçekleştirilmektedir. Holme, McIntry ve Shen (1998) tarafından yapılan çalışmada da, iletken bikomponent iplik üretmenin yolu, bikomponent ipliğin mantosunun içine metal oksit ilave edilerek, ipliğin özündeki metal bileşenin manto içinde yüksek oranda kullanılması şeklinde gerçekleşebileceği ifade edilmiştir (Sünter, 2011'den aktarılmıştır).

Kumaşlara, iletken filamentlerin dokuma ya da örme işlemiyle doğrudan entegre edilmesi dışında, tekstil yüzeylerinin yalıtkan halden iletken hale dönüştürülmesi aşamasında farklı metotlar geliştirilmektedir. Bazı çalışmalar doğrudan kumaş konstrüksiyonuna müdahale edilmeksizin, liflere herhangi bir ön modifikasyona gerek duymadan elektriği ileten kumaş üretilmesi yönünde gerçekleşmektedir. Bunların en önde gelenleri kumaşlara antistatik maddeler (çoğunlukla karbon dolgulu reçineler) emdirilerek elektriği ileten materyaller elde edilmesi şeklindedir. Ancak, bu tür kumaşların elektriksel özelliklerinin kararlı olmadığı dolayısıyla elektriksel iletkenliklerinin çok yüksek olmadığı ifade edilmektedir. Diğer bir metod ise, kumaşlara ya da dokusuz yüzeylere iletken esaslı polimerler (polianilin, politiofen) ve çoğunlukla da polipirol (PPy) kaplanarak bu yolla kumaşların iletkenliği hassas olarak kontrol edilebilmektedir (Erkan, Erdoğan ve Kayacan, 2005).

İlgili Araştırmalar

Bu başlıkta, iletken tekstil malzemeleri kullanılarak üretilen kumaş yapıları üzerinde elektromanyetik kalkanlama etkinliğine yönelik yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Aniolczyk ve diğerleri (2004) “Application of Electroconductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy” konulu çalışmalarında elektriksel yüzeyleri birbirinden farklı koruyucu nonwoven yüzeyler üretilerek, fizyoterapi (fizik tedavi) odalarında kısa dalga boylu (27.12 MHz) ve yüksek mikrodalga frekanslı (2450 MHz) elektromanyetik dalgaları içeren, elektriksel bileşeni baskın ve tedavi amaçlı olarak kullanılan medikal cihazların etrafa yaydıkları zararlı ışınlardan, bu ortamlarda ve etrafındaki rehabilitasyon odalarında çalışanları korumak amaçlanmıştır. Bu amaçla, PAN (poliakrilonitril) lifleri ile bakır sülfat bileşiklerinin bileşiminden elektriksel iletkenliği yüksek lifler geliştirilerek, iletken içeriği ve üretim tekniği açısından % 100 iletken lif içerikli iğnelenmiş nonwoven yüzey ile % 75 iletken lif - % 25 polyester içeren maliwatt ilmekli yüzeyden oluşan iki farklı kumaş yapısı üretilmiştir. EM ekranlama ölçümleri, bu kumaşların duvarda tek ve çok katlı kullanımlarıyla 27.12 MHz ve 2450 MHz frekanslarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kısa dalga boylu 27.12 MHz frekanslarında elde edilen en yüksek ekranlama etkinliği değeri tek kat maliwatt nonwoven yüzeyde 21.4 - 23.2 dB olarak ölçülmüştür. 2450 MHz mikrodalga frekansında elde edilen en yüksek ekranlama değeri ise, duvarın iki tarafına yerleştirilip iğneyle sabitlenen iğnelenmiş nonwoven yüzeyde 34.7 - 37,5 dB olarak bulunmuştur.

Bilgin ve diğerleri (2011) “Askeri ve Kamu Kuruluşlarına Ait Binaların Tempest Güvenliği İçin Farklı Yapıda Dokuma Kumaşların Geliştirilmesi” konulu çalışmalarında askeri ve kamu kuruluşlarına ait binaları, bilgi güvenliği açısından, içeriden istem dışı olarak yayılan bilgi içerikli elektromanyetik yayınımların dışarıya sızmasına karşı, farklı yapıda üretilen dokuma kumaş tipleriyle önlem almak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda içi oyuk iğli kaplama tekniği kullanılarak AISI 316 L tipi 35 mikron paslanmaz çelik (SS) tel üzerine 100 denye PES iplik 300 Tur/m bükülerek metal içerikli kompozit iplikler üretilmiştir. Üretilen kompozit iplikler, kumaşların atkı ve çözgü yönünde kullanılmış ve farklı atkı sıklıklarının ve örgü yapılarının ekranlamaya etkisini karşılaştırmak amacıyla bütün kumaşların çözgü sıklıkları tek tip, atkı sıklıkları ise, aynı örgü yapısında üretilen kumaşta farklı sıklıklarda, farklı örgü yapılarında üretilen kumaşlarda da aynı sıklıkta düzenlenerek

bez ayağı (1/1), panama (2/2), ribs (2/2) ve dimi (3/1) örgü yapılarında kumaşlar dokunmuştur. Kumaş numunelerinin EMSE ölçümleri, ASTM-D 4935 standardını esas alan koaksiyel tutucu metodu ile 30 MHz - 1.5 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Buna göre, aynı çözgü sıklığında ancak farklı atkı sıklıklarında (21, 23, 25, 28 tel/cm) üretilen bez ayağı kumaşların EMSE değerleri karşılaştırıldığında, tüm kumaşların genelde benzer ekranlama gösterdiği ve 650 MHz ve üzeri frekanslarda 30 dB ve üzeri EMSE değerlerine ulaştığı görülmüştür. Diğer yandan, aynı çözgü ve atkı sıklığına sahip fakat farklı örgü yapılarında üretilen kumaşların EMSE sonuçları karşılaştırıldığında, tüm frekans aralığı boyunca genel olarak bez ayağı örgü yapısındaki kumaşın en yüksek EMSE değerine sahip olduğu ve yaklaşık 630 MHz ve üzeri frekans aralıklarında tüm kumaşların 30-40 dB arasında en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Bez ayağı örgüsünden sonra sırasıyla, panama, ribs ve dimi kumaşların en yüksek değerleri aldığı belirtilmiştir.

Chen, Lee ve Lin (2004) “Electromagnetic and Electrostatic Shielding Properties of Co-Weaving-Knitting Fabrics Reinforced Composites” konulu çalışmalarında tek kat ve çok katlı olarak üretilen numune kumaşlarda kullanılan iletken miktarının ve iletkenlerin birbiriyle temas sayılarının, kumaşlarda yüzey direnci, elektrostatik deşarj ve ekranlama (EMSE) özelliği üzerine etkisinin ne derecede olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada, materyal olarak paslanmaz çelik, bakır tel ve polipropilen kullanılarak rotor eğirme prensibiyle 3 farklı türde (çelik/polipropilen, bakır/polipropilen, çelik/bakır/polipropilen) iletken kompozit iplik üretilmiştir. Daha sonra iletken ipliklerle, “co-weaving-knitting” adını verdikleri atkı-çözgü-ilmeklerle dokuma ve örme kumaşları birleştirerek bir arada bulunduran tek katlı ve çok katlı dokuma-örme kumaş kompozitleri elde edilmiştir. EMSE ölçümleri ASTM D4935-1999 standardı temel alınıp koaksiyel test metodundan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, bu kumaşlarda kullanılan iletken miktarının, iletkenlerin birbiriyle temas sayılarının yüzey direnci, elektrostatik deşarj ve ekranlama özelliklerini etkilediği, tek kat kompozitlerin, çok kat kompozit kumaşlara göre daha düşük EMSE değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, tek kat kumaşlarda kullanılan iletken miktarının az oluşuna ve çok katlı kumaşa göre ince yapıda olmasına bağlanmıştır. Çok katlı dokuma-örme kumaş ile en yüksek 55.3 dB EMSE değerine ulaşılmıştır. Tek katlı kumaşlarda bakır tel kullanılarak üretilen kompozitlerin, paslanmaz çelik telin kullanıldığı kompozitlere göre daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilerek sebebi de, bakırın iletkenliğinin paslanmaz çeliğinkinden daha yüksek

olmasıyla açıklanmıştır. Ayrıca, kumaşların atkısında bakır ve paslanmaz çelik iplikleri bir arada bulunduran kompozit kumaşların, atkısında sadece bakır ya da sadece çelik iplik bulunduran kumaşlara göre çok daha yüksek sonuçların elde edildiği belirtilmiştir. Bu sonucun nedeni, aynı kumaşta bir arada bulunan iki farklı iletken ipliğin, kumaşın iletkenliğini arttırdığı yönündedir. Kumaşların frekans aralıkları incelendiğinde, EMSE değerlerinin genel olarak 500 MHz civarında en yüksek seviye ulaştıktan sonra ilerleyen frekanslarda bu değerlerin azaldığı ifade edilmiştir.

Cheng ve diğerleri (2003) “Effects of Yarn Constitutions and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics” konulu çalışmalarında, farklı iletken kullanım oranlarında üretilen hibrid ipliklerin ve bu ipliklerin atkı ve çözgüde farklı yoğunluklarda kullanılmasıyla dokunan kumaşların EMSE değeri üzerinde ne derecede etkili olduğunun tespiti amaçlanmıştır. DREF III eğirme makinesinde, farklı karışım oranlarında özlü ipliklerin üretimi için paslanmaz çelik tel ve kesikli lifi, alev dayanımı yüksek kevlar veya rayon kesikli lifleri ve bakır tel içeren iplikler kullanılarak bez ayağı ve 2/2 dimi örgü yapısında dokuma kumaşlar üretilmiştir. EMSE ölçümleri, koaksiyel test metodu (ASTM ES 7-83) ile 300 KHz - 3 GHz frekans aralığında yapılmıştır. Sonuç olarak, iletken yüzeyler içerisinde paslanmaz çelik tel ve kesikli lifleri ile rayon lifi karışımlarıyla hazırlanan kumaşlarda özellikle iplik içinde iletken bileşen olarak paslanmaz çelik kullanım oranının % 40'dan fazla olduğu durumlarda EMSE değerlerinin en iyi olduğu bulunmuştur. Paslanmaz çelik tel ve kesikli lif içeren kumaşların EMSE değerinin, bakır tel ve paslanmaz çelik kesikli lif dolgulu materyallerinkinden çok daha etkili olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu kumaşlarla 1800 MHz - 2450 MHz frekans aralığında daha yüksek EMSE değeri elde edildiği belirtilmiştir. Atkı ve çözgü yoğunluklarının arttırılması, iplik yapısındaki iletken dolgu materyali (paslanmaz çelik tel ve kesikli lifi) karışım oranının artması, kalkanlama etkinliğini olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca, 2/2 dimi kumaşının 50 dB ile yüksek ekranlama sağladığı ifade edilmiştir. Paslanmaz çelik tel/kesikli lif veya bakır tel/paslanmaz çelik kesikli lif içeren kumaşların 40 dB ve üzerinde aldığı EMSE değerleriyle ev elektroniğinde, elektrikli aletlerde kalkanlama için teknik olarak faydalı bir materyal olabileceği belirtilmiştir.

Cheng ve diğerleri (2006) “Electromagnetic Shielding Effectiveness of the Twill Copper Woven Fabrics” konulu çalışmalarında 3/1 dimi örgü yapısında bakır tel içeren dokuma kumaşlar üretilerek, atkı ve çözgü sıklığı, bakır tel çapı, kumaş kat sayısı ve iplik yerleşim açıları gibi parametre değişimlerinin EMSE üzerindeki etkileri

araştırılmıştır. Ayrıca, bu parametrelerden iplik sıklığı ve bakır tel çapı değişimlerinin kumaşların yüzey ve hacim dirençlerine olan etkileri de incelenmiştir. Çalışmada iletken olarak 0.10 mm, 0.12 mm ve 0.15 mm çaplarında bakır teller ve iplik sıklığı olarak da 3 farklı atkı ve çözgü sıklığı tercih edilmiştir. EMSE ölçümleri, koaksiyel iletim hattı metodu kullanılarak 300 KHz - 3000 MHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. EMSE ölçüm sonuçlarına göre, çözgü ve atkı sıklığındaki ve iletken kumaş kat sayılarındaki artışların EMSE değeri üzerinde artışa neden olduğu ifade edilmiştir. İletken tel çapındaki kalınlık artışının ise EMSE değeri üzerinde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Frekans aralığı boyunca, düşük frekanslarda ekranlama etkinliğinin düşük değerlerde olduğu, yüksek frekanslara çıkıldıkça ise, bu değerlerin yükselerek özellikle 1800-2000 MHz aralığında maksimum ekranlama değerlerine ulaştığı belirtilmektedir. Bu frekans aralığından 3000 MHz'e doğru yaklaştıkça ise, EMSE değerlerinde bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bakır tel içeren kumaşların yüzey dirençlerinin $1,5 - 3 \times 10^3$ ohm/cm² arasında düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, atkı ve çözgü sıklıkları, kumaş gramajı ve örtücülük faktörü gibi bazı parametrelere bağlanmıştır. Bu parametrelerdeki artışla birlikte birim alanda kullanılan iletken miktarı artacağı ve iletkenler arasındaki mesafe azalarak oluşan iletken ağlar kuvvetleneceği için yüzey ve hacim direncinin azalmasıyla iletkenliğin artacağı yorumlarına yer verilmiştir.

Dağ (2010) “İletken Tekstil Yüzeylerinde Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğinin Araştırılması” konulu tez çalışmasında, elektriksel bakımdan iletken özellikli tekstil yüzeyleri üretilip, bu tekstil yüzeylerinin örgü sıklığı, örgü tipi ve kumaşların kat sayıları değiştirilerek iletken yüzeyin elektromanyetik kalkanlama özelliğini nasıl etkilediğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, öncelikle pamuk ipliği ile çeşitli incelikte olan bakır, çelik ve gümüş telleri katlanarak örme kumaşlarda ve dokuma kumaşların atkılarında kullanılmak üzere katlamalı iplik elde edilmiştir. Bu ipliklerle dokuma konstrüksiyonlarından bezayağı, 1/3 dimi, 2/2 panama ve kırık saten, örme konstrüksiyonlarından ise süprem örgülü iletken yüzeyler üretilmiştir. Dokuma kumaşlarda atkıda 50 ve 100 mikron bakır tel ayrı ayrı kullanılarak atkı ve çözgü sıklıklarının sabitlenmesiyle kumaş örgü yapısının EMSE'ye olan etkisi ile birlikte örme kumaşlarda 50 mikron çelik, 50 ve 100 mikron bakır ve 50 mikron gümüş kullanılıp bazı parametreler sabitlenerek iletkenin cinsi, iletkenin inceliği ve kullanılan iplik numara değişimlerinin EMSE'ye olan etkileri incelenmiştir. Ekranlama ölçümleri, özel olarak tasarlanan ölçüm düzeneğinde, cep telefonunun çalışma frekansları temel

alınarak 850 MHz - 970 MHz ile 1740 MHz - 1860 MHz'de gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde kullanılan iletkenin cinsi, iletkenin inceliği, tekstil yüzeylerinin örgüleri, kullanılan ipliklerin numarasının değişmesi ve üretilen tekstil yüzeyinin sıklığının değişmesi elektromanyetik kalkanlama özelliğini etkilemiştir. Ayrıca, kat sayıları iki ve dört kat arttırılan kumaşlardan iki katlı kumaşın tek katlı kumaşa göre daha yüksek EMSE değeri gösterdiği, bunun dışında iki katlı ve dört katlı kumaşların birbirine yakın EMSE değerlerinde olduğu görülmüştür. Çalışmada üretilen kumaşlarla 15-20 dB arasında kalkanlama etkinliği sağlandığı görülmüştür.

Duran (2011) "Tekstillere Elektromanyetik Korumada Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma" konulu tez çalışmasında, tekstil malzemelerinin elektromanyetik korumadaki kullanım olanaklarının araştırılması ve hammadde, iplik ve kumaş parametrelerinin elektromanyetik ekranlama etkinliği üzerine etkilerinin detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, bakır ve gümüş esaslı üç farklı iletken hammadde (bakır tel, gümüş lif ve gümüş elyaf), üç farklı iplik yapısı, üç farklı iplik numarası kullanılarak iletken iplikler üretilmiş ve bu iplikler sadece atkıda kullanılarak üç değişik atkı sıklığında dokuma kumaşlar (3/1 dimi) üretilmiştir. Kumaşlar, 200 MHz - 5,8 GHz frekans aralığında, yankısız oda ölçüm metoduyla gerçek elektromanyetik dalgalar üretilerek test edilmiştir. Çalışmada frekans aralıkları düşük (200 - 950 MHz) ve yüksek (1.2 - 5.8 GHz) frekanslar olarak değerlendirilmiştir. Bakır özlü ipliklerle üretilen kumaşların sonuçları incelendiğinde, düşük frekans aralığında atkı sıklığının ve frekansın ölçülen elektromanyetik ekranlama etkinliğine etkisi önemli bulunurken, iplik numarasının ve öz inceliğinin etkileri önemsiz bulunmuştur. Bakır özlü kumaşların yüksek frekans aralığında öz inceliğinin ekranlamaya olan etkisi önemli iken, iplik numarasının etkisi yine düşük frekanstaki gibi önemsiz bulunmuştur. Bakır kumaşlarda düşük frekans aralığında en yüksek EMSE değerine, 45-46 dB ile 200 MHz frekansında ulaşılmıştır. Yüksek frekans aralığında en yüksek ekranlama etkinliği değeri ise, 1.2 GHz frekansında 30-32 dB'dir. Gümüş özlü olarak üretilen tüm kumaşlara düşük ve yüksek frekans aralığında iplik numarasının, öz inceliğinin, atkı sıklığının, elektromanyetik dalga frekansının elektromanyetik ekranlama etkinliğine etkisi önemli bulunmuştur. Gümüş özlü kumaşlarda düşük frekans aralığında en yüksek değeri, 200 MHz frekansında 46-47 dB olarak elde edilirken, yüksek frekans aralığında en yüksek değer ise 1.2 GHz frekansında 29 dB olarak elde edilmiştir. Ayrıca, gümüş elyaf/pamuk karışımı kumaşlarda, iplik numarasının, gümüşlü elyafın karışımdaki oranının, atkı sıklığının, elektromanyetik dalga frekansının düşük ve yüksek frekans aralıklarında

ölçülen elektromanyetik ekranlama etkinliğine etkisi önemli bulunmuştur. Ayrıca, ekranlama etkinliğinin iplikteki metal karışım oranı arttıkça arttığı, iplik numarası arttıkça ise yani iplik inceldikçe azaldığı görülmüştür.

Mühl ve Obolenski (2004) “Woven Fabric Offering Electromagnetic Shielding” konulu çalışmalarında dokuma konstrüksiyonları, iletken tel çapı, iletken atkı ve çözgü ipliklerinin sayısı ve kumaşlara uygulanan bitim işlemlerinin ekranlama etkinliğine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, gümüş kaplı bakır ipliklerle pamuk iplikleri ring iplik makinesinde aynı (Nm 40-50) numaralarda üretip atkı ve çözgüde kullanarak dokuma kumaşlar üretmişlerdir. Daha sonra IEEE-STD-299 standardını temel alarak geliştirdikleri ölçüm düzeneğinde cep telefonları (2G, 3G), kablosuz telefonlar (DECT), mikrodalga fırınlar ve radyo alıcı-verici ağları için 3 önemli frekans aralığını (890-960 MHz, 1710-2170 MHz ve 2400-2490 MHz) da kapsayan 800 MHz - 3 GHz frekans aralığında bu kumaşların EMSE ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, iletken atkı ve çözgü ipliklerinin sayısı ve diğer parametreler aynı kaldığında kumaş konstrüksiyonlarının EMSE üzerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı, aynı şekilde iletken çapındaki artışın, boyama-ağartma bitim işlemlerinin de ekranlamada bir değişiklik oluşturmadığı gözlenmiştir. Atkı ve çözgüdeki iletken iplik sayılarının EMSE’ye etkileri incelendiğinde, çözgü yönünde ekranlama ölçümleri gerçekleştirilirken, çözgüdeki iletken iplik sayıları sabit kalacak şekilde sadece atkıdaki iletken iplik sayısı değişiminin çözgü yönünde yapılan ölçümlerde EMSE sonuçlarını etkilemediği ancak atkı yönünde yapılan ölçümlerde iletken atkı iplikleri sayısındaki değişimin EMSE’yi önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir.

Okyay ve diğerleri (2011) “Farklı Yapılardaki Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi” konulu çalışmalarında farklı dokuma yapılarında geliştirilen kumaşların elektromanyetik ekranlama özellikleri incelenmiştir. Farklı yapılardaki bez ayağı, dimi (2/2) ve dimi (3/1) dokuma kumaşların atkı ve çözgü kompozit ipliklerinin üretiminde içi oyuk iğli kaplama tekniği kullanılarak AISI 316 L tipi 35 mikron paslanmaz çelik (SS) tel üzerine 100 denye PES (36 filament) iplik 300 Tur/m’de bükülerek 52 Nm kompozit iplik (173 denye civarı) elde edilmiştir. Dokuma kumaşların üretiminde, geliştirilen kompozit ipliklerin yanı sıra çıplak tel halinde 35 mikron AISI 316 L tipi SS ve 50 mikron gümüş kaplı bakır iplikler de atkıda kullanılmıştır. Bez ayağı kumaş numunelerinin üretiminde 2 tip atkı ipliği, dimi kumaş numunelerinin üretiminde ise, tek tip atkı ipliği (kompozit iplik) kullanılmıştır. Bez ayağı kumaşın üretiminde 35 mikron SS ve kompozit iplik, diğer bez

ayağı kumaşın üretiminde ise 50 mikron gümüş kaplı bakır ve kompozit iplik sırasıyla atılmıştır. Bütün kumaş tiplerinde çözgü ipliği tipi (Nm 52 kompozit iplik) ve çözgü sıklığı (25 tel/cm) aynıdır. Bez ayağı kumaşların atkı sıklıkları 50 tel/cm, dimi kumaşların atkı sıklıkları ise 38 tel/cm olarak düzenlenmiştir. Kumaş numunelerinin EMSE ölçümleri, ASTM-D 4935 standardını esas alan koaksiyel tutucu metodu ile 30 MHz - 1.73 GHz aralığında yapılmıştır. Üretilen kumaşların ekranlama etkinlik değerleri incelendiğinde; paslanmaz çelik tel (SS) içeren bezayağı örgü yapısına sahip kumaşın, gümüş kaplı bakır tel içeren bezayağı örgü yapısına sahip kumaşa göre daha iyi ekranlama etkinliği gösterdiği bulunmuştur. Farklı örgü yapısına sahip dimi kumaşların benzer ekranlama etkinliği gösterdiği ve farklı örgü yapılarının SE değeri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca, bez ayağı kumaşlar 40 dB ve üzeri EMSE değeri göstermiştir. Bez ayağı kumaşın SE değeri 1.70 GHz’de en yüksek 55.21 dB olarak ölçülmüştür. Dimi (2/2) kumaşın SE değeri 1.31 GHz’de en yüksek 56.25 dB olarak ölçülmüştür.

Perumalraj ve diğerleri (2009) “Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper Core-Woven Fabrics” konulu çalışmalarında iplik numarası, atkı ve çözgü sıklığı, kumaş örtme faktörü, kumaş konstrüksiyonu, kumaş kat sayıları ve bakır tel çapının ekranlama etkinliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmalarında iki farklı çapta, 90 ve 100 mikron inceliklerinde bakır teller ile pamuk lifleri kullanarak DREF III iplik eğirme makinesinde özlü iplik üretilerek bez ayağı ve dimi kumaşlar elde edilmiştir. EMSE ölçümleri, yansız oda içerisinde koaksiyel iletim hattı kullanılarak ASTM D4935-1999 standardına göre 20 MHz - 18 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda 200 MHz - 4 GHz düşük - orta frekans aralığında 20dB - 66dB ekranlama etkinliği sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde atkı ve çözgü sıklığı, kumaş örtme faktörü artışının EMSE’yi artırıcı yönde etkilediği görülmüştür. Bunun nedeni, sıklıkların artmasıyla birim alanda bakır tel sayısındaki artışın iletkenliği artırarak EMSE’yi etkilemesiyle açıklanmıştır. Ayrıca, ince iplik numaralarının daha yüksek EMSE sağladığı fakat iletken tel çapındaki artışın EMSE üzerinde azalmaya neden olduğu ifade edilmiştir. İki kat olarak ölçülen kumaşların (dimi ve bezayağı) ekranlama etkinliğinin özellikle yüksek frekanslarda daha etkili olduğu gözlenmiştir. Kumaş konstrüksiyonunun ekranlamaya etkisi incelendiğinde, dimi kumaşlarının bez ayağı kumaşlara göre daha yüksek ekranlama sağladığı bunu da, dimi kumaşta atlama yapan iplik uzunluğunun bez ayağına göre daha fazla olmasına, yüzeydeki atlamalarla gözleneklerin daha iyi kapanmasına bağlanmıştır.

Su ve Chern (2004) “Effect of Stainless Steel Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness” konulu çalışmalarında paslanmaz çelik (SS) yoğunluğunun, atkı/çözgü iplikleri arasındaki gözenek (ağ) boyut (mm) değişimlerinin, iplik geometrisinin (sarımlı ya da kılıf, çekirdek, katlı, karışım iplik), paslanmaz çelik filament ve kesikli lif içeriklerinin polyester ipliklerle oluşturulan farklı karışımlarındaki hibrid ipliklerin, hem atkı hem çözgüde bazı kumaşlarda ise sadece atkıda kullanılarak üretilen dokuma kumaş konstrüksiyonlarının, ekranlama etkinliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada materyal olarak, polyester filament ve kesikli lifi ile 8 mikron çapında paslanmaz çelik kesikli lif ve 50 mikron çaplı paslanmaz çelik filamentlerle farklı türde iplikler (sarımlı ya da kılıf, çekirdek, katlı, karışım iplik) üretilmiştir. Üretilen paslanmaz çelik içerikli hibrid ipliklerin daha sonra atkı ve çözgüde veya sadece atkıda kullanılmasıyla çözgü sıklığı sabit tutularak, gözenek boyutları ve paslanmaz çelik içeriği farklı olan bez ayağı ve dimi (2/2 dimi ve 3/1 dimi) kumaşlar elde edilmiştir. Kumaşların EMSE ölçümleri, ASTM D4935 standardına göre koaksiyal test metodu kullanılarak 9 KHz - 3 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. İplik geometrileri incelendiğinde, özlü ve katlı yapıdaki iplikler, sarımlı ipliklere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Paslanmaz çelik iplik yoğunluğunun EMSE’ye etkisi incelendiğinde, EMSE değerinin, birim alanda kullanılan paslanmaz çelik yoğunluğunun diğer kumaşlara göre daha fazla ve kumaş örgüsünün de diğerlerine göre 0,5 x 0,9 mm boyutta daha sık gözenekli bir yapıda oluşuna bağlanmıştır. Ayrıca, atkı ve çözgüsünde paslanmaz çelik iplik içeren kumaşın 1800 MHz’de 37.76 dB ekranlama sağladığı, sadece atkısında çelik iplik içeren kumaşın ise 500 MHz’de en yüksek 18.15 dB’lik bir EMSE değeri aldığı görülmüştür. Bu sonuçtan hareketle iki iplik sisteminde paslanmaz çelik iplikler, tek iplik sistemine göre daha yoğun şekilde bir araya gelerek çok iyi bir elektriksel iletken ağın oluşturulduğu ve gelen EM dalgaların kumaşa girerken bu ağa takılarak direncinin kırılmasıyla EMSE değerlerinin artacağı yorumlarına yer verilmiştir. Paslanmaz çelik filament içeren katlı iplikle üretilen bez ayağı kumaşta 1500 MHz’de ekranlama etkinliği 41.25 dB iken, paslanmaz çelik kesikli lif içeren iplikle üretilen bez ayağı kumaşta ekranlama etkinliği 35.38 dB olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla, paslanmaz çelik filament içeren kumaşların, paslanmaz çelik kesikli lif içeren kumaşlara göre daha yüksek EMSE sağladığı ifade edilmiştir. Kullanılan iletken filament ve iplik türü sabit tutularak dokuma konstrüksiyonlarının EMSE’ye olan etkileri incelendiğinde, bez ayağı kumaşın 2/2 dimi ve 3/1 dimi kumaşlara göre 1500 MHz’de 41.5 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı

görülmüştür. Ayrıca, kumaşların bu frekansta birbirine çok benzer ekranlama gösterdiği bunu da bez ayağı ve 2/2 dimi yapılarında gözenekler, küçük ve kareler daha sık olduğundan ekranlama etkinliklerinin optimum değerlere sahip olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, 1900 MHz'de 3/1 dimi kodlu kumaşın en iyi ekranlama değerine sahip olduğu belirtilmiştir. Frekansın EMSE'ye olan etkisi incelendiğinde, tüm kumaşların frekans arttıkça arttığı, belli frekanslara kadar 1500 MHz ve 1800 MHz civarında maksimum ekranlama değerlerine ulaştığı, yüksek frekanslara çıkıldıkça ise bu değerlerin azaldığı ifade edilmiştir.

Ueng ve Cheng (2001) "The Leakage Power Density and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Conductive Woven Fabrics" konulu çalışmalarında iplik yapısı, kumaş örgü yapısı, kumaşın yüzey ve hacim direnci ve paslanmaz çeliğin karışımdaki oran değişkenlerinin kalkanlamaya etkileri incelenmiştir. Mikrodalgalarla ilgili çalışmalar yaparak yüksek frekanslı EM dalgaların ekranlanması amacıyla yeni iplik ve kumaş yapıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışmada, 8 mikron kesikli paslanmaz çelik lif, 50 mikron paslanmaz çelik tel rayon, kevlar ve polyesterle paslanmaz çelik/polyester, paslanmaz çelik/rayon ve paslanmaz çelik/kevlar karışımları eğrilerek özlü iplikler üretilmiştir. Özlü iplik yapısında % 13.7 paslanmaz çelik tel, % 31.6 paslanmaz çelik lifi ipliğin öz kısmında ve % 54.7 oranında kevlar ise ipliğin dış cepesinde yani mantosunda kullanılarak üretilmiştir. Aynı oranlar rayonla üretilen iplikler için de geçerlidir. Yapısında % 20 paslanmaz çelik tel özde ve % 80 polyester ise mantoda bulundurulacak şekilde eğrilmiştir. Daha sonra bu özlü iplikler, hem atkıda hem çözgüde kullanılarak, farklı atkı ve çözgü sıklıklarında bez ayağı ve 2/2 dimi örgü yapılarında kumaşlar tasarlanmıştır. EMSE testleri, koaksiyel test metodu uygulanarak 300 KHz - 3 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kompozit iplik yapısındaki iletken tel ve lif oranlarının kalkanlama etkinliği üzerinde büyük etkisinin olduğu vurgulanmıştır. İplik yapısındaki iletken oranı, kumaş yapısı ve kumaştaki iplik sıklıklarının değiştirilerek istenilen düzeyde kalkanlama etkinliğinin elde edilebileceği belirtilmiştir. Özünde filament bulunan çelik tellerin, kesikli lif bulunanlarına göre yüksek kalkanlama değerlerine ulaştığı, ayrıca yüzey ve hacim direnci değerleri düşük olan kumaşlarda kalkanlama etkinliğinin arttığı görülmüştür. Üretilen kumaşlarda 45-50 dB civarında EMSE değerleri elde edilmiştir.

BÖLÜM III

YÖNTEM

Bu bölümde araştırmanın modeli, araştırma materyali, verilerin toplanması ve verilerin analizi konularına yer verilmiştir.

Araştırmanın Modeli

Çalışma, paslanmaz çelik ve bakır iletken kompozit iplikli dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama özelliklerini karşılaştırmalı olarak inceleyen deneme modelinde bir araştırmadır.

Araştırma Materyali

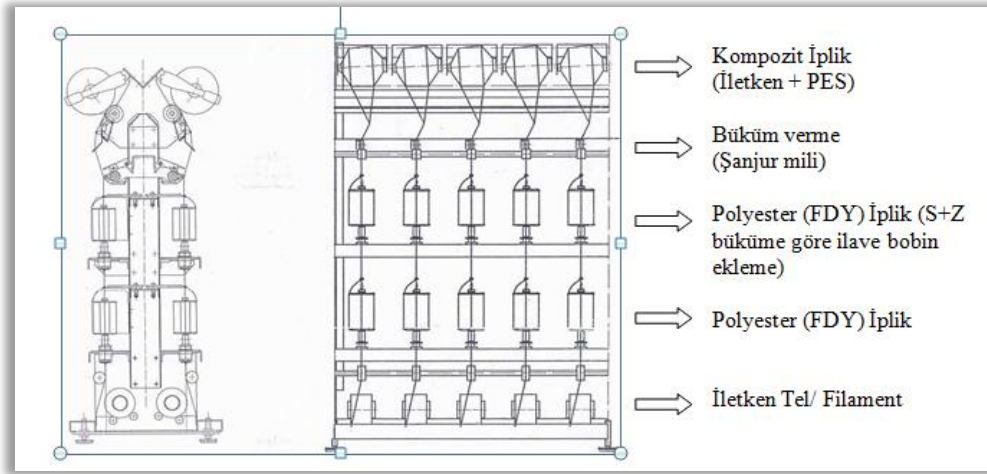
Araştırmanın materyalini, EM kalkanlama amaçlı kullanılmak üzere paslanmaz çelik ve bakır kompozit ipliklerle farklı örgü yapısı ve iletken iplik kullanım miktarında üretilen dokuma kumaşlar oluşturmuştur. Çalışmada araştırma için, 35 mikron (μ) çapında bakır filament ve paslanmaz çelik filament içeren iki farklı kompozit iplikle üretilen bez ayağı, çapraz atkı sateni, alt atkı takviyeli çapraz atkı sateni ve üst atkı takviyeli dokuma kumaşlar kullanılmıştır.

İletken Filamentli Kompozit İpliklerin Üretimi ve Özellikleri

Bu çalışmada öncelikle araştırma materyali olan dokuma kumaşların kompozit (iletken filament + polyester iplik) atkı ve çözgü ipliklerinin üretiminde kullanılan iletken filamentler, Bursa'da faaliyet gösteren ve araştırmaya destek veren kuruluşlardan Korteks (Polyester İplik) Mensucat San. Ve Tic. A.Ş. firması tarafından yurt dışından getirilmiştir. İletken filamentlerden, 35 mikron (μ) AISI 316 L tipi östenitik paslanmaz çelik filament Belçika'daki Bekintex firmasından, 35 mikron (μ) emaye kaplı bakır filament ise İstanbul'daki Fiberinoks firması aracılığıyla temin edilmiştir.

Temin edilen iletken filamentler, %100 polyester (FDY) ipliklerle Korteks İplik A.Ş. firması tarafından, 120 iğli RIETER marka iplik büküm makinesinde (Şekil

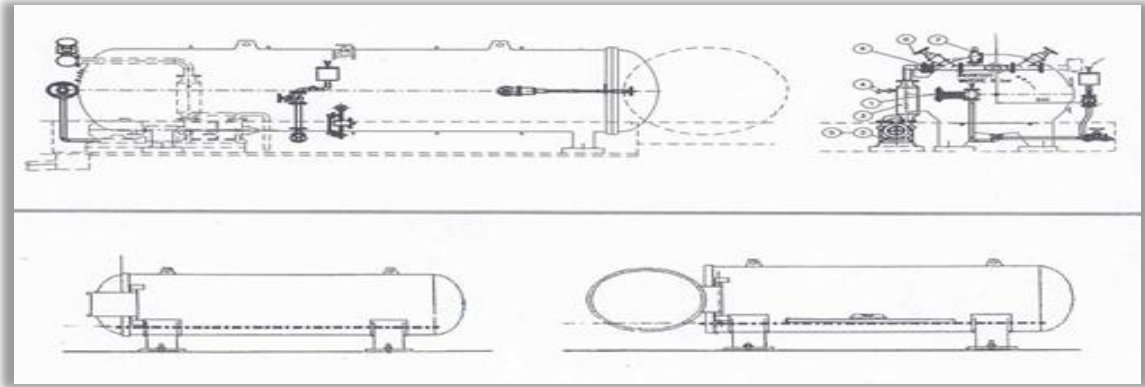
41) katlanıp bükülerek Çelik/PES ve Bakır/PES kompozit iplikleri üretilmiştir. Araştırmada iletken filamentin sağlamlığını artırarak numune kumaş üretim aşamalarında olabilecek tel kopuşlarını en aza indirmek ve elde edilecek iplik ve kumaşa esneklik kazandırmak amacıyla iletken filamentlerin kompozit iplik formunda kullanımı uygun görülmüştür.



Şekil 41. İplik büküm (gipe) makinesinin yandan ve önden görünüşü (Korteks İplik, 2013)

İplik büküm (gipe) makinesi (Şekil 41), elastanlı iplik ile tekstüre veya FDY polyester ipliklerin büküm verilerek birleştirilmesi için tasarlanmıştır. Elastan iplik, isteğe göre 1 veya 2 iplik ile birleştirilebilmektedir. Tek iplik kullanılması durumunda, büküm yönü “S” veya “Z” yönde olacak şekilde katlama işlemi gerçekleştirilebilir. Elde edilen iplik Take-up ve Şanjur mili vasıtasıyla konik plastik masuraya sardırılarak katlama işlemi sona ermektedir (Kurtuluş, 2012). Bu çalışmada, Şekil 41’deki gipe makinesinde elastan iplik bobinlerinin yerleştirildiği kısma (en alt) iletken filament (çelik, bakır) bobinleri konularak belirli çekim altında FDY polyester ipliklerle katlanıp büküm verilerek iki ipliğin birleştirilmesi sağlanmıştır.

İletken kompozit ipliklerin üretim aşamasında bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Paslanmaz çelik filamentin polyesterle bükümü sırasında polyester ipliği tıraşlayarak iplikte hav oluşumuna ve kopuşlara neden olduğu görülmüştür. Düşük yoğunluklu bakır filamentin polyesterle bükümü aşamasında ise, çeliğe göre daha fazla kopuş gerçekleşmiştir. Bakır filamentli kompozit ipliğin dokuma aşamasında kullanımını kolaylaştırmak, kazandırılmış olan büküm (Tur/m) özelliklerinin kalıcılığını arttırmak amacıyla Pozzi Fikse makinesinde (Şekil 42) buhar vasıtasıyla fiksaj işlemi gerçekleştirilerek bakır kompozit iplikler dokumaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 42. Pozzi fikse makinesi (Korteks İplik, 2013)

Şekil 43'te dokuma üretimi için hazırlanmış çelik ve bakır filamentlerden üretilen kompozit iplik bobinleri görülmektedir.



Şekil 43. İletken filamentli kompozit iplik bobinleri

Araştırma kapsamında temin edilen iletken filamentlerin ve bunların polyester ipliklerle bükülmesiyle oluşturulan kompozit ipliklerin incelik (Dtex/Denye ölçümü), mukavemet (cN/Dtex), kopma uzaması (%) değerlerine ve iletken filamentlerin elektriksel dirençlerine (ohm/m) bakılmıştır (Tablo 15 ve 17). İletken filament ve kompozit ipliklere ait fiziksel ölçümlerden incelik tayini DIN EN ISO 2060 SKEIN METHOD, mukavemet (cN/dtex) ve kopma uzama (%) tayini ise DIN EN ISO 2062/STATIMAT standardına göre Korteks İplik A.Ş. İşletmesinin Tekstil Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen dokumalarda atkı ve çözgü ipliği olarak kullanılan kompozit ipliğin bileşenlerine ait bilgiler Tablo 16'te görülmektedir.

Tablo 15. Kompozit ipliklerin üretiminde kullanılan iletken filamentlerin ve polyester ipliklerin özellikleri

İletken Filament Çeşidi	Dtex/Denye/Filament Sayısı	Çap (μ)	Mukavemet (cN/dtex)	Kopma Uzama (%)	Elektriksel Direnç (Ohm/m)
316 L Paslanmaz Çelik	82/74/1	35	1.28	27	776
Emaye Kaplı Bakır	89/80/1	35	0.31	25	19,4
Polyester İplik (FDY)	50/45/24 55/50/24	-	4.90 3.77	29 38	-

Tablo 16. Atkı ve çözgüde kullanılan kompozit iplik bileşenleri

Kompozit İplik No	Kompozit İplik Bileşenleri	Karışım Oranları (% İletken/PES)
132 Dtex/119 Denye	82 Dtex Çelik Filament + 50 Dtex PES (FDY)	62/38
144 Dtex/130 Denye	89 Dtex Bakır Filament + 55 Dtex PES (FDY)	62/38

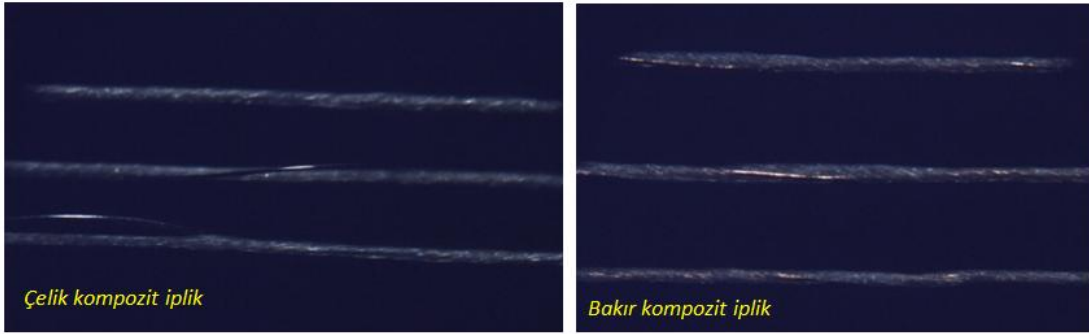
Tablo 17. Üretilen iletken kompozit ipliklerin özellikleri

Kompozit İplik	Dtex/Denye/Filament	Tur/m (S, Z)	Mukavemet (cN/dtex)	Kopma Uzama (%)
35μ Çelik/ 50 Dtex PES	132/119/25	648 (S)	2,16	36,49
35μ Bakır/ 55 Dtex PES	144/130/25	779 (Z)	1,56	40,17

Çalışmada, projeksiyon mikroskobu (Projectina) aracılığıyla bakır filamentin kesit görüntüsü (Şekil 44) ve kompozit ipliklerin boyuna görüntüleri (Şekil 45) alınmıştır. Çelik filament'in sert yapısından dolayı sağlıklı kesit alınmadığı için kesit görüntüsü elde edilememiştir.



Şekil 44. Bakır filamentte ait kesit görüntüsü (880X) (Korteks İplik, 2013)

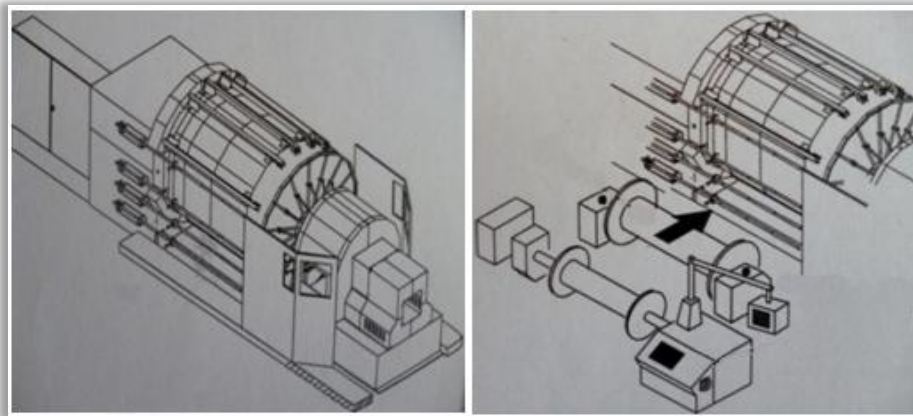


Şekil 45. Çelik/PES ve Bakır/PES kompozit ipliklerin boyuna görüntüleri (44X)
(Korteks İplik, 2013)

Dokuma Kumaş Numunelerinin Üretimi ve Özellikleri

EMSE ölçümlerinde kullanılan numune dokuma kumaşlar, araştırmaya destek veren, Bursa'da faaliyet gösteren Zorluteks Tekstil A.Ş. İşletmesinin dokuma departmanında üretilmiştir. Dokuma kumaşların üretimi, Dornier marka pozitif kancalı (rapier) atkı atma mekanizmasına sahip, 16 ana zemin 2 kenar olmak üzere toplam 18 çerçeveye sahip armürlü dokuma makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Çözü hazırlama aşamasında Karl Mayer marka 16 bobin kapasiteli otomatik numune çözgü makinesi (Şekil 46) kullanılmıştır. Bu makinede çapraz alma ve çözgü sarma işlemi bir arada gerçekleştirilmektedir. Çözgü iplik raporları 1:1 oranında, 1 Çelik: 1 PES ve 1 Bakır: 1 PES olarak düzenlenmiştir. Numune çözgü makinesinde hazırlanan çözgüler çözgü levendine sarılarak otomatik tahar makinesine aktarılmıştır. Burada 12 zemin 2 kenar olmak üzere toplam 14 çerçevede, sıra tahar yapılan çözgüler dokuma makinesine aktarılarak belirlenen örgü yapılarında numune kumaşlar için dokumaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 46. 16 bobin kapasiteli numune çözgü makinesinin şematik gösterimi
(Zorluteks Tekstil, 2013)

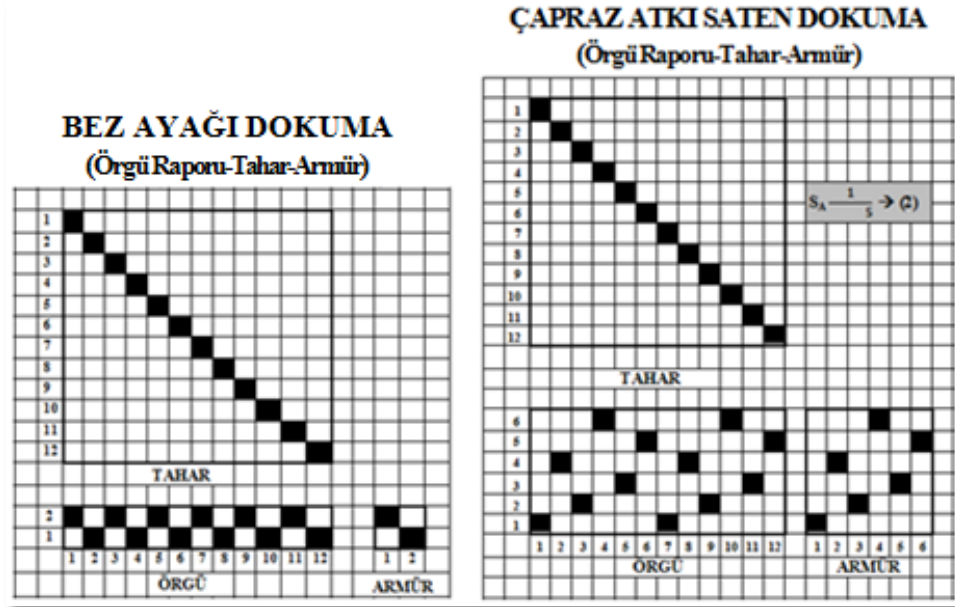
Üretimde, tarak sıklığı 30 diş/cm olan dokuma tarağı kullanılmıştır. Tarak taharı, her diş aralığından 1 iplik geçirilerek yapılmıştır. Kullanılabilir tarak eni 305 cm'dir. Tüm kumaşların atkı ve çözgüsünde iletken kompozit ipliklerle birlikte belirli oranlarda inceliği 75/68/24 Dtex/Denye/Filament sayısı, mukavemeti 3.73 cN/dtex ve kopma uzaması % 42 olan tek tip polyester (FDY) iplik kullanılmıştır.

Araştırma kapsamında yapılan ölçümlerde, basit yapılı dokumalardan bez ayağı ve çapraz atkı sateni (6'lı), atkı takviyeli dokumalardan ise alt atkı takviyeli çapraz atkı sateni ve üst atkı takviyeli örgülerden oluşan 4 adet çelik kompozit iplikli ve 8 adet bakır kompozit iplikli olmak üzere toplam 12 adet numune dokuma kumaş kullanılmıştır. EMSE ölçümlerinde kullanılan dokuma kumaşlara ait örgü raporları Şekil 47 ve 48'de verilmiştir. Araştırma kapsamında üretilen dokuma kumaşlara ait teknik bilgiler ise Tablo 18'de sunulmuştur. Kumaşların gramaj ölçümleri TS 251 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

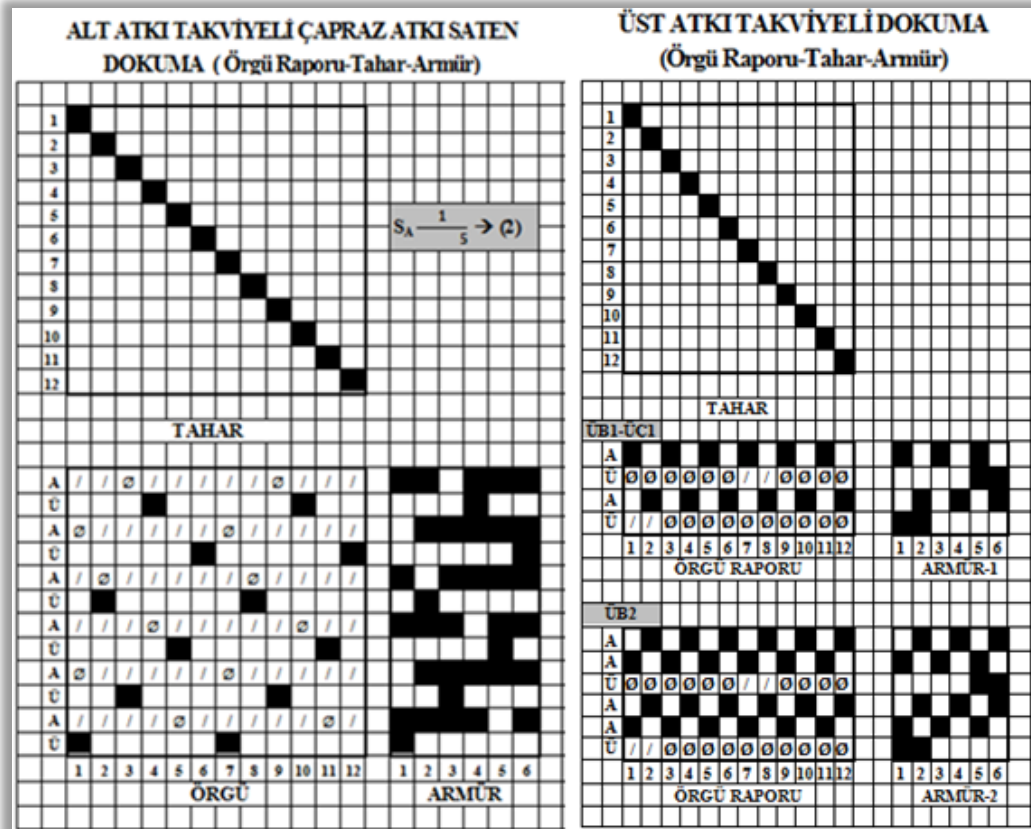
Tablo 18. EMSE ölçümlerinde kullanılan çelik ve bakır kumaşlara ait teknik bilgiler

Dokuma Örgü Çeşidi	Kodu	Çözgü İpliği				Atkı İpliği				Gramaj (gr/m ²)	
		Sıklığı (tel/cm)	İletken Kullanım Oranı		İletken Miktar (tel/cm)	Sıklığı (tel/cm)	İletken Kullanım Oranı		İletken Miktar (tel/cm)		
			Çelik/Bakır	PES			Çelik/Bakır	PES			
Basit Yapılı Dokumalar	Bez ayağı	BÇ1	30	1Çelik	1PES	15	36	Çelik	-	36	85,29
		BB1	30	1Bakır	1PES	15	36	Bakır	-	36	87,73
		BB2	30	1Bakır	1PES	15	36	1Bakır	1PES	18	78,40
	Çapraz Atkı Sateni (6'lı)	ÇÇ1	30	1Çelik	1PES	15	40	Çelik	-	40	92,76
		ÇB1	30	1Bakır	1PES	15	40	Bakır	-	40	94,44
		ÇB2	30	1Bakır	1PES	15	50	1Bakır	1PES	27	96,09
							Üst	Alt			
Atkı Takviyeli Dokumalar	Alt Atkı Takviyeli Çapraz Atkı Sateni	AÇ1	30	1Çelik	1PES	15	60	1 Çelik	1 PES	30	103,07
		AB1	30	1Bakır	1PES	15	60	1 Bakır	1 PES	30	108,40
		AB2	30	1Bakır	1PES	15	60	1Bakır 1PES	1 PES 1 PES	16	96,93
	Üst Atkı Takviyeli Dokuma	ÜÇ1	30	1Çelik	1PES	15	56	1 Çelik	1 PES	27	101,16
		ÜB1	30	1Bakır	1PES	15	56	1 Bakır	1 PES	27	101,38
		ÜB2	30	1Bakır	1PES	15	36	1Bakır	2PES	13	73,11

Tablo 18’de görüldüğü gibi, Şekil 47 ve 48’de verilen örgü raporlarında bakır kompozit iplikler, tüm atkılarda ve 1 Bakır:1 PES olmak üzere 1:1 iplik oranında kullanılarak iletken iplik kullanım miktarı açısından iki farklı kumaş yapısı oluşturulmuştur.

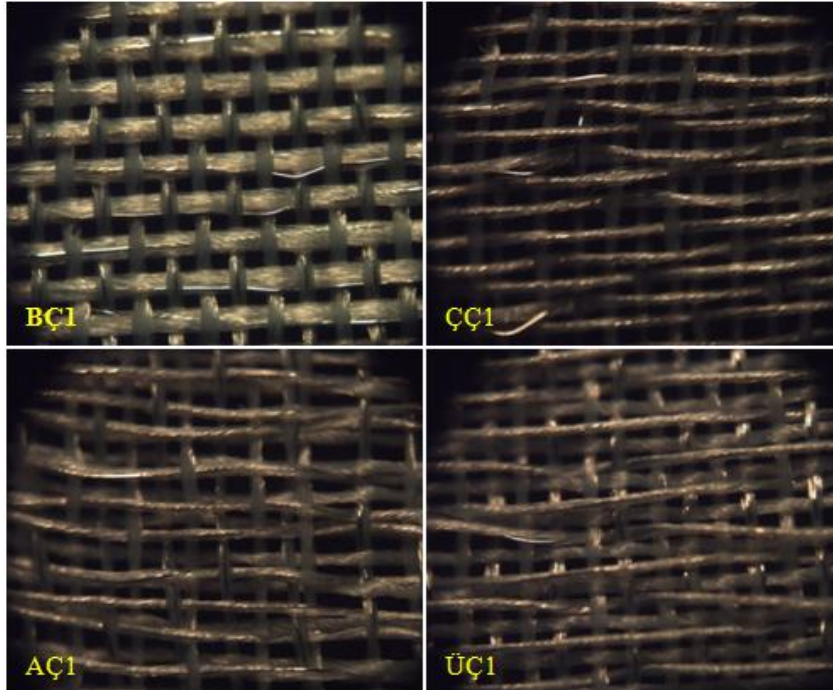


Şekil 47. Basit yapıli dokuma örgüleri

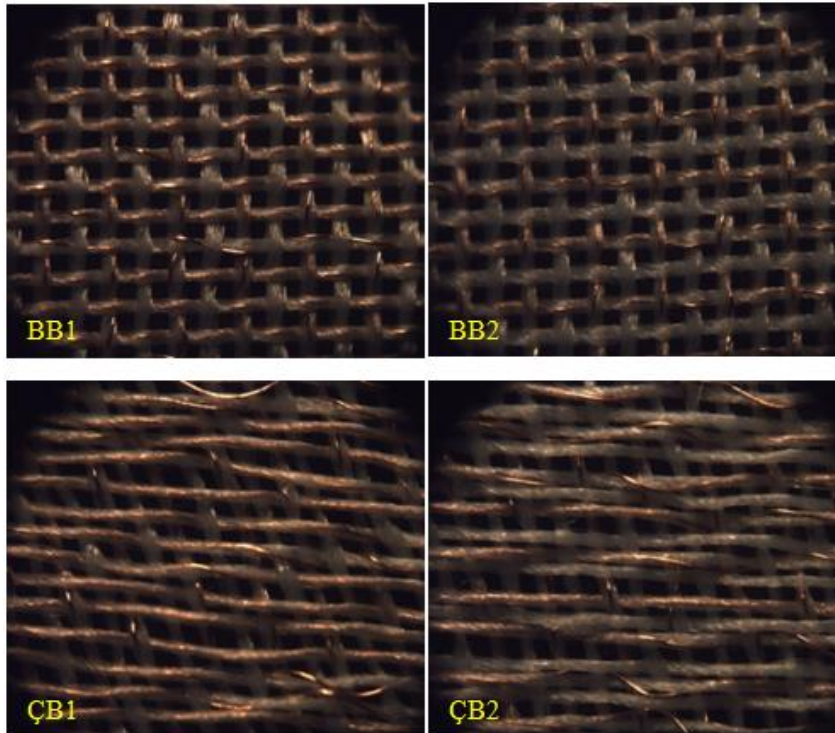


Şekil 48. Atkı takviyeli dokuma örgüleri

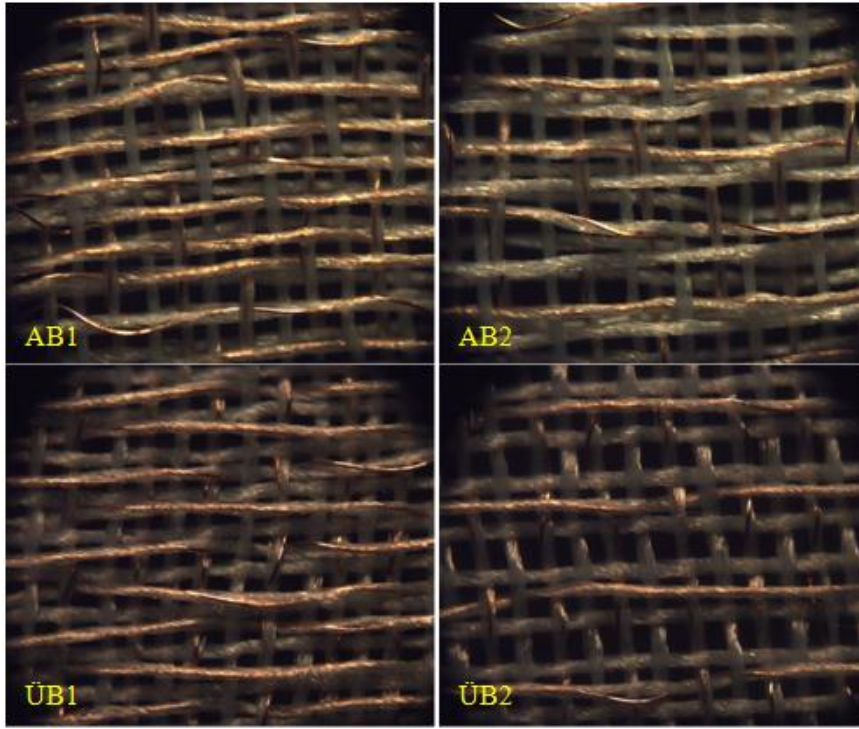
EMSE ölçümlerinde kullanılan basit örgü yapılı ve atkı takviyeli dokuma kumaşlara ait görüntüler (Şekil 49-51) projeksiyon mikroskobu (Projectina) aracılığıyla alınmıştır.



Şekil 49. Basit örgü yapılı (BÇ1, ÇÇ1) ve atkı takviyeli (AÇ1, ÜÇ1) çelik kumaşlara ait görüntüler (110X)



Şekil 50. Basit örgü yapılı (BB1, BB2, ÇB1, ÇB2) bakır kumaşlara ait görüntüler (110X)



Şekil 51. Atkı takviyeli (AB1, AB2, ÜB1, ÜB2) bakır kumaşlara ait görüntüler (110X)

Numune kumaşların üretilmesinde atkı iplik sıklıklarının standart olması istenmiş ancak üretim imkan ve koşullarına bütünüyle hakim olamamaktan kaynaklanan nedenlerle bu koşulu sağlamak mümkün olamamıştır. Dolayısıyla numune kumaşların atkı iplik sıklıkları arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Veri Toplama Araçları ve Verilerin Toplanması

Bu başlık altında EMSE ölçümlerinde kullanılan araçlar hakkında bilgi verilerek deneyin uygulanışı açıklanmıştır.

EMSE Ölçümlerinde Kullanılan Araçlar

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümleri, TÜBİTAK UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü)'nin EMC Laboratuvarında araştırmanın amaçlarına uygun araçlarla teçhiz edilmiş laboratuvar ortamında Yankısız Oda Test Metoduyla “IEEE-STD-299: 2006 Ekranlama Etkinliği Ölçümü” standardı referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin güvenilirliği için içeriden ve dışarıdan girebilecek sinyallere karşı yarı yansız ekranlı oda (Şekil 52) kullanılmıştır. Kumaşların kalkanlama etkinliği ölçümleri yansız oda üzerinde açılan alanı 60 x 60

cm² olan bir pencerede gerçekleştirilmiştir. Yansımaz oda 3.70 * 4.90 * 3.50 cm boyutlarındadır. Bu odanın duvarlarında oluşabilecek yansımaları azaltmak amacıyla piramit şeklinde RF (radyo frekans) yutucu malzemeler (Şekil 52) kullanılmıştır. Araştırma kapsamında dokunan kumaşların EMSE değerinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm araçları ve ölçülen frekans aralıkları Tablo 19’da verilmiştir.



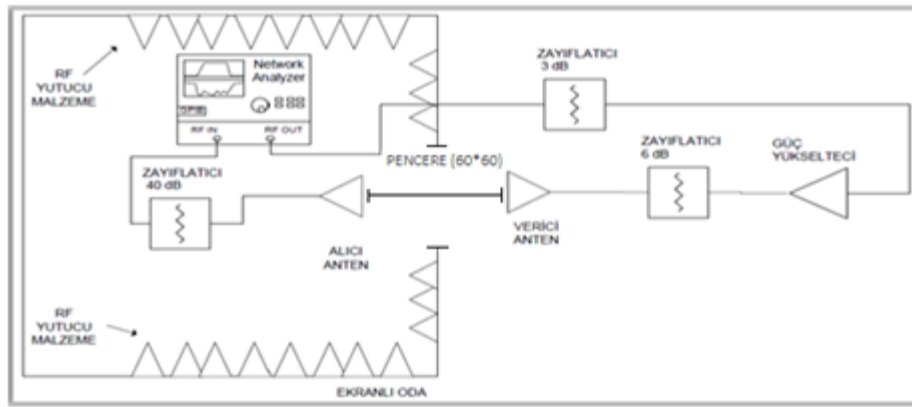
Şekil 52. Yansımaz odanın dıştan ve içten görünümü (TÜBİTAK, 2013)

Tablo 19. EMSE ölçümlerinde kullanılan ölçüm araçları (TÜBİTAK, 2013)

Araçlar	Üretici Firma	Ölçülen Frekans Aralığı	Alıcı-Verici Anten Arası Mesafe (cm)
Network Analizör	Hewlett Packard	10 MHz – 3 GHz	-
Güç Yükseltici (10Watt)	Amplifier Research	10 MHz – 1000 MHz	-
Çerçeve Anten (Alıcı)	UL 9-20M	10 MHz – 30 MHz	60 cm
Çerçeve Anten (Verici)	UL 9-20M	10 MHz – 30 MHz	60 cm
Bikonik Anten (Alıcı)	Schwarzbeck	30 MHz – 300 MHz	200 cm
Bikonik Anten (Verici)	Schwarzbeck	30 MHz – 300 MHz	200 cm
Log Peryodik Anten (Alıcı)	Schwarzbeck	300 MHz – 1000 MHz	200 cm
Log Peryodik Anten (Verici)	Schwarzberk	300 MHz – 1000 MHz	200 cm
Horn Anten (Alıcı)	ETS-Lindgren	1 GHz – 3 GHz	200 cm
Horn Anten (Verici)	ETS-Lindgren	1 GHz – 3 GHz	200 cm
Zayıflatıcı	BW-N40W5	5W 40dB, DC-18 GHz	-
Zayıflatıcı	BW-N3W5	5W 3dB, DC-18 GHz	-
Zayıflatıcı	5906.17.004	25W 6dB, DC-18 GHz	-
50 Ohm 15 Watt Sonlandırıcı	Huber Suhner	-	-

EMSE Testinin Uygulanışı

Kalkanlama etkinliği ölçümleri, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında HP 8753E Network Analizörü ile gerçekleştirilmiştir. Network Analizör yansımatsız odanın içerisinde olup, hem dalga üretici hem de antenlerden gelen zayıflatma ölçüm sonuçlarını kaydeden bir cihaz konumundadır. Testte öncelikle referans ve zayıflatma ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlere temel oluşturan test düzeneği Şekil 53'te gösterilmiştir.



Alıcı-verici çerçeve antenler arası mesafe: 60 cm

Alıcı-verici bikonik, logperiyodik ve horn antenler arası mesafe: 200 cm

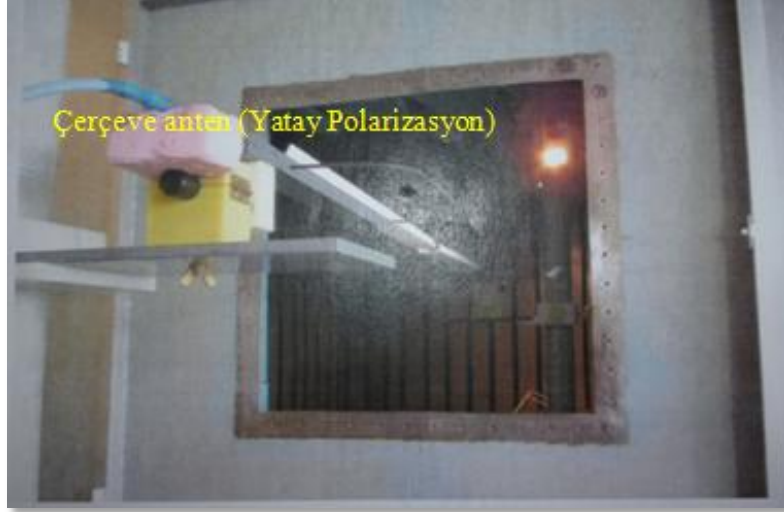
Şekil 53. Kalkanlama etkinliği genel test düzeneği (TÜBİTAK, 2013)

Ölçümlerde 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında sırasıyla çerçeve anten, bikonik anten, log periyodik anten ve horn anten olmak üzere dört anten çifti (alıcı-verici) kullanılmıştır. Ölçümler, pencere açıkken (referans ölçüm) ve pencereye kumaş numunesi (zayıflatma ölçümü) takılı iken antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında ayrı ayrı yapılmış olup antenler arasındaki mesafe çerçeve antenler (alıcı-verici) arasında 60 cm, diğer anten çiftleri arasında ise 200 cm olarak standartta da (IEEE-STD-299: 2006 “Ekranlama Etkinliği Ölçümü”) belirtildiği üzere muhafaza edilmiştir. Kumaş kalkanlama etkinliği değeri belirlenirken aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Ekranlama Etkinliği Değeri (dB)} = \text{Referans Ölçüm Sonucu (dB)} - \text{Zayıflatma Ölçüm Sonucu (dB)}$$

Referans ölçümlerinde yansımatsız odanın penceresi açıktır (Şekil 54). Referans ölçümleri, odanın penceresi açık, alıcı anten içeride verici anten dışarıda olduğu halde ve antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında yapılmıştır. Zayıflatma ölçümleri ise, kumaş yansımatsız odanın penceresine monte edilmiş (Şekil 55), yine aynı

şekilde alıcı anten içeride verici anten dışarıda ve antenlerin hem yatay hem de dikey polarizasyonlarında gerçekleştirilmiştir.

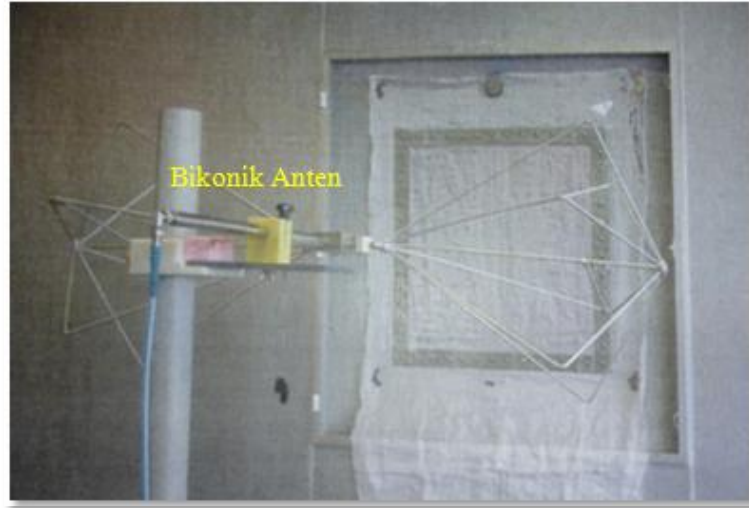


Şekil 54. Yatay polarizasyonda referans ölçümü (TÜBİTAK, 2013)

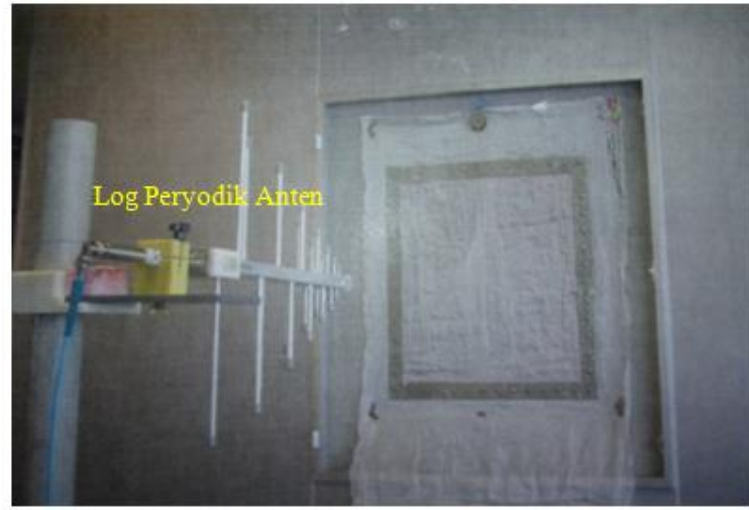


Şekil 55. Dikey polarizasyonda zayıflatma ölçümü (TÜBİTAK, 2013)

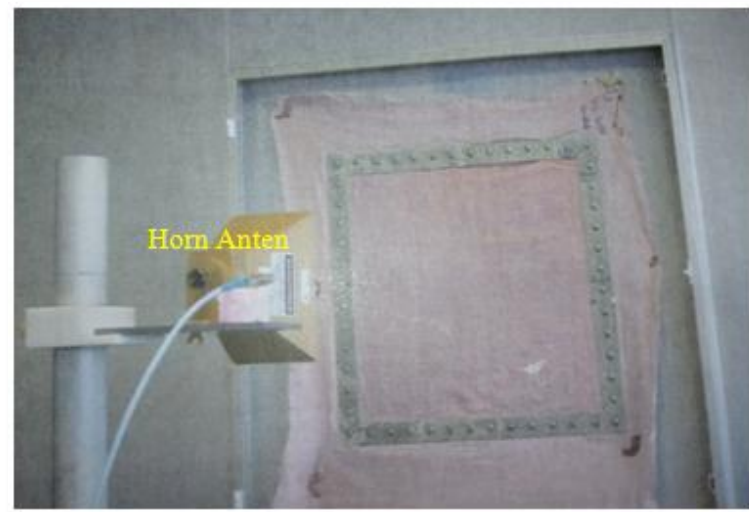
Numune kumaşlar, yansımaz odanın penceresine çözümlü iplikleri yatay, atkı iplikleri dikey şekilde konumlandırılarak yerleştirilmiştir. EMSE ölçümleri ise, çözümlü yönünde yatay, atkı yönünde dikey konumdaki antenlerle gerçekleştirilmiştir. Şekil 56'da bikonik antenle, Şekil 57'de log periyodik antenle, Şekil 58'de ise horn anten ile kumaş pencereye takılı durumda yatay ve dikey polarizasyonlarda zayıflatma ölçümleri ne ilişkin uygulamalar görülmektedir.



Şekil 56. Yatay polarizasyonda zayıflatma ölçümü (TÜBİTAK, 2013)



Şekil 57. Dikey polarizasyonda zayıflatma ölçümü (TÜBİTAK, 2013)

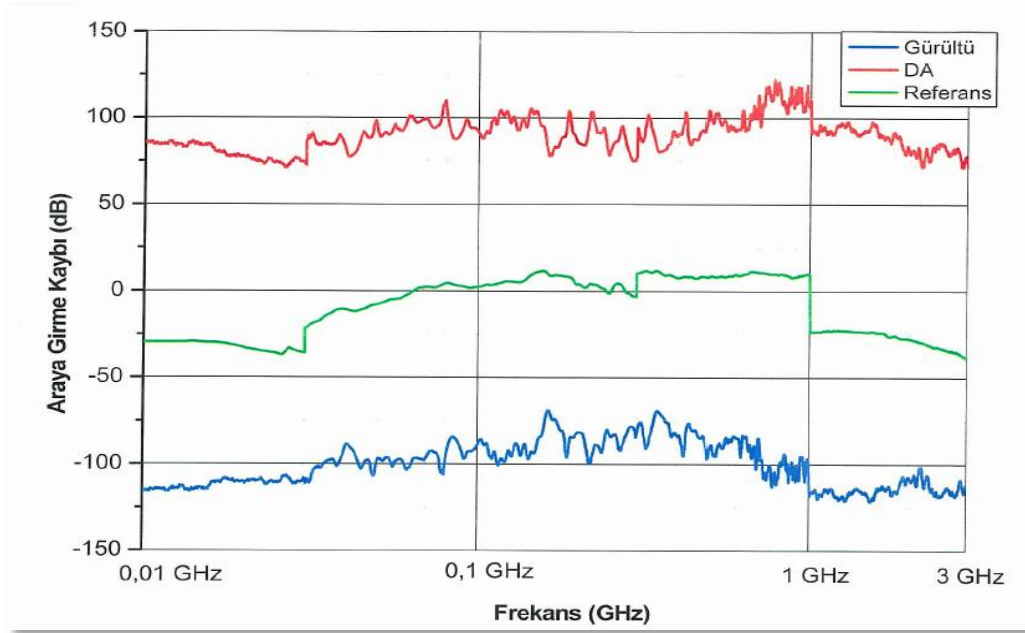


Şekil 58. Yatay polarizasyonda zayıflatma ölçümü (TÜBİTAK, 2013)

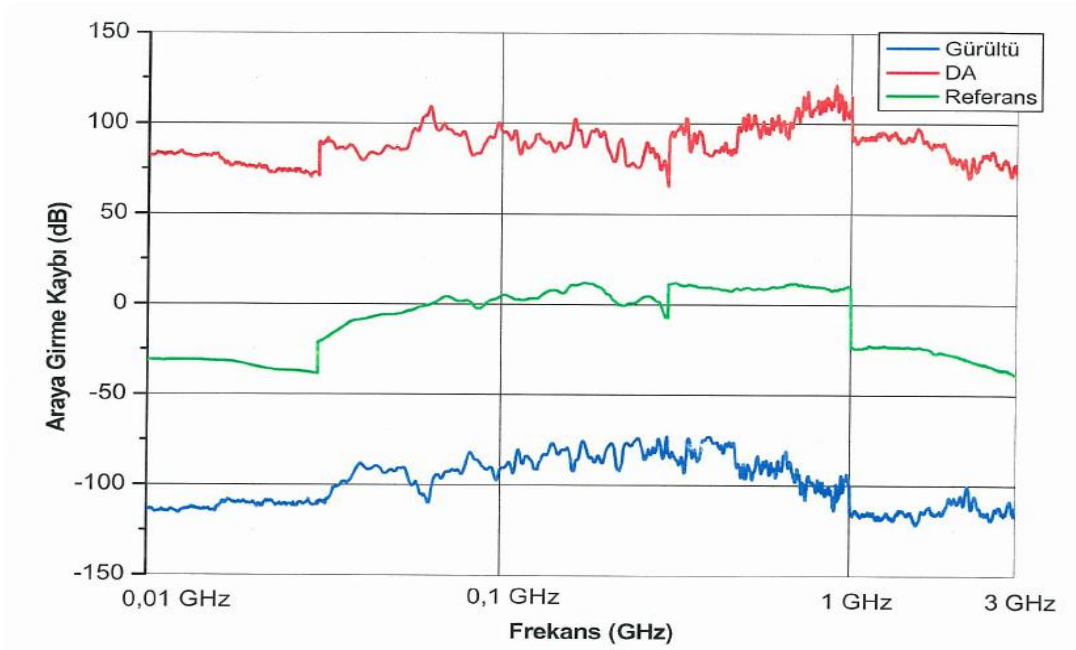


Şekil 59. Dikey polarizasyonda demir plaka zayıflatma ölçümü (TÜBİTAK, 2013)

Referans ve zayıflatma ölçümleri dışında dinamik aralık ölçümü adı verilen bir ölçüm daha yapılmıştır. Numunenin (kumaş) zayıflatma ölçümlerinden önce, kalkanlama etkinliği testinin yapıldığı yansısız odanın yeterli kalkanlama etkinliği sağladığını görmek için pencere demir bir plaka ile kapatılmış ve plakanın zayıflatma ölçümü yapılmıştır (Şekil 59). Test düzeneğinde, network analizör alıcı anten ile birlikte yansısız oda içerisindedir. Network analizörün oda içerisindeki elektromanyetik emisyonu da dinamik aralığın belirlenmesinde etkilidir. Network Analizörün emisyonlarını ölçerken pencerede demir plaka olduğu halde oda dışından RF_OUT portu 50 Ohm ile sonlandırılarak ölçümler network analizörün RF_IN portunda anten olduğu halde gerçekleştirilmiştir. Numune zayıflatma ölçümleri esnasında gürültü seviyesinin belirlenmesi için network analizörün RF_IN portundaki koaksiyel kablo anten ucundan 50 Ohm ile sonlandırılarak gürültü ölçümü yapılmıştır. Demir plakalı zayıflatma ölçümü, network analizör'ün emisyon ölçümü ve RF_IN portundaki koaksiyel kablunun anten ucuna 50 Ohm bağlanarak sonlandırılması ile alınan üç ölçüm dinamik aralığın belirlenmesinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Bu üç veriden en büyük olanı her bir frekans noktası için yeni bir gürültü seviyesi belirlemiş olur. Bu gürültü seviyesi değerleri, dinamik aralığı belirleyen gürültü seviyesi değerleri olacaktır. Referans ölçüm ile gürültü seviyesi arasındaki fark esasen numuneler için dinamik aralık değerini ifade etmektedir. Şekil 60 ve 61'de yansısız odada antenlerin dikey ve yatay polarizasyonlarda gerçekleştirilen dinamik aralığı oluşturan referans ölçüm, gürültü seviyesi ve dinamik aralık eğrileri verilmiştir.



Şekil 60. Dikey polarizasyonda dinamik aralık, referans ve gürültü seviyesi



Şekil 61. Yatay polarizasyonda dinamik aralık, referans ve gürültü seviyesi

Verilerin Analizi

Kumaşlara uygulanan EMSE testleri sonucunda elde edilen veriler, "Originpro 6.1" grafik programı ile çizilmiştir. Çizilen grafiklerde, dikey eksen EMSE (araya girme kaybı) değerlerini "dB" yatay eksen ise frekans "Hz" aralıklarını ifade etmektedir. Frekans aralığı, 10 MHz – 3 GHz arasında olacak şekilde 12 kumaş numunesinin yatay

ve dikey polarizasyonda yapılan EMSE ölçümleri taranarak, logaritmik eğriler biçiminde 24 EMSE grafiği elde edilmiştir. Araştırmanın hipotezleri doğrultusunda ölçümlere ilişkin verileri karşılaştırmak amacıyla seçilen ilgili grafikler, Photoshop CS5 çizim programı aracılığıyla çakıştırılarak düzenlenmiştir (EDIT). Böylece numune kumaşların EMSE değerlerini bir arada gösteren ve hipotezlere ilişkin karşılaştırmaya imkan sağlayan grafikler oluşturulmuştur.

Araştırma bulguları “iletken çeşidi”, “iletken iplik kullanım miktarı” ve “kumaş örgü yapısı”nın EMSE’ye etkisi başlıklarında açıklanarak yorumlanmıştır.

İletken çeşidinin EMSE’ye etkisinin analizinde iplik sıklığı, birim alanda iletken iplik kullanım miktarı ve örgü yapısı eşit olan çelik ve bakır kompozit iplikli kumaş çiftleri (BÇ1-BB1, ÇÇ1-ÇB1, AÇ1-AB1, ÜÇ1-ÜB1) dikey ve yatay polarizasyonlarında kendi içinde karşılaştırılmıştır. Ayrıca kumaşların yatay ve dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlere ilişkin EMSE değerlerini bir arada gösteren grafiklerle ilgili ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması da yapılmıştır.

İletken iplik kullanım miktarının EMSE’ye etkisinin analizinde iletken çeşidi ve örgü yapısı aynı olan bakır kompozit iplikli kumaş çiftleri (BB1-BB2, ÇB1-ÇB2, AB1-AB2, ÜB1-ÜB2) dikey ve yatay polarizasyonlarda kendi içinde karşılaştırılmıştır. Ayrıca kumaş çiftlerinin yatay ve dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlere ilişkin EMSE değerlerini bir arada gösteren grafiklerle ilgili ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması da yapılmıştır.

Kumaş örgü yapısının EMSE’ye etkisinde, iletken çeşidi (bakır), birim alanda kullanılan iletken miktarı (atkıda 27 bakır tel/cm) ve iletken iplik kullanım oranı aynı olan ÜB1 (üst atkı takviyeli dokuma) ve ÇB2 (çapraz atkı sateni) kodlu kumaş çiftinin dikey ve yatay polarizasyonları kendi içinde ayrı ayrı karşılaştırılarak kumaş örgü yapısının EMSE’ye etkisi incelenmiştir. Ayrıca kumaşların yatay ve dikey polarizasyonlarında yapılan ölçümlere ilişkin EMSE değerlerini bir arada gösteren grafiklerle ilgili ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması da yapılmıştır.

Ek olarak ÜB1 ve ÇB2 kumaşları dışında kalan, farklı sıklık ve örgü yapılarında üretilen çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşlar, kendi içinde dikey ve yatay polarizasyonlarında olmak üzere ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Farklı örgü yapılarının EMSE’ye etkisini ortaya koymak amacıyla çözgü sıklıkları ve iletken çeşidi açısından eşitlik gösteren, ancak “3.2.2. Dokuma Kumaş Numunelerinin Hazırlanması” başlığında açıklandığı üzere atkı iplik sıklıklarında denklik sağlanamayan bu kumaşların

kalkanlama etkinliklerinin araştırma kapsamında karşılaştırılması fikir vermesi açısından faydalı görülmüştür.

Sunulan grafikler üzerinden, belli frekans aralıklarında gözlenen en yüksek EMSE değerlerine dikkat çeken açıklamalara yer verilmiş, ilgili yorumlar yer yer benzer araştırma sonuçlarıyla desteklenmiştir.

BÖLÜM IV

BULGULAR VE YORUM

Bu bölümde, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında yapılan EMSE ölçüm sonuçları, EMSE “dB” değerlerine ilişkin verilerin başlıca frekans bandlarına göre geçerli kalkanlama etkinlik düzeyleri, iletken filament çeşidinin (bakır, çelik), iletken iplik kullanım miktarının ve kumaş örgü yapısının EMSE’ye etkisi başlıklarında tablo ve grafiklerle sunulan bulguların açıklama ve yorumlarına yer verilmiştir.

10 MHz - 3 GHz Frekans Aralığında Yapılan EMSE Ölçüm Sonuçları

Tablo 20’de çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyonlarında ölçülen EMSE değerleri bir arada gösterilmiştir.

Tablo 20. Dokuma kumaşların dikey polarizasyonda EMSE (dB) değerleri

Frekans (MHz)	EMSE (dB) Ölçümlerinde Kullanılan Dokuma Kumaşlar											
	BÇ1	BB1	BB2	ÇÇ1	ÇB1	ÇB2	AÇ1	AB1	AB2	ÜÇ1	ÜB1	ÜB2
10	27,70	18,81	17,93	26,71	18,03	11,51	22,23	11,92	12,05	22,33	20,31	1,13
30	36,83	36,93	29,20	38,22	29,51	30,12	36,53	30,33	25,21	37,08	30,25	22,99
50	46,58	37,19	37,68	49,63	38,58	37,15	47,52	41,21	36,21	46,90	31,15	31,86
80	50,82	40,69	40,88	54,05	44,92	39,49	52,27	40,94	40,91	50,68	54,83	41,35
100	51,76	48,54	49,27	57,18	56,28	57,02	53,06	64,17	53,66	54,84	55,06	42,72
200	61,99	73,83	60,25	64,60	70,71	65,49	62,9	67,93	62,01	61,19	69,09	56,12
300	55,75	59,15	57,08	62,23	65,31	61,45	59,10	65,49	55,84	62,54	63,21	52,45
400	54,32	60,20	49,83	64,97	56,77	56,23	59,64	64,56	51,89	56,77	64,23	47,44
600	50,18	56,19	44,41	59,70	58,99	49,31	55,23	51,78	43,44	54,43	51,68	40,28
800	49,08	55,47	43,25	56,87	56,09	49,91	51,93	51,79	41,73	51,97	49,34	39,69
900	48,33	56,42	40,91	56,23	55,18	46,87	51,60	50,46	41,45	51,68	52,53	38,49
1000	46,80	55,17	40,38	56,40	57,32	47,03	49,96	49,38	40,65	50,90	51,04	37,45
1500	43,48	48,56	40,52	51,28	54,45	44,00	46,38	48,62	38,41	47,09	48,82	35,89
1800	44,07	47,23	39,80	51,42	53,16	45,41	47,43	48,78	37,18	45,83	44,69	33,37
2000	42,83	51,62	39,56	49,72	51,64	44,98	45,95	49,65	37,71	46,38	48,22	33,59
2100	43,24	53,82	42,79	49,95	51,97	42,37	46,67	50,82	37,74	47,23	50,21	36,37
2400	40,45	41,15	32,17	45,11	42,47	37,88	40,56	37,35	28,44	41,83	38,07	28,52
2500	38,60	39,27	31,79	45,62	44,03	38,17	41,07	37,70	28,40	42,23	37,50	28,64
3000	33,78	42,30	34,27	41,18	50,79	35,61	36,78	40,79	33,36	34,54	43,62	28,99

Tablo 20’de dikey polarizasyonda ölçülen EMSE değerleri incelendiğinde, kumaşlar içinde en yüksek EMSE değerini 200 MHz’de 73,83 dB ile BB1 kumaşı, en düşük EMSE değerini ise 10 MHz’de 1,13 dB ile ÜB2 kumaşı almıştır. Ayrıca, çelik kompozit iplikli kumaşlar içinde en yüksek EMSE değerini 400 MHz’de 64,97 dB ile ÇÇ1 kumaşı, en düşük EMSE değerini ise 10 MHz’de 22,23 dB ile AÇ1 kumaşı göstermiştir.

Tablo 21. Dokuma kumaşların yatay polarizasyonda EMSE (dB) değerleri

Frekans (MHz)	EMSE (dB) Ölçümlerinde Kullanılan Dokuma Kumaşlar											
	BÇ1	BB1	BB2	ÇÇ1	ÇB1	ÇB2	AÇ1	AB1	AB2	ÜÇ1	ÜB1	ÜB2
10	19,30	13,17	6,71	18,89	10,41	3,65	19,03	8,88	6,47	19,51	4,27	5,61
30	31,77	34,73	27,08	30,63	30,76	29,06	31,77	28,46	26,52	31,60	26,99	24,05
50	41,05	32,13	36,26	40,31	33,09	36,21	41,05	36,57	29,16	40,38	32,00	32,38
80	50,28	40,43	40,08	49,90	39,88	38,87	50,28	39,17	35,99	51,08	40,81	37,63
100	44,87	43,77	41,49	44,45	41,27	43,15	44,87	43,55	39,05	43,61	42,00	42,58
200	52,88	62,51	64,40	52,56	60,90	63,16	52,88	60,93	59,49	51,66	62,20	63,48
300	43,23	41,33	46,73	42,90	41,61	54,62	43,23	53,57	51,90	43,17	50,40	57,25
400	47,73	53,11	50,78	47,68	57,61	54,31	47,73	51,26	50,23	48,01	49,45	52,52
600	42,55	43,67	38,30	42,36	40,15	41,59	42,55	41,67	40,55	42,68	43,69	41,90
800	40,81	38,75	39,75	40,41	40,11	43,15	40,81	39,73	41,04	40,72	40,98	40,30
900	40,34	42,07	39,57	40,05	40,09	41,26	40,34	39,41	41,90	40,02	40,37	41,73
1000	39,74	42,07	40,61	39,81	42,33	40,83	39,74	42,05	42,93	39,98	41,64	41,86
1500	35,89	38,06	39,48	35,88	37,44	38,34	35,89	39,10	36,98	36,03	39,17	37,47
1800	35,92	34,59	35,48	35,59	35,95	39,02	35,92	35,93	39,17	34,79	35,42	35,62
2000	34,56	36,14	36,23	34,07	36,73	37,12	34,56	36,31	38,52	34,39	35,71	40,43
2100	35,70	42,15	40,99	35,37	43,47	42,82	35,70	41,02	40,57	36,35	40,18	40,77
2400	33,70	27,85	32,76	33,60	29,34	29,55	33,70	30,59	27,78	33,82	30,61	29,30
2500	32,44	28,06	31,63	33,73	30,33	28,94	32,44	32,25	27,86	33,02	31,17	30,14
3000	25,95	29,39	31,50	23,94	31,63	33,20	25,95	28,27	34,46	25,54	30,12	29,84

Tablo 21’de çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyonlarında ölçülen EMSE değerleri bir arada gösterilmiştir. Buna göre kumaşların EMSE değerleri incelendiğinde, en yüksek EMSE değerini 200 MHz’de 64,40 dB ile BB2 kumaşı, en düşük EMSE değerini ise 10 MHz’de 4,27 dB ile ÜB1 kumaşı almıştır. Çelik kumaşların EMSE değerleri karşılaştırıldığında, BÇ1 ve AÇ1 kumaşları 200 MHz’de 52,88 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır.

EMSE (dB) Değerlerine İlişkin Verilerin Başlıca Frekans Bandlarına Göre Geçerli Kalkanlama Etkinlik Düzeyleri

Araştırma kapsamında dikey ve yatay polarizasyonlarda EMSE ölçümlerinden elde edilen verilere göre, günlük hayatta EM dalgalara en fazla maruz kalman teknolojilerin çalışma frekansları temel alınarak belirlenen, başlıca frekans bandlarında geçerli kalkanlama etkinlik düzeyleri Tablo 22-33'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Frekans bandlarına göre, kumaşların kalkanlama düzeylerinin basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu, genel olarak basit kalkanlama düzeyinin kısa dalga ve bazı yüksek frekans bandlarında (2400 MHz, 2450 MHz), yeterli kalkanlama düzeyinin VHF dar ve UHF geniş band aralıklarında, normal kalkanlama düzeyinin ise, bu aralıkların dışındaki frekanslarda etkili olduğu görülmüştür.

Tablo 22. BÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		BÇ1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		37	31	Normal	Normal		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	57 - 62	44 - 60	Yeterli	Normal	
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	51 - 55	44 - 48	Normal	Normal	
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	51 - 55	44 - 47	Normal	Normal	
APCO-25 FDMA		446		52	45	Normal	Normal		
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	52 – 55	45 – 47	Normal	Normal
GSM-900		890 - 915		935 – 960	45 - 48	37 – 41	Normal	Normal	
DCS-1800		1710-1785		1805-1880	42 - 44	34 – 37	Normal	Normal	
GSM-1900		1850-1910		1930-1990	42 - 43	34 – 36	Normal	Normal	
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900	42 – 43	35 – 36	Normal	Normal	
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025	42 – 43	34 - 38	Normal	Normal	
UMTS-FDD Modu 2100		1920-1980		2110-2170	43 - 46	34 - 38	Normal	Normal	
ISM-2400		Wireless, Blue tooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483	38 - 41	31 - 37	Normal	Normal	
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı		2450	40	34	Normal	Normal		

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

BÇ1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey polarizasyonda normal ve yeterli kalkanlama aralığında, yatay polarizasyonda ise normal kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 22).

BB1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey polarizasyonda normal ve yeterli kalkanlama aralığında, yatay polarizasyonda ise basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 23).

Tablo 23. BB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		BB1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		37	33	Normal	Normal		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	65 - 77	47 - 67	Yeterli	Yeterli	
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	55 - 63	43 - 55	Yeterli	Normal	
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		446	58	45	Normal	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	55 - 63	43 - 51	Yeterli	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	55 – 63	43 - 51	Yeterli	Normal
GSM-900		2G Cep Telefonu		890 - 915	935 – 960	52 - 57	38 - 44	Normal	Normal
DCS-1800		2G Cep Telefonu		1710-1785	1805-1880	46 – 50	34 – 36	Normal	Normal
GSM-1900		2G Cep Telefonu		1850-1910	1930-1990	47 - 52	35 – 38	Normal	Normal
PCS-1900	DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		47 – 50	35 – 36	Normal	Normal	
UMTS-TDD Modu 2000	3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025		48 – 54	36 – 38	Normal	Normal	
UMTS-FDD Modu 2100	3G Cep Telefonu		1920-1980	2110-2170	46 – 52	36 - 42	Normal	Normal	
ISM-2400	Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		39 - 42	27 – 28	Normal	Basit	
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)		2450		40	29	Normal	Basit	

Basit Kalkanlama: 10-30dB, Normal Kalkanlama: 30-60dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

BB2 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 24).

Tablo 24. BB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		BB2 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		26	26	Basit	Basit		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	64 - 71	48 - 67	Yeterli	Yeterli	
UHF Geniş Band				380 – 470	39 - 52	44 - 53	Normal	Normal	
UHF PMR-446		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		446	41	47	Normal	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	39 - 49	44 - 49	Normal	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	39 - 49	44 - 49	Normal	Normal
GSM-900				890 - 915	935 – 960	40 – 43	39 - 42	Normal	Normal
DCS-1800				1710-1785	1805-1880	39 – 40	35 – 37	Normal	Normal
GSM-1900				1850-1910	1930-1990	39 - 41	36 - 38	Normal	Normal
PCS-1900	DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		39 - 41	36 – 37	Normal	Normal	
UMTS-TDD Modu 2000	3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025		40 - 41	37 – 38	Normal	Normal	
UMTS-FDD Modu 2100			1920-1980	2110-2170	38 - 42	37 – 43	Normal	Normal	
ISM-2400	Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		30 - 33	31 – 33	Normal	Normal	
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)		2450		31	31	Normal	Normal	

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

ÇÇ1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 25).

Tablo 25. ÇÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		ÇÇ1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		40	31	Normal	Normal		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	61 - 71	46 - 62	Yeterli	Yeterli	
UHF Geniş Band				380 – 470	60 - 66	44 - 48	Yeterli	Normal	
UHF PMR-446		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		446	62	44	Yeterli	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	60 - 63	44 - 47	Yeterli	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu	410 - 430	450 – 470	60 - 63	44 – 47	Yeterli	Normal	
GSM-900			890 - 915	935 – 960	53 - 57	36 – 41	Normal	Normal	
DCS-1800			1710-1785	1805-1880	49 – 52	34 – 36	Normal	Normal	
GSM-1900			1850-1910	1930-1990	49 – 51	33 – 37	Normal	Normal	
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		49 – 51	35 – 36	Normal	Normal
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025		49 – 51	33 - 37	Normal	Normal
UMTS-FDD Modu 2100				1920-1980	2110-2170	49 – 51	34 - 36	Normal	Normal
ISM-2400		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		45 – 47	32 - 37	Normal	Normal
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	2450		46	34	Normal	Normal		

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

ÇB1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 26).

Tablo 26. ÇB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		ÇB1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)	
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		29	27	Basit	Basit
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	60 - 76	49 - 68	Yeterli
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	52 - 62	47 - 58	Yeterli
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		446	54	48	Normal
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	52 - 56	47 - 53	Normal
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	52 - 56	47 - 53
GSM-900		2G Cep Telefonu		890 - 915	935 – 960	54 - 56	39 - 41
DCS-1800		2G Cep Telefonu		1710-1785	1805-1880	52 - 55	35 – 37
GSM-1900		2G Cep Telefonu		1850-1910	1930-1990	51 - 54	35 - 38
PCS-1900	DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		51 - 53	34 – 36	Normal
UMTS-TDD Modu 2000	3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025		50 – 53	35 - 39	Normal
UMTS-FDD Modu 2100	3G Cep Telefonu		1920-1980	2110-2170	49 – 57	35 – 43	Normal
ISM-2400	Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		42 – 45	29 - 30	Normal
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)		2450		45	31	Normal

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

ÇB2 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 27).

Tablo 27. ÇB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		ÇB2 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)		
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		27	28	Basit	Basit	
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	64 - 79	54 - 64	Yeterli	
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	50 - 59	44 - 57	Normal	
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		446	53	47	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	50 - 56	44 - 56	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	50 - 56	44 - 56	Normal
GSM-900		2G Cep Telefonu		890 - 915	935 – 960	46 – 48	39 – 42	Normal
DCS-1800		2G Cep Telefonu		1710-1785	1805-1880	43 – 48	37 – 40	Normal
GSM-1900		2G Cep Telefonu		1850-1910	1930-1990	44 - 48	36 – 39	Normal
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		44 - 47	37 - 38	Normal
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 – 1920 & 2010 – 2025		45 – 47	37 - 40	Normal
UMTS-FDD Modu 2100		3G Cep Telefonu		1920-1980	2110-2170	41 – 46	37 - 43	Normal
ISM-2400		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		37 – 40	29 – 30	Normal
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	2450		40	31	Normal	Normal	

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

AÇ1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 28).

Tablo 28. AÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		AÇ1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)		
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		39	31	Normal	Normal	
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	57 - 65	44 - 62	Yeterli	
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	55 - 60	44 - 48	Normal	
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		446	57	45	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	55 - 59	44 - 47	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	56 – 59	45 – 47	Normal
GSM-900		2G Cep Telefonu		890 - 915	935 – 960	49 – 52	37 – 41	Normal
DCS-1800		2G Cep Telefonu		1710-1785	1805-1880	45 - 48	34 – 37	Normal
GSM-1900		2G Cep Telefonu		1850-1910	1930-1990	45 - 48	34 – 36	Normal
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		45 - 47	35 – 36	Normal
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025		45 – 48	34 - 37	Normal
UMTS-FDD Modu 2100		3G Cep Telefonu		1920-1980	2110-2170	45 – 49	34 - 37	Normal
ISM-2400	Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		39 - 43	31 - 36	Normal	
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	2450		41	34	Normal	Normal	

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

AB1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 29).

Tablo 29. AB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		AB1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		29	27	Basit	Basit		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	67 - 73	57 - 70	Yeterli	Yeterli	
UHF Geniş Band				380 – 470	55 - 65	41 - 54	Yeterli	Normal	
UHF PMR-446		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		446	59	42	Normal	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	55 - 62	41 - 49	Yeterli	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu	410 - 430	450 – 470	55 - 62	41 - 49	Yeterli	Normal	
GSM-900			890 - 915	935 – 960	48 – 52	38 – 42	Normal	Normal	
DCS-1800			1710-1785	1805-1880	47 - 51	35 - 37	Normal	Normal	
GSM-1900			1850-1910	1930-1990	48 – 52	35 - 37	Normal	Normal	
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		49 – 52	35 – 36	Normal	Normal
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025		48 – 52	35 – 38	Normal	Normal
UMTS-FDD Modu 2100				1920-1980	2110-2170	42 – 51	35 – 44	Normal	Normal
ISM-2400		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		37 – 39	30 – 33	Normal	Normal
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)		2450		39	33	Normal	Normal	

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

AB2 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey polarizasyonda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında, yatay polarizasyonda ise basit ve normal kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 30).

Tablo 30. AB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		AB2 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		23	24	Basit	Basit		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	62 - 70	56 - 59	Yeterli	Normal	
UHF Geniş Band				380 – 470	42 - 55	38 - 53	Normal	Normal	
UHF PMR-446		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		446	45	42	Normal	Normal	
APCO-25 FDMA		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	42 - 50	38 - 48	Normal	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu	410 - 430	450 – 470	42 - 50	38 - 48	Normal	Normal	
GSM-900			890 - 915	935 – 960	40 - 42	40 – 43	Normal	Normal	
DCS-1800			1710-1785	1805-1880	35 – 40	37 – 40	Normal	Normal	
GSM-1900			1850-1910	1930-1990	37 – 42	37 – 40	Normal	Normal	
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900		39 - 40	37 - 39	Normal	Normal
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu	1910 - 1920 & 2010 – 2025		38 - 42	38 – 41	Normal	Normal	
UMTS-FDD Modu 2100			1920-1980	2110-2170	36 - 42	38 - 43	Normal	Normal	
ISM-2400		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483		28 – 29	27 - 29	Basit	Basit
MW-2450		Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)		2450		29	28	Basit	Basit

Basit Kalkanlama: 10-30dB, Normal Kalkanlama: 30-60dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

ÜÇ1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey polarizasyonda normal ve yeterli kalkanlama aralığında, yatay polarizasyonda ise normal kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 31).

Tablo 31. ÜÇ1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		ÜÇ1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)		
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		38	31	Normal	Normal	
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	60 - 66	45 - 60	Yeterli	Normal
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	54 - 59	45 - 48	Normal	Normal
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	54 - 58	44 - 47	Normal	Normal
APCO-25 FDMA		446		56	45	Normal	Normal	
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu	410 - 430	450 – 470	54 - 58	45 – 47	Normal	Normal
GSM-900			890 - 915	935 – 960	49 - 52	37 – 41	Normal	Normal
DCS-1800			1710-1785	1805-1880	45 - 47	34 – 37	Normal	Normal
GSM-1900			1850-1910	1930-1990	45 - 48	34 – 36	Normal	Normal
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900	45 - 47	35 – 36	Normal	Normal
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025	45 - 47	33 - 36	Normal	Normal
UMTS-FDD Modu 2100		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483	41 - 44	32 - 37	Normal	Normal
MW-2450		Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)		2450	43	35	Normal	Normal

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

ÜB1 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 32).

Tablo 32. ÜB1 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		ÜB1 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		27	27	Basit	Basit		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	65 - 69	58 - 62	Yeterli	Yeterli	
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	58 - 65	41 - 50	Yeterli	Normal	
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	58 - 62	41 - 49	Yeterli	Normal	
APCO-25 FDMA		446		61	42	Yeterli	Normal		
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	58 - 62	41 - 49	Yeterli	Normal
GSM-900		890 - 915		935 – 960	50 – 53	38 – 41	Normal	Normal	
DCS-1800		1710-1785		1805-1880	44 - 49	35 – 37	Normal	Normal	
GSM-1900		1850-1910		1930-1990	46 - 49	35 – 37	Normal	Normal	
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900	46 – 48	35 – 36	Normal	Normal	
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025	47 - 49	35 – 37	Normal	Normal	
UMTS-FDD Modu 2100		1920-1980		2110-2170	46 – 49	35 – 37	Normal	Normal	
ISM-2400		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483	36 – 39	30 - 31	Normal	Normal	
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	2450		37	35	Normal	Normal		

Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

ÜB2 kumaşının kalkanlama etkinliği değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının dikey ve yatay polarizasyonlarda basit, normal ve yeterli kalkanlama aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 33).

Tablo 33. ÜB2 kumaşının başlıca frekans bantlarına göre kalkanlama etkinlik düzeyi

Frekans Bandı (MHz)	Mobil Haberleşme Teknolojileri - Mikrodalgalar	Çalışma Frekans Aralığı (MHz)		ÜB2 Kumaşı Kalkanlama Etkinliği (Min dB - Max dB)		Kalkanlama Düzeyi* (Tablo 5)			
		Alıcı Frekans	Verici Frekans	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon	Dikey Polarizasyon	Yatay Polarizasyon		
Kısa Dalga	Kısa Dalga Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	27.12		21	21	Basit	Basit		
VHF Dar Band	Telsiz Sistemi	Analog/Dijital PMR ve PAMR Mobil Telsiz		146 – 174	61 - 68	56 - 66	Yeterli	Yeterli	
UHF Geniş Band		Analog/Dijital Özel Mobil Telsiz		380 – 470	43 - 49	44 - 54	Normal	Normal	
UHF PMR-446		Dijital El ve Araç Telsizi		410 – 470	43 - 47	44 - 52	Normal	Normal	
APCO-25 FDMA		446		46	46	Normal	Normal		
CDMA-450	Kablosuz Haberleşme	2G Cep Telefonu		410 - 430	450 – 470	43 - 47	44 - 51	Normal	Normal
GSM-900		890 - 915		935 – 960	36 – 39	39 - 42	Normal	Normal	
DCS-1800		1710-1785		1805-1880	33 - 36	35 - 40	Normal	Normal	
GSM-1900		1850-1910		1930-1990	33 - 36	38 - 42	Normal	Normal	
PCS-1900		DECT-Telsiz Ev Telefonu		1880 – 1900	33 - 36	38 – 41	Normal	Normal	
UMTS-TDD Modu 2000		3G Cep Telefonu		1910 - 1920 & 2010 – 2025	33 - 36	39 – 41	Normal	Normal	
UMTS-FDD Modu 2100		1920-1980		2110-2170	34 – 39	36 – 42	Normal	Normal	
ISM-2400		Wireless, Bluetooth, Bebek Monitörü		2402 – 2483	27 - 29	29 – 30	Basit	Basit	
MW-2450	Mikrodalga Fırın, Radar Diatermi Cihazı (Fizyoterapi)	2450		28	31	Basit	Normal		

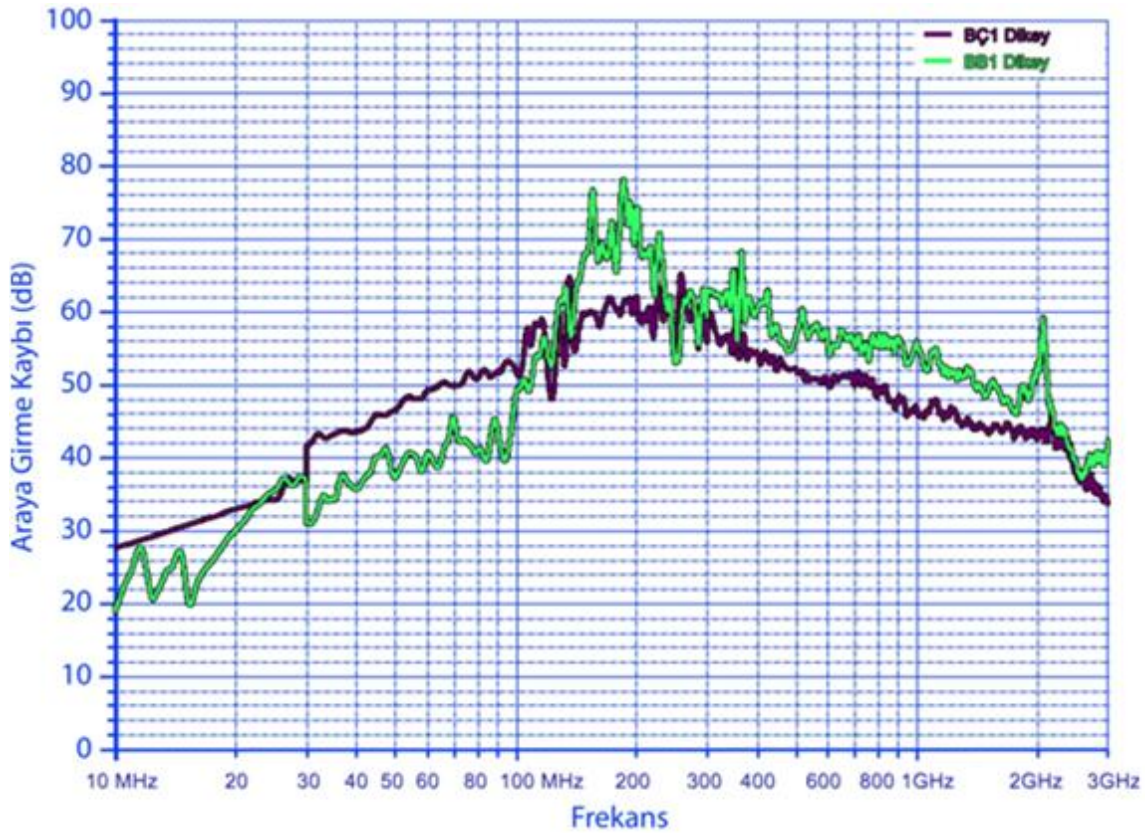
Basit Kalkanlama: 10-30 dB, Normal Kalkanlama: 30-60 dB, Yeterli Kalkanlama: 60-90 dB

* Maksimum kalkanlama etkinliği değeri üzerinden derecelendirilmiştir.

İletken Filament Çeşidinin EMSE'ye Etkisine İlişkin Bulgular

İplik sıklığı, örgü yapısı, birim alanda atkıda iletken iplik kullanım oranı ve miktarı aynı ancak iletken çeşidi farklı olan çelik kompozit ve bakır kompozit ipliklerle üretilen kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarda EMSE ölçüm sonuçları

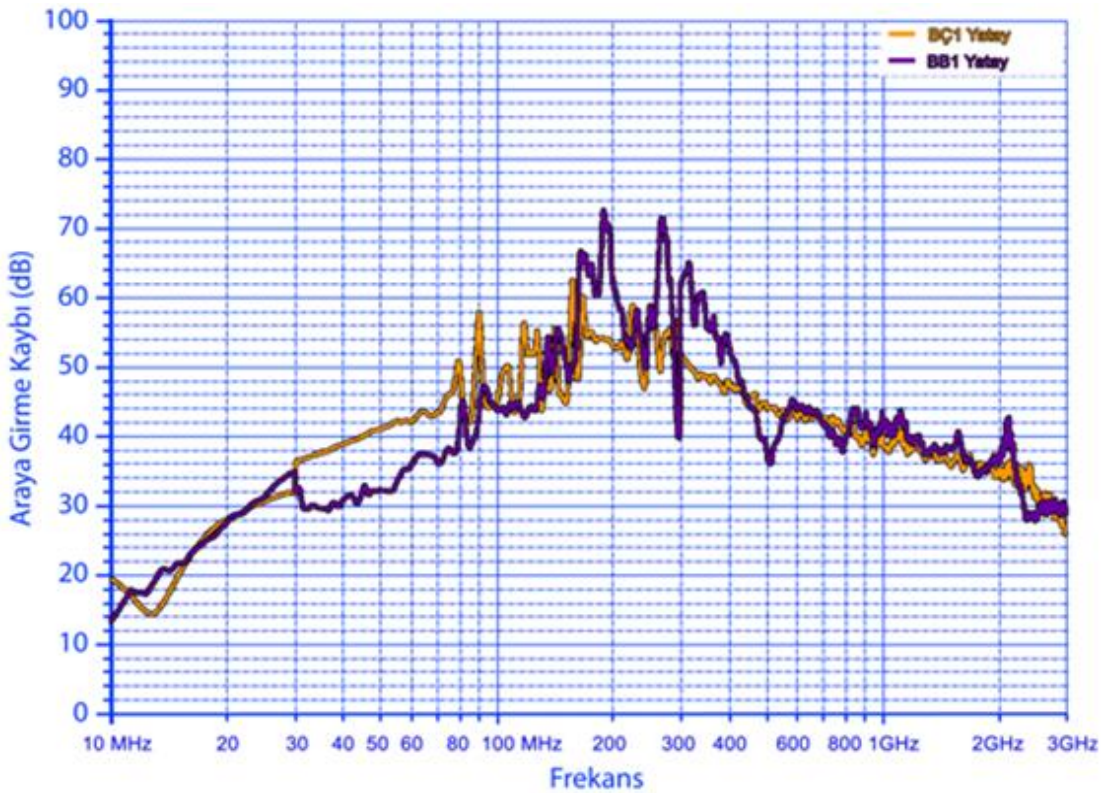
karşılaştırılmıştır. BÇ1 ve BB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 62 ve 63'te gösterilmiştir.



Şekil 62. BÇ1 ve BB1 bez ayağı dokumalarının dikey polarizasyonda EMSE değerleri

BÇ1 ve BB1 kumaşlarının dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, BÇ1 kumaşının 10 MHz - 115 MHz frekans aralığında BB1 kumaşına göre en düşük 28dB - en yüksek 59dB değeri ile daha iyi bir kalkanlama sağladığı, ancak 115 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca ise bu durumun değiştiği, BB1 kumaşının daha yüksek EMSE değerine ulaştığı (40dB - 78dB) görülmektedir (Şekil 62). 30 MHz - 95 MHz frekans aralığında BÇ1 kumaşının 95 MHz'de 53,25 dB, BB1 kumaşının 69 MHz'de 45,60 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında BÇ1 kumaşının 257 MHz'de 65,16 dB, BB1 kumaşının 186 MHz'de 78,08 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, BÇ1 kumaşının 305 MHz'de 59,86 dB, BB1 kumaşının 365 MHz'de 68,23 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir. 2.2 GHz - 2.6 GHz frekans aralığında benzer kalkanlama değeri gösteren kumaşların 3 GHz'e doğru BB1 kumaşı lehine yeniden farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

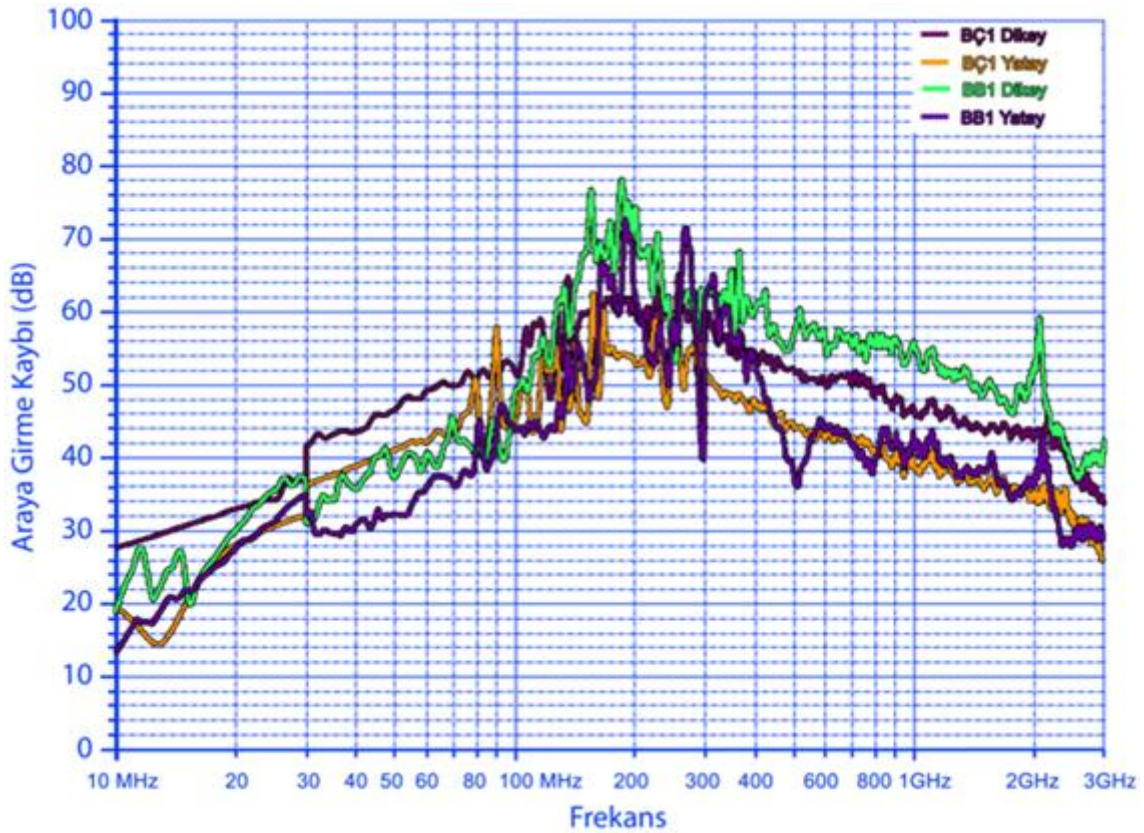
BÇ1 ve BB1 kumaşlarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri karşılaştırıldığında, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında iki kumaşın benzer kalkanlama değeri gösterdiği, 30 MHz - 120 MHz frekans aralığında BÇ1 kumaşının BB1 kumaşına göre iyi bir kalkanlama (36dB - 58dB) sağladığı ancak 120 MHz - 400 MHz frekans aralığında bu durumun BB1 kumaşı lehine değiştiği, ani iniş ve çıkışlarla yükseliş gösteren BB1 kumaşının 400 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, BÇ1 kumaşına yakın değerlerde kararsız davranışı görülmektedir (Şekil 63). 30 MHz - 120 MHz frekans aralığında BÇ1 kumaşı 117 MHz'de 56,28 dB, BB1 kumaşı 93 MHz'de 47,05 dB; 120 MHz - 300 MHz frekans aralığında BÇ1 kumaşı 156 MHz'de 62,50 dB, BB1 kumaşı 189 MHz'de 72,47 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında BÇ1 kumaşı 300 MHz'de 51,51 dB, BB1 kumaşı 316 MHz'de 65,01 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır.



Şekil 63. BÇ1 ve BB1 bez ayağı dokumalarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri

BÇ1 ve BB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 64'te bir arada gösterilmiştir. 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında BÇ1 ve BB1 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, dikey polarizasyon (atkı yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek olduğu (189 MHz'de 72,47 dB ile BB1 yatay

hariç), 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 64; Tablo 22 ve 23).

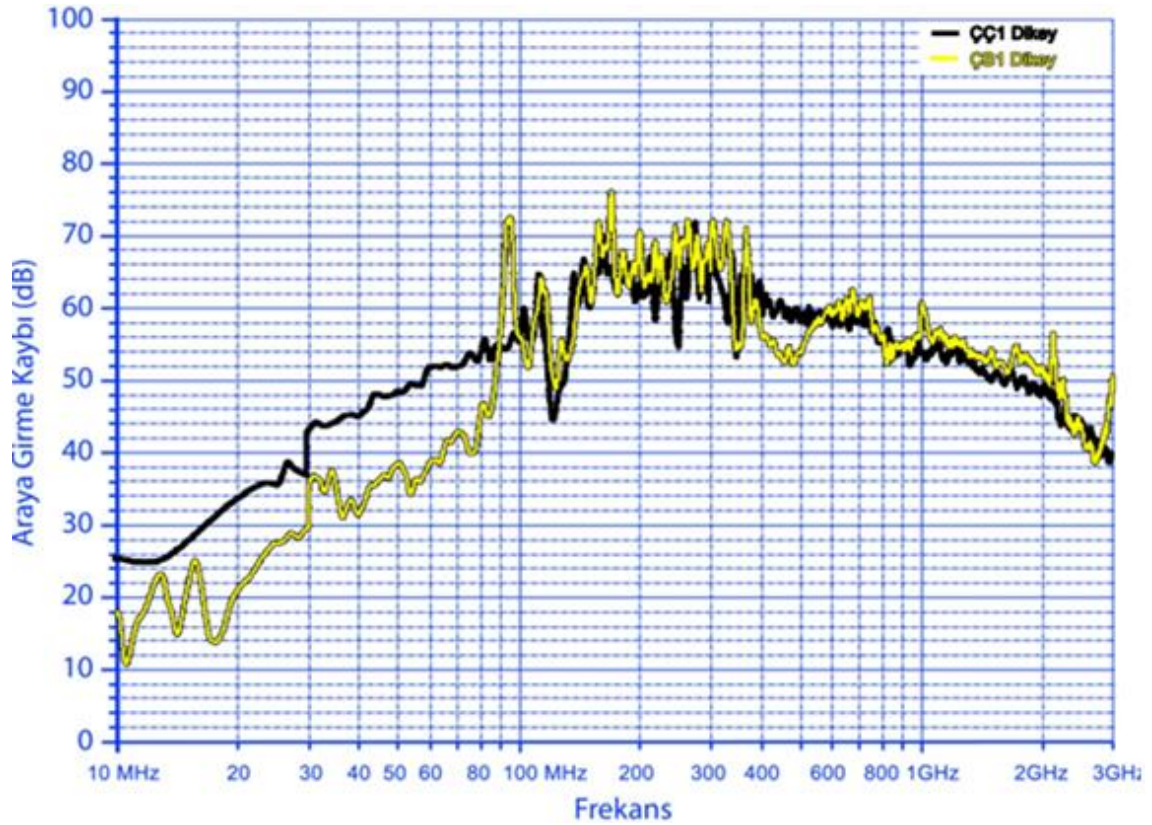


Şekil 64. BÇ1 ve BB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

En düşük ve en yüksek olmak üzere, BÇ1 kumaşının dikey polarizasyonunda 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 28dB - 37dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 37dB - 65dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 45dB - 60dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 42dB - 48dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 33dB - 46dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 14dB - 32dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 32dB - 63dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 37dB - 52dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 41dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise 25dB - 36dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. BB1 kumaşının ise dikey polarizasyonunda, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 19dB - 37dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 30dB - 78dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 52dB - 68dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 45dB - 56dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 36dB - 59dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 13dB -

35dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 29dB - 72dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 35dB - 65dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 44dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 27dB - 43dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 64).

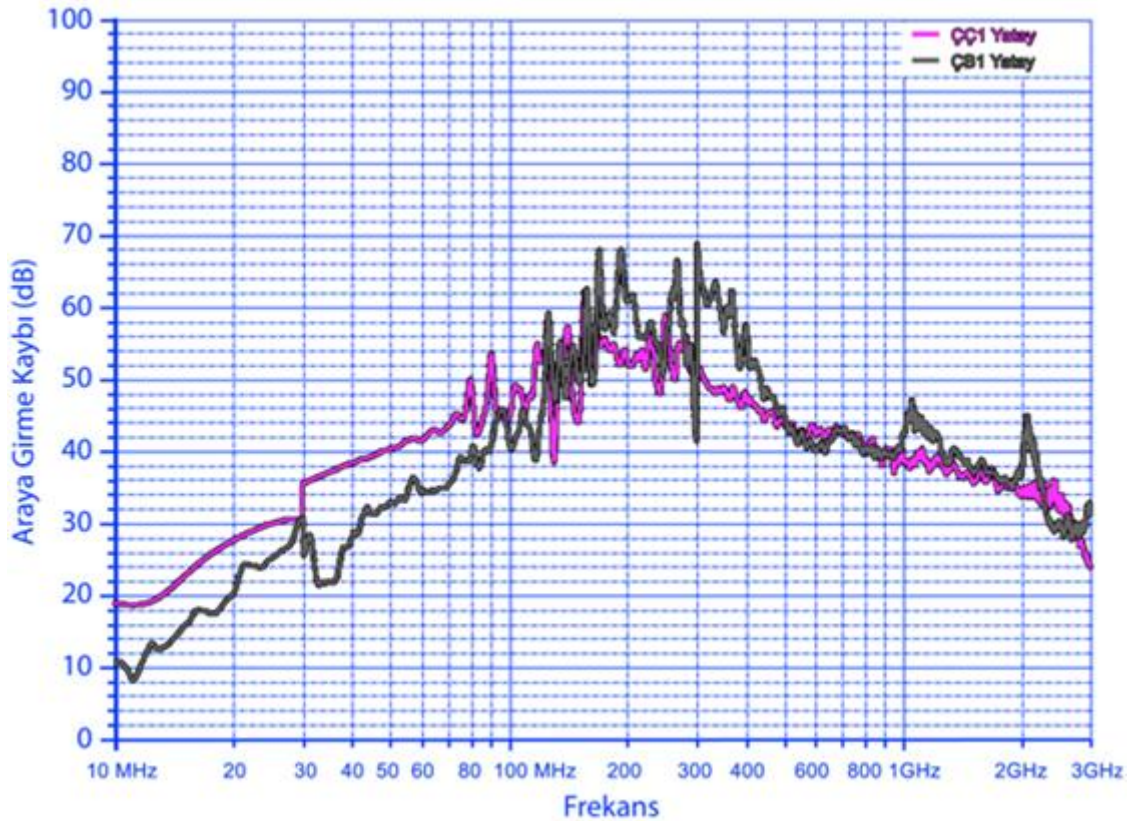
ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 65 ve 66'da gösterilmiştir.



Şekil 65. ÇÇ1 ve ÇB1 çapraz atkı saten dokumalarının dikey polarizasyonda EMSE değerleri

ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşlarının dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, ÇÇ1 kumaşının 10 MHz - 85 MHz frekans aralığında ÇB1 kumaşına göre iyi bir kalkanlama (25dB - 56dB) sağladığı, 85 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise iki kumaş genellikle birbirine yakın EMSE değerleri göstermekle birlikte, ÇB1 kumaşının 85 MHz'den yüksek frekanslarda zaman zaman sıçramalarla ÇÇ1 kumaşından 3-8 dB farkla daha yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 65). 10 MHz - 85 MHz frekans aralığında en yüksek EMSE değeri ÇÇ1 kumaşı için 83 MHz'de 57,07 dB, ÇB1 kumaşı için 81 MHz'de 46,91 dB'dir. 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ÇÇ1 kumaşı 276 MHz'de 73,26 dB, ÇB1 kumaşı 169 MHz'de 76,22

dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında, ÇÇ1 kumaş 342 MHz'de 69,01 dB, ÇB1 kumaş 328 MHz'de 72,22 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 2.3 GHz - 2.78 GHz frekans aralığında benzer kalkanlama değeri gösteren kumaşların 3 GHz'e doğru ÇB1 kumaş lehine yeniden farklı değerlerle ani yükselişler gösterdiği, 3 GHz'de ÇB1 kumaşının en yüksek 50.79 dB, ÇÇ1 kumaşının ise 41,18 dB ile en düşük EMSE değerini aldığı anlaşılmaktadır.

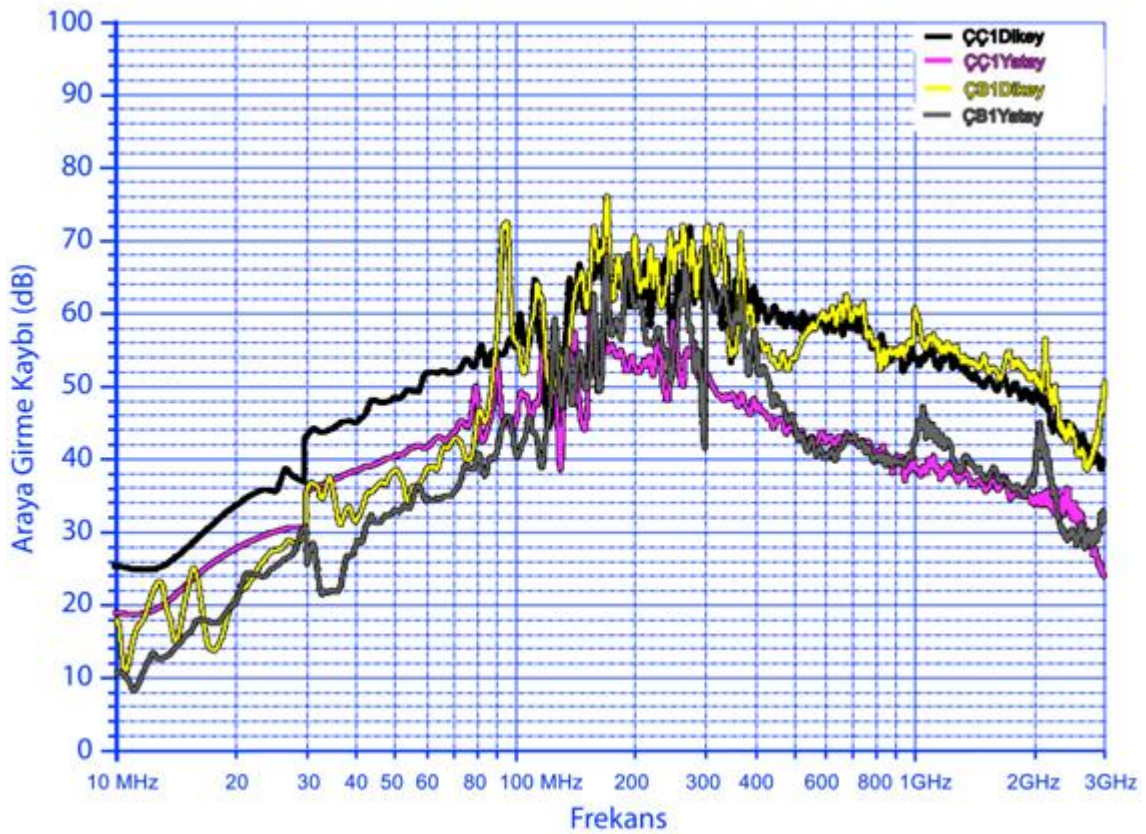


Şekil 66. ÇÇ1 ve ÇB1 çapraz atkı saten dokumalarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri

ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşlarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri karşılaştırıldığında, ÇÇ1 kumaşının 10 MHz - 120 MHz frekans aralığında ÇB1 kumaşına göre daha yüksek kalkanlama etkinliği (19dB - 55dB) sağladığı ancak 120 MHz - 500 MHz frekans aralığında ise, ÇB1 kumaşının daha yüksek EMSE değeri gösterdiği (44dB - 69dB) görülmektedir. 500 MHz - 3 GHz frekans aralığında, ÇB1 kumaşının bazı yüksek frekanslarda (1 GHz, 2 GHz ve 3 GHz civarı) sıçramalar yaparak ÇÇ1 kumaşından 6-8 dB daha yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 10 MHz - 120 MHz frekans aralığında ÇÇ1 kumaşının 118 MHz'de 54,96 dB, ÇB1 kumaşının 108 MHz'de 45,92 dB; 120 MHz - 300 MHz frekans aralığında ÇÇ1 kumaşının 155

MHz'de 62,24 dB, ÇB1 kumaşının ise 192 MHz'de 68,24 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında en yüksek EMSE değeri ÇÇ1 kumaşı için 300 MHz'de 51,97 dB, ÇB1 kumaşı için ise 300 MHz'de 69,05 dB'dir. 500 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, kumaşların genellikle birbirine yakın değerlerde olduğu ancak ÇB1 kumaşının ani yükselişlerle 1 GHz, 2 GHz ve 3 GHz civarında EMSE değerini arttırdığı gözlenmektedir (Şekil 66) .

ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 67'de bir arada gösterilmiştir. 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, dikey polarizasyon (atkı yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre daha yüksek olduğu, 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 67; Tablo 25 ve 26).

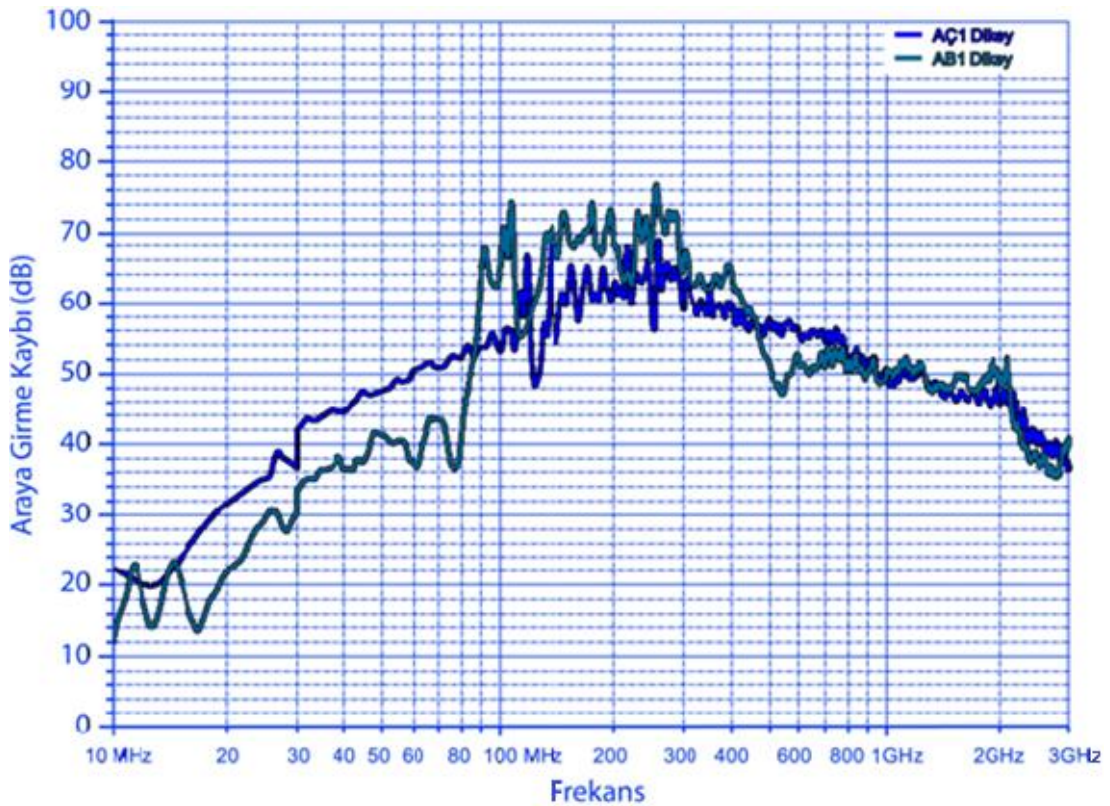


Şekil 67. ÇÇ1 ve ÇB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

En düşük - en yüksek olmak üzere, ÇÇ1 kumaşının dikey polarizasyonunda 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 26dB - 40dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 38dB - 73dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 53dB - 69dB, 1 GHz - 2 GHz

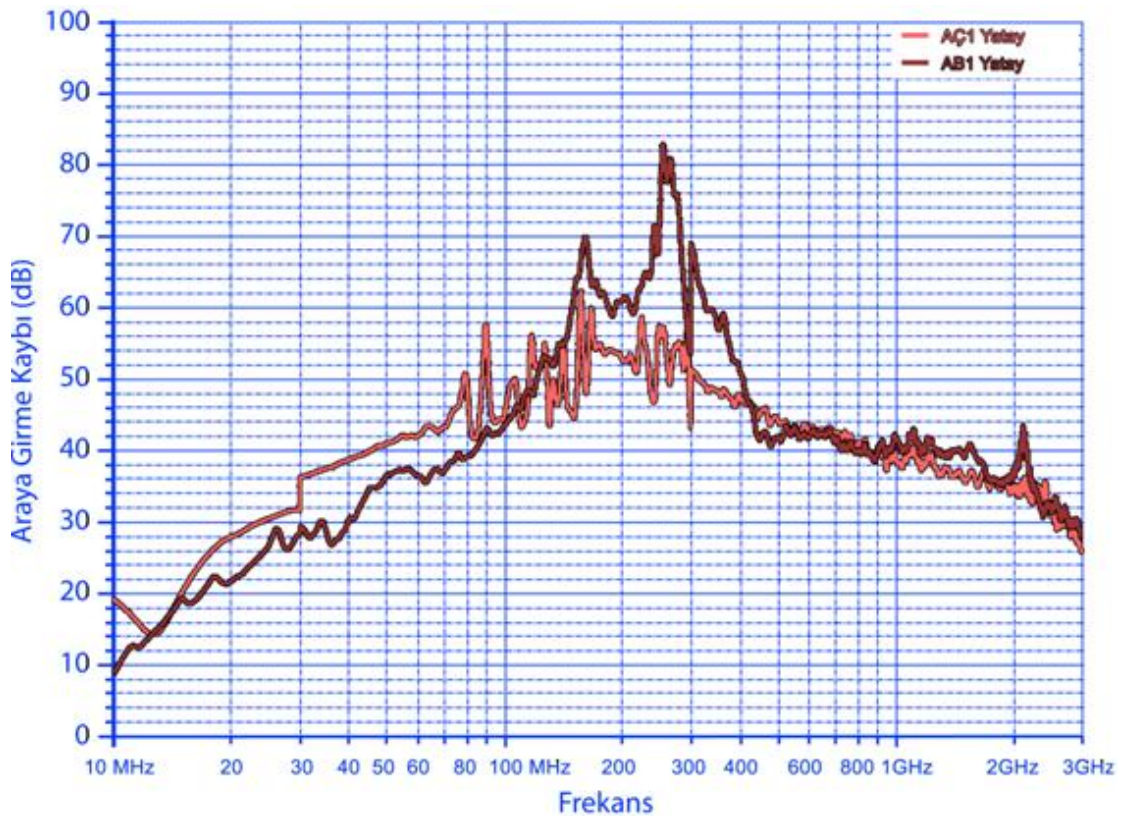
frekans aralığında 49dB - 57dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 39dB - 51dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 19dB - 31dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 30dB - 62dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 36dB - 52dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 33dB - 40dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 23dB - 36dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. ÇB1 kumaşının dikey polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 10dB - 30dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 29dB - 76dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 52dB - 72dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 50dB - 61dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 38dB - 57dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 8dB - 31dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 21dB - 68dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 39dB - 69dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 47dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 27dB - 45dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 67).

AÇ1 ve AB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 68 ve 69'da gösterilmiştir.



Şekil 68. AÇ1 ve AB1 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumalarının dikey polarizasyonda EMSE değerleri

AÇ1 ve AB1 kumaşlarının dikey polarizasyonda kalkanlama etkinliği karşılaştırıldığında, AÇ1 kumaşının 10 MHz - 90 MHz frekans aralığında AB1 kumaşına göre iyi bir kalkanlama (20dB - 52dB) sağladığı ancak 90 MHz - 450 MHz frekans aralığında bu durumun değiştiği AB1 kumaşının daha yüksek EMSE değerine (52dB - 76dB) ulaştığı anlaşılmaktadır. 450 MHz - 3 GHz frekans aralığında, AB1 kumaşının kalkanlama etkinliğinin önce hızla düştüğü, ilerleyen frekanslarda ise toparlanarak iki kumaşın benzer EMSE değerinde olduğu, 2 GHz - 3 GHz aralığında ise ani düşüş yaşadığı görülmektedir. 10 MHz - 90 MHz frekans aralığında, AÇ1 kumaşı 83 MHz'de 53,77 dB, AB1 kumaşı ise 80 MHz'de 43,56 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 90 MHz - 300 MHz frekans aralığında AÇ1 kumaşı 257 MHz'de 68,99 dB, AB1 kumaşı 254 MHz'de 76,79 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında, AÇ1 kumaşı 312 MHz'de 61,29 dB, AB1 kumaşı ise 391 MHz'de 65,28 dB ile en yüksek EMSE değerine sahip olmuştur (Şekil 68).

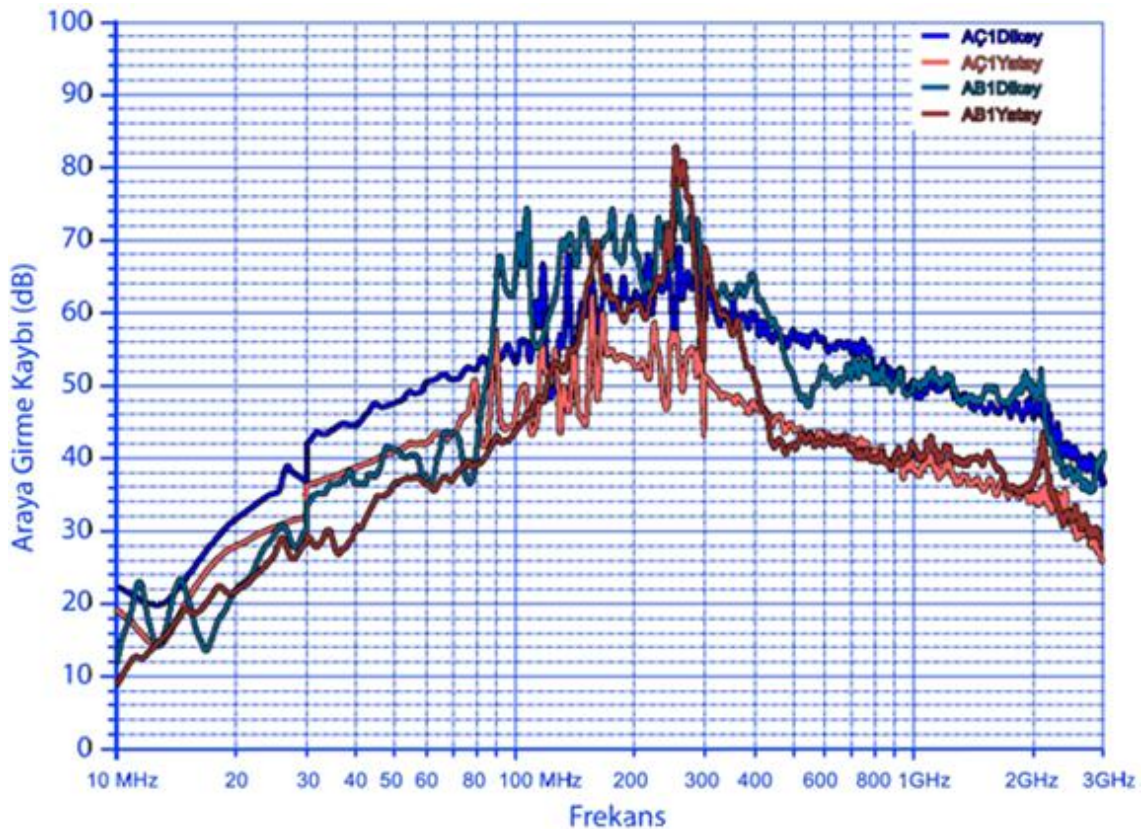


Şekil 69. AÇ1 ve AB1 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumalarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri

AÇ1 ve AB1 kumaşlarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri karşılaştırıldığında, AÇ1 kumaşının 10 MHz - 120 MHz frekans aralığında AB1

kumaşına göre iyi bir kalkanlama (20dB - 57dB) sağladığı ancak 120 MHz - 400 MHz frekans aralığında ise bu durumun değiştiği, AB1 kumaşının daha yüksek EMSE değerine ulaştığı (49dB- 82dB) görülmektedir. 400 MHz - 3 GHz frekans aralığında, iki kumaşın birbirine yakın EMSE değeri aldığı ancak 1 GHz - 2 GHz arasında AB1 kumaşı lehine 2 - 6 dB'lik artışın olduğu gözlenmektedir. 10 MHz - 120 MHz frekans aralığında AÇ1 kumaşı 89 MHz'de 57,74 dB, AB1 kumaşı ise 119 MHz'de 48,77 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 120 MHz - 300 MHz frekans aralığında AÇ1 kumaşının 156 MHz'de 62,50 dB, AB1 kumaşının 254 MHz'de 82,89 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında, AÇ1 kumaşının 300 MHz'de 51,51 dB, AB1 kumaşının ise 300 MHz'de 68,96 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 69).

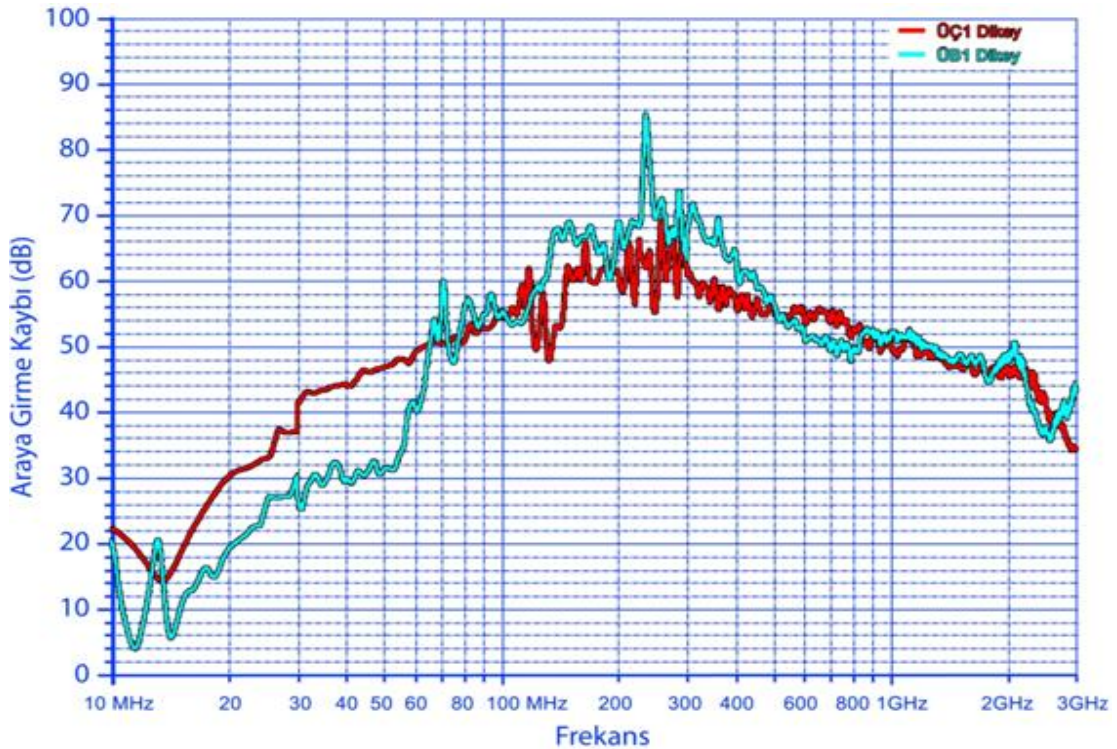
AÇ1 ve AB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 70'de bir arada gösterilmiştir. AÇ1 ve AB1 kumaşlarına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, dikey polarizasyon (atki yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek olduğu (254 MHz'de 82,89 dB ile AB1 yatay hariç), 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 70; Tablo 28 ve 29).



Şekil 70. AÇ1 ve AB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

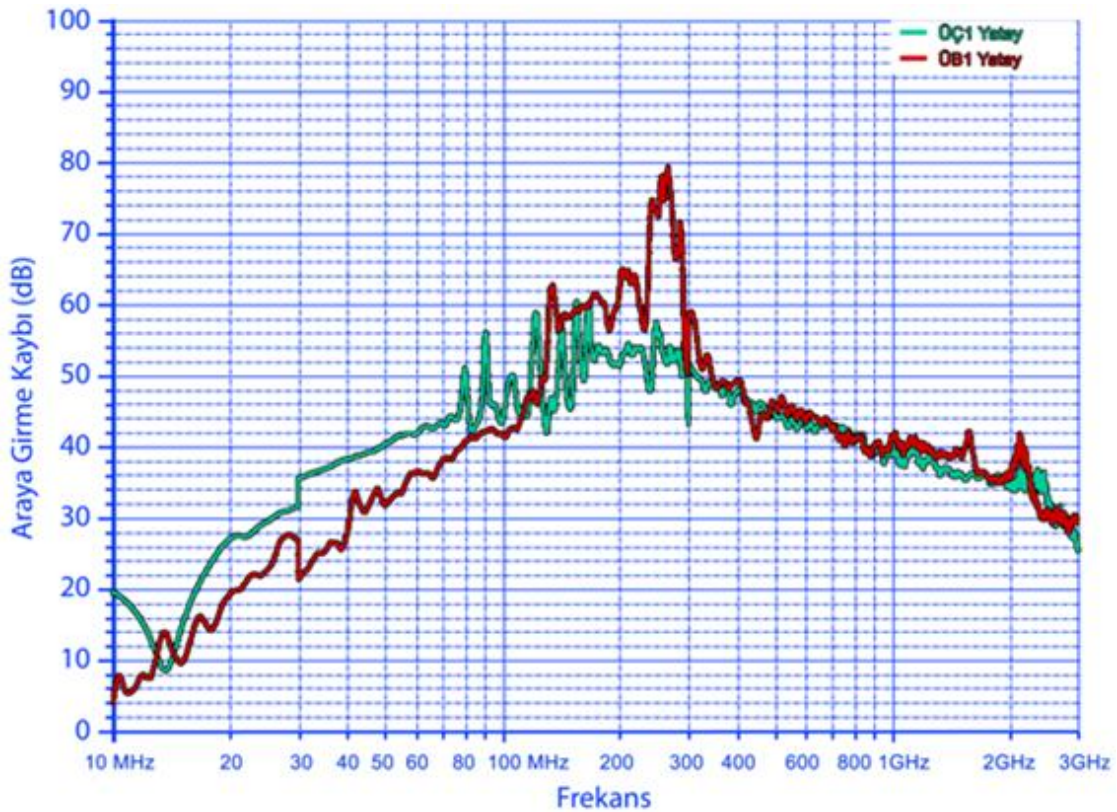
En düşük - en yüksek olmak üzere, AÇ1 kumaşının dikey polarizasyonunda, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 19dB - 39dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 36dB - 69dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 49dB - 63dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 45dB - 51dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 36dB - 47dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 14dB - 32dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 31dB - 62dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 37dB - 52dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 41dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 25dB - 36dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. AB1 kumaşının dikey polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 11dB - 30dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 30dB - 76dB, 300 MHz- 1 GHz frekans aralığında 46dB - 67dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 47dB- 52dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 35dB - 52dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 8dB - 28dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 26dB - 83dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 38dB - 69dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 35dB - 43dB, 2 GHz- 3 GHz frekans aralığında 28dB - 43dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 70).

ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 71 ve 72'de gösterilmiştir.



Şekil 71. ÜÇ1 ve ÜB1 üst atkı takviyeli dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri

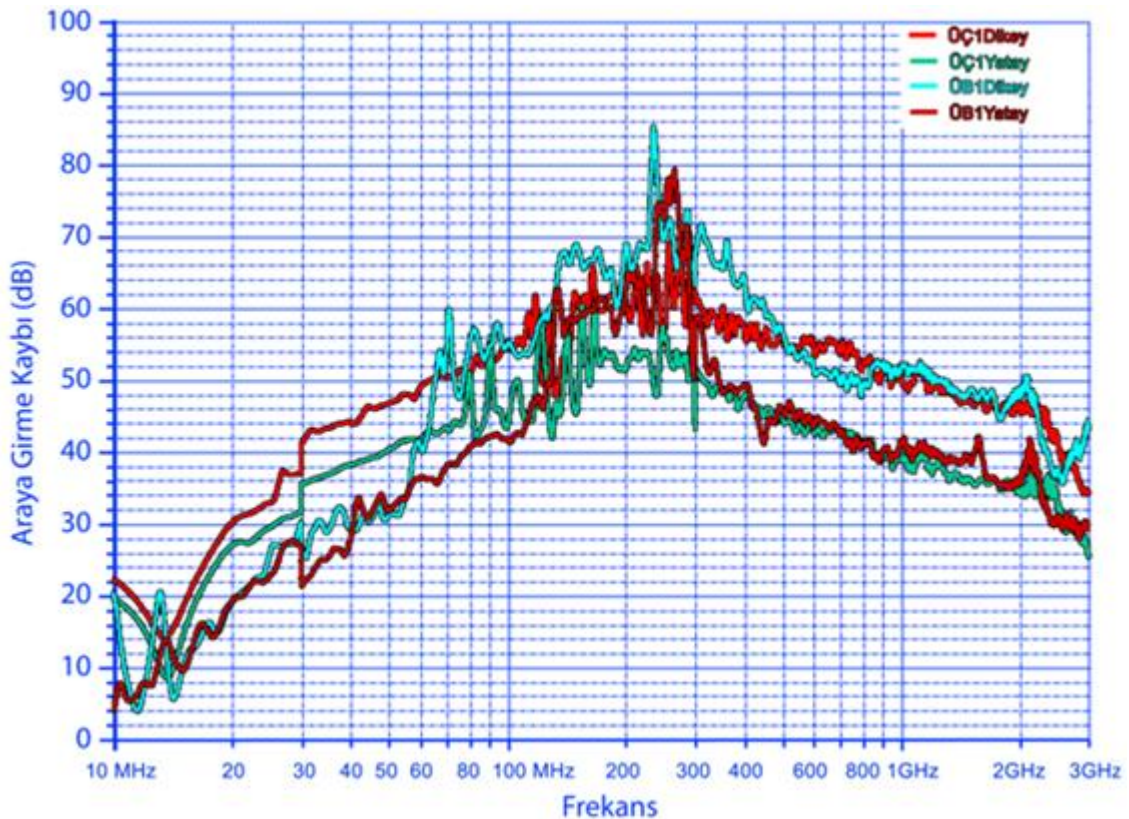
ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşlarının dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, ÜÇ1 kumaşının 10 MHz - 65 MHz frekans aralığında ÜB1 kumaşına göre daha yüksek EMSE değeri (22dB - 50dB) gösterdiği ancak 65 MHz - 500 MHz frekans aralığı boyunca ise, ÜB1 kumaşının daha yüksek kalkanlama etkinliği gösterdiği (47dB - 85dB) görülmektedir. 500 MHz - 2 GHz frekans aralığında, iki kumaşın benzer EMSE değerinde olduğu, 2 GHz - 3 GHz aralığında ise EMSE değerinin aniden düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca, ÜB1 kumaşının 2.6 GHz civarında yükselerek EMSE değerini arttırdığı görülmektedir. 10 MHz - 65 MHz frekans aralığında ÜÇ1 kumaşının 60 MHz'de 49,42 dB, ÜB1 kumaşının 60 MHz'de 41,00 dB; 65 MHz - 300 MHz frekans aralığında ÜÇ1 kumaşının 257 MHz'de 69,29 dB, ÜB1 kumaşının 235 MHz'de 85,44 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, ÜÇ1 kumaşının 300 MHz'de 62,54 dB, ÜB1 kumaşının ise 310 MHz'de 71,77 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir. 2.2 GHz - 2.6 GHz frekans aralığında benzer kalkanlama değeri gösteren kumaşların 3 GHz'e doğru ÜB1 kumaşı lehine yeniden farklı değerlerle yükseldiği anlaşılmaktadır. 3 GHz'de, ÜB1 kumaşının 43,62 dB ile en yüksek, ÜÇ1 kumaşının ise, 34,54 dB ile en düşük EMSE değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 71).



Şekil 72. ÜÇ1 ve ÜB1 üst atkı takviyeli dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri

ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşlarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri karşılaştırıldığında, ÜÇ1 kumaşının 10 MHz - 125 MHz frekans aralığında ÜB1 kumaşına göre iyi bir kalkanlama (20dB - 59dB) sağladığı ancak 125 MHz - 300 MHz frekans aralığında ise, bu durumun değişerek ÜB1 kumaşının daha yüksek EMSE gösterdiği (46dB - 79dB) görülmektedir. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında, iki kumaşın birbirine yakın EMSE değerine sahip olduğu, ancak bazı frekanslarda (1.57 GHz, 2.1 GHz) ÜB1 kumaşının lehine 2-6 dB EMSE artışının olduğu gözlenmektedir. 2 GHz - 3 GHz aralığında ise, kumaşların EMSE değerlerinin azaldığı görülmektedir. 10 MHz - 125 MHz frekans aralığında ÜÇ1 kumaşı 121 MHz'de 58,88 dB, ÜB1 kumaşı ise 121 MHz'de 46,92 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 125 MHz - 300 MHz frekans aralığında ÜÇ1 kumaşının 154 MHz'de 60,54 dB, ÜB1 kumaşının 266 MHz'de 79,55 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, ÜÇ1 kumaşının 300 MHz'de 51,62 dB, ÜB1 kumaşının 305 MHz'de 59,24 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 72).

ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 73'te bir arada gösterilmiştir.



Şekil 73. ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

10 MHz - 3 GHz frekans aralığında ÜÇ1 ve ÜB1 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, dikey polarizasyon (atki yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek olduğu (266 MHz'de 79,55 dB ile ÜB1 yatay hariç), 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 73; Tablo 31 ve 32).

En düşük - en yüksek olmak üzere, ÜÇ1 kumaşının dikey polarizasyonunda, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 14dB - 37dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 37dB - 69dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 49dB - 63dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 45dB - 52dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 34dB - 47dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 8dB - 32dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 31dB - 61dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 37dB - 52dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 40dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 25dB - 36dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. ÜB1 kumaşının dikey polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 3dB - 30dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 25dB - 85dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 47dB - 72dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 47dB - 53dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 35dB - 51dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 4dB - 28dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 21dB - 80dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 38dB - 59dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 35dB - 42dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 28dB - 42dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 73).

İletken Çeşidinin EMSE'ye Etkisine İlişkin Yorumlar

İletken çeşidinin (paslanmaz çelik, bakır) dikey polarizasyonda EMSE'ye etkisine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, genellikle çelik kompozit iplikli kumaşların 10 MHz - 100 MHz frekans aralığında bakır kompozit iplikli kumaşlara göre daha yüksek değer verdiği, 100 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise bu durumun bakırın lehine değiştiği anlaşılmıştır. Bakır kompozit iplikli kumaşların özellikle yüksek frekanslara doğru sıçramalar yaparak çelik kompozit iplikli kumaşlara göre yüksek EMSE değerleri vermesinde bakırın yüksek iletkenliğininin rolü olduğu dolayısıyla iletkenliği sayesinde EM dalgaları etkili bir şekilde soğurduğu düşünülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da (Cheng ve diğerleri, 2006; Duran, 2011; Mühl ve Obolenski 2004; Perulmalraj ve diğerleri, 2009) bakırın yüksek soğurganlık özelliğinin

fazla olduğu belirtilmektedir. Chen ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışmada da bakırın yüksek iletkenliği vurgulanarak, paslanmaz çelikten daha etkin kalkanlama sağladığı doğrulanmaktadır. Çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşlarda belirtilen frekans aralıklarında gözlenen farklı davranışların, iletkenlerin mikro yapısına bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Metallerin (316 L östenitik paslanmaz çelik, bakır) malzeme özelliklerine ve mikro yapılarına yönelik literatürde (Aran, 2008; Koçak, 2006; Aydoğdu ve Aydınol, 2006; Kurgan ve diğerleri, 2009) yer alan çalışmaların bazılarında, malzemeler içindeki elektrik iletimini sağlayan taşıyıcı elektronların hızının atomik bağa, kafes kusurlarına, mikro yapıya, iyonik bileşenlere ve difüzyon oranına bağlı olduğu ifade edilmektedir. Dolayısıyla, kimyasal bileşeninde demir-krom-nikel ağırlıklı alaşım elementlerini içeren 316 L östenitik çeliğiyle, saf içerikli bakırın bütün bu etkilere bağlı olarak farklı davranışlar içerisine girebileceği düşünülmektedir.

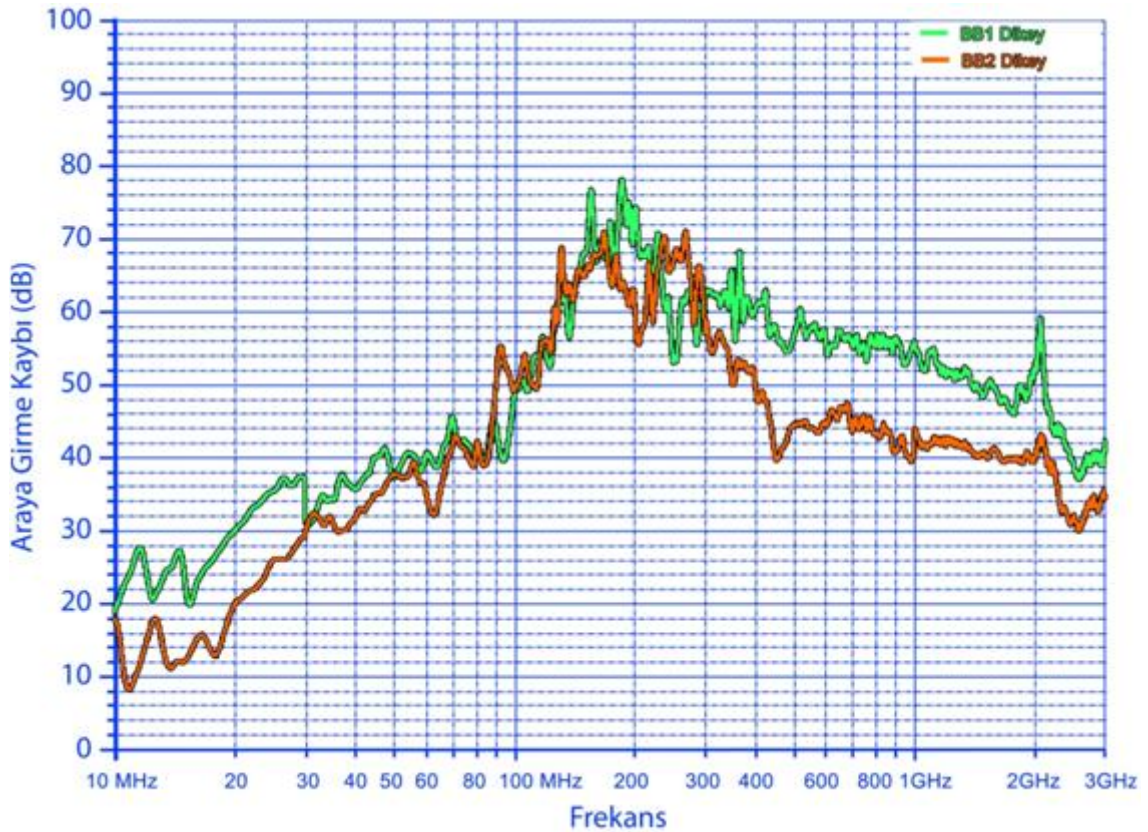
İletken çeşidinin (paslanmaz çelik, bakır) yatay polarizasyonda EMSE'ye etkisine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyondaki gibi belirtilen frekans aralıklarında farklı davranışlar gösterdiği tek farkın, bu polarizasyonda elde edilen EMSE değerlerinin dikey polarizasyona göre düşük çıkmasıdır. Bunun nedeni, yatay polarizasyondaki ölçümlerde birim alandaki iletken çözgü iplik sayısının, dikey polarizasyondaki iletken atkı iplik sayısına göre az olmasına bağlanabilir. Bu bulgu, Mühl ve Obolenski (2004) tarafından yapılan çalışmada da desteklenmektedir.

İletken İplik Kullanım Miktarının EMSE'ye Etkisine İlişkin Bulgular

İletken iplik kullanım miktarının EMSE'ye etkisini belirlemek üzere, iletken çeşidi, örgü yapısı ve çözgüde iletken kompozit iplik kullanım oranı (1 bakır kompozit iplik: 1 PES) aynı, atkıda iletken iplik kullanım miktarı (birim alanda) farklı olan, yani tüm atkılar bakır kompozit ipliklerle ve 1 bakır kompozit iplik: 1 PES oranında ipliklerle üretilen kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarda EMSE ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

İletken iplik kullanım miktarının EMSE'ye etkisine ilişkin, BB1 ve BB2 bakır kompozit iplikli kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 74 ve 75'te gösterilmiştir. Şekil 74'te dikey polarizasyonda (atkı yönünde) verilen grafikten atkılarının tamamı bakır kompozit iplikli olan BB1

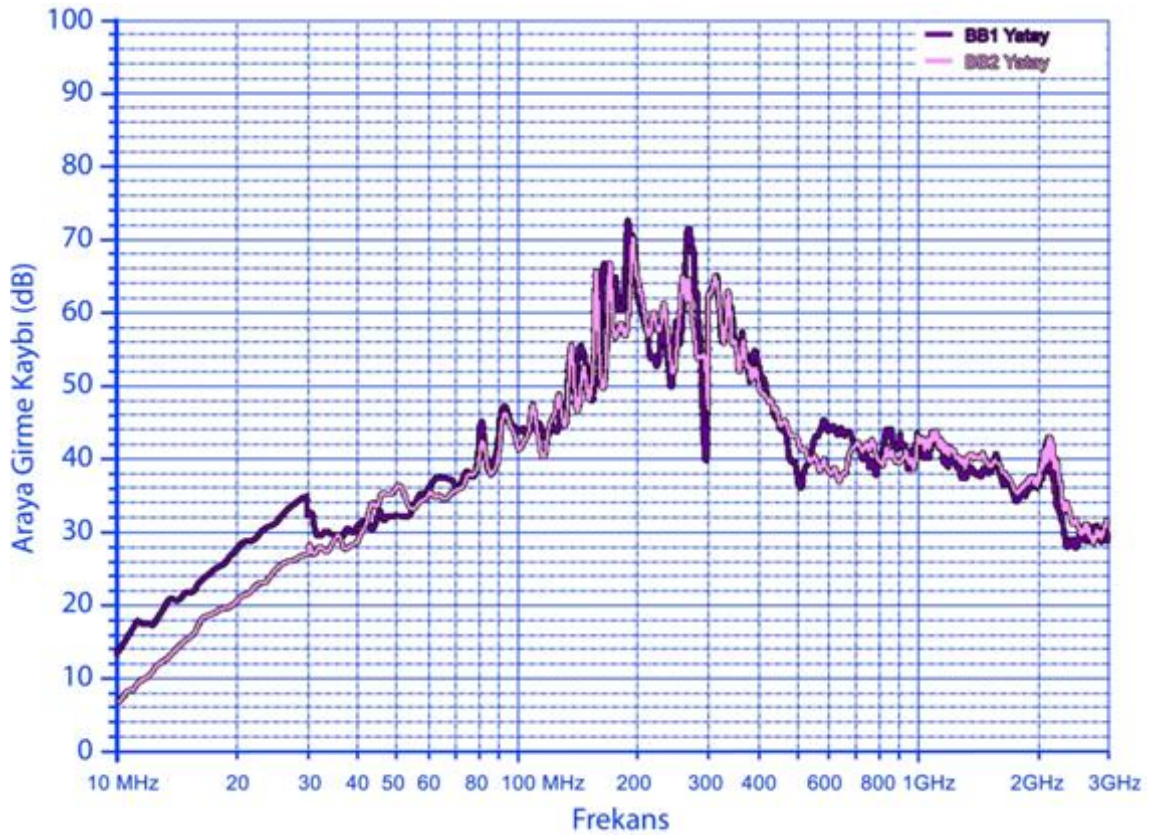
kumaşının atıkları 1:1 oranında 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli olan BB2 kumaşına göre genel olarak daha yüksek EMSE değeri gösterdiği anlaşılmaktadır. BB1 ve BB2 kumaşların dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, 50 MHz - 150 MHz aralığında iki kumaşın genelde benzer EMSE gösterdiği, 10 MHz - 30 MHz, 150 MHz - 200 MHz ve 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında birim alanda kullanılan iletken miktarının EMSE'ye etkisinin BB1 kumaşı lehine daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 74). 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında BB1 kumaşı 29 MHz'de 37,40 dB, BB2 kumaşı 30 MHz'de 29,20 dB; 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında BB1 kumaşı 186 MHz'de 78.08 dB, BB2 kumaşı 268 MHz'de 70.95 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, BB1 kumaşı 365 MHz'de 68.23 dB, BB2 kumaşı 300 MHz'de 58.78 dB ile en yüksek kalkanlama etkinliği değerine ulaşmıştır.



Şekil 74. BB1 ve BB2 bez ayağı dokumalarının dikey polarizasyonda EMSE değerleri

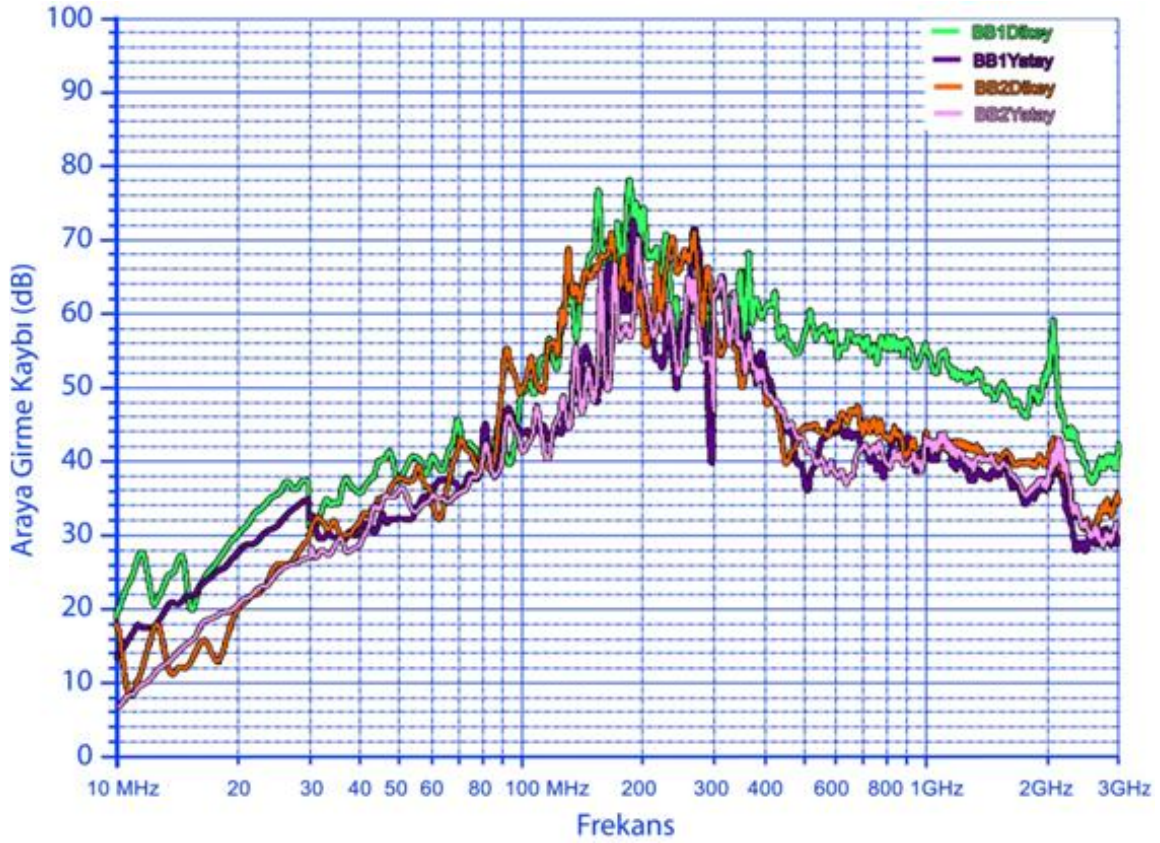
Şekil 75'te yatay polarizasyonda (çözgü yönünde) verilen grafikte, çözgülerinde iletken iplik kullanım oranı 1:1 yani 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli ve birim alanda kullanılan bakır iplik miktarı (15 bakır iplik/cm) aynı olan (Tablo 18) BB1 ve BB2 kumaşlarının EMSE değerleri, 30 MHz - 3 GHz frekans aralığında genellikle birbirine çok yakın olmakla birlikte, 100 MHz - 400 MHz aralığında yaklaşık 70 dB

değerine ulaştığı görülmektedir. 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında ise BB1 kumaşı, BB2 kumaşına göre 8 dB farkla daha yüksek EMSE sağlamıştır.



Şekil 75. BB1 ve BB2 bez ayağı dokumalarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri

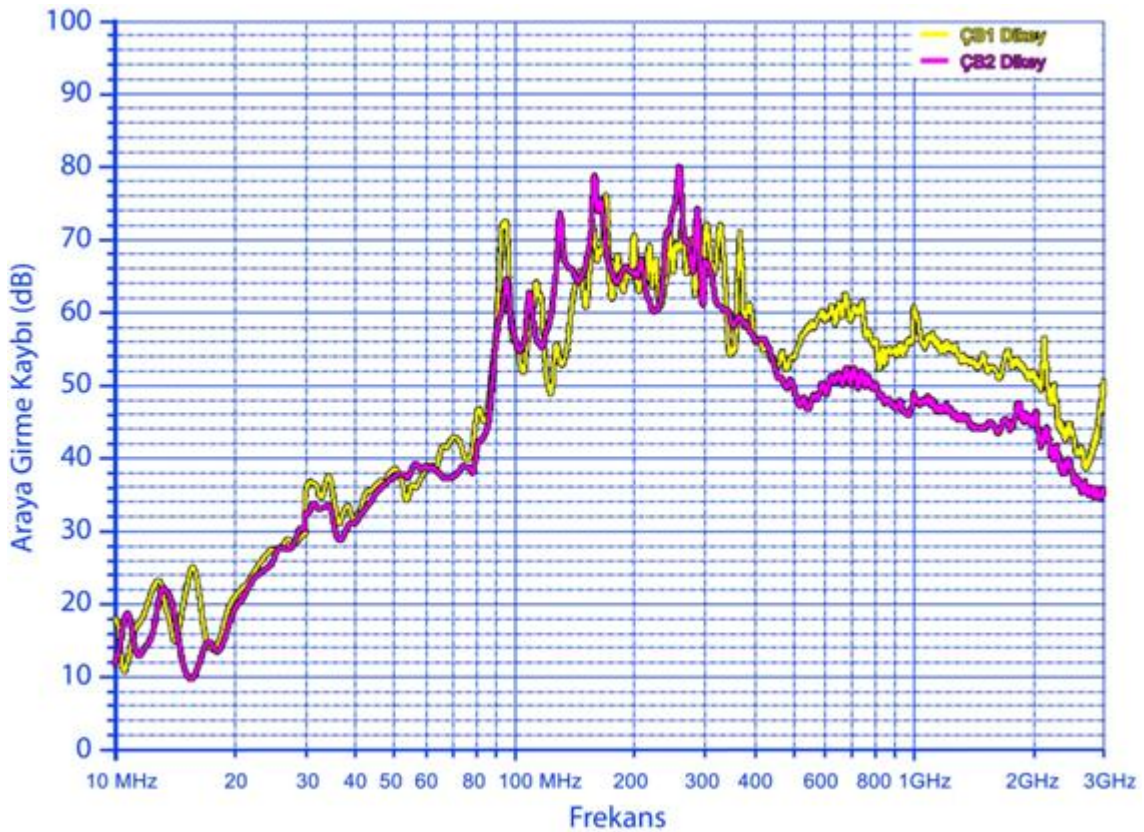
BB1 ve BB2 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 76'da bir arada gösterilmiştir. 10 MHz – 3 GHz frekans aralığında BB1 ve BB2 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, BB1 kumaşının dikey polarizasyon (atki yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek olduğu (266 MHz'de 71,25 dB ile BB1 yatay hariç), 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 76; Tablo 23). BB2 kumaşının dikey ve yatay polarizasyonları kendi içinde karşılaştırıldığında, iki polarizasyonun 10 MHz - 90 MHz frekans aralığında birbirine yakın EMSE değeri gösterdiği, 90 MHz - 300 MHz frekans aralığında dikey polarizasyon EMSE değerinin yatay polarizasyon EMSE değerine göre yüksek ve aradaki farkın daha belirginleştiği, 300 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca ise, polarizasyonlar arasındaki farkın fazla açılmadığı ancak bazı frekans aralıklarında (500 MHz - 2 GHz; 3GHz) dikey polarizasyon lehine 2-6 dB'lik EMSE farkının olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 76; Tablo 24).



Şekil 76. BB1 ve BB2 bez ayağı dokumalarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

En düşük - en yüksek olmak üzere, BB1 kumaşının dikey polarizasyonunda, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 19dB - 37dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 30dB - 78dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 52dB - 68dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 45dB - 56dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 36dB - 59dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 13dB - 35dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 29dB - 72dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 35dB - 65dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 44dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 27dB - 43dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. BB2 kumaşının dikey polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 8dB - 29dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 29dB - 71dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 39dB - 59dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 39dB - 43dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 29dB - 43dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 6dB - 27dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 26dB - 70dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 36dB - 65dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 35dB - 44dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 29dB - 43dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 76).

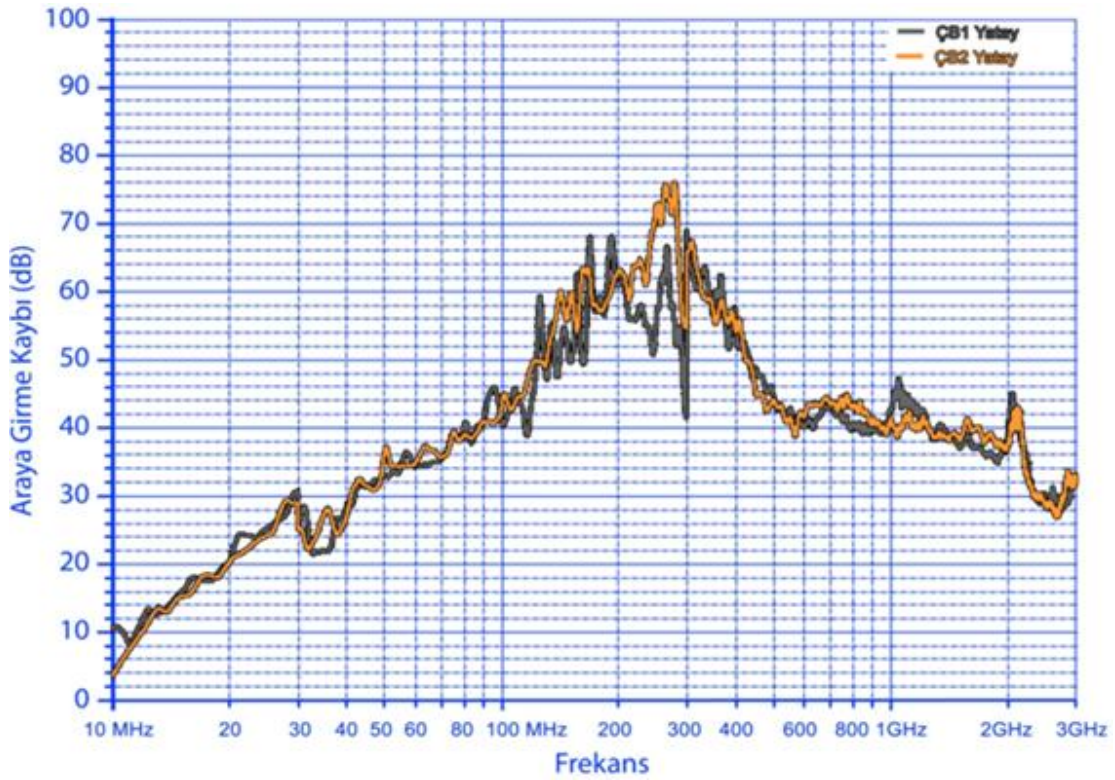
İletken iplik kullanım miktarının EMSE'ye etkisine ilişkin, ÇB1 ve ÇB2 bakır kompozit iplikli kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 77 ve 78'de gösterilmiştir. Şekil 77'de dikey polarizasyonda (atki yönünde) verilen grafikten, atkılarının tamamı bakır kompozit iplikli olan ÇB1 kumaşının atkıları 1:1 oranında 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli olan ÇB2 kumaşına göre genel olarak daha yüksek EMSE değeri gösterdiği ve 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 77. ÇB1 ve ÇB2 çapraz atki saten dokumalarının dikey polarizasyonda EMSE değerleri

ÇB1 ve ÇB2 kumaşların dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, 10 MHz - 90 MHz frekans aralığında iki kumaşın genellikle benzer EMSE değeri gösterdiği, 90 MHz - 300 MHz aralığında ise, ani iniş ve çıkışlar yaparak ÇB2 kumaşı başta olmak üzere en yüksek kalkanlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında, ÇB1 kumaşının iyi bir kalkanlama sağlayarak ÇB2 kumaşına göre daha yüksek EMSE değerine sahip olduğu görülmüştür. 90 MHz - 300 MHz frekans aralığında ÇB2 kumaşı 259 MHz'de 80.00 dB, ÇB1 kumaşı 169 MHz'de 76.22 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, ÇB1 kumaşı 328

MHz'de 72.22 dB, ÇB2 kumaşı ise 302 MHz'de 66.98 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında iki kumaşın da düşüşe geçtiği ancak 3 GHz'de ÇB1 kumaşı ani yükseliş yaparak en yüksek 50,79 dB, ÇB2 kumaşı ise 35,61 dB ile en düşük EMSE değerine sahiptir (Şekil 77).

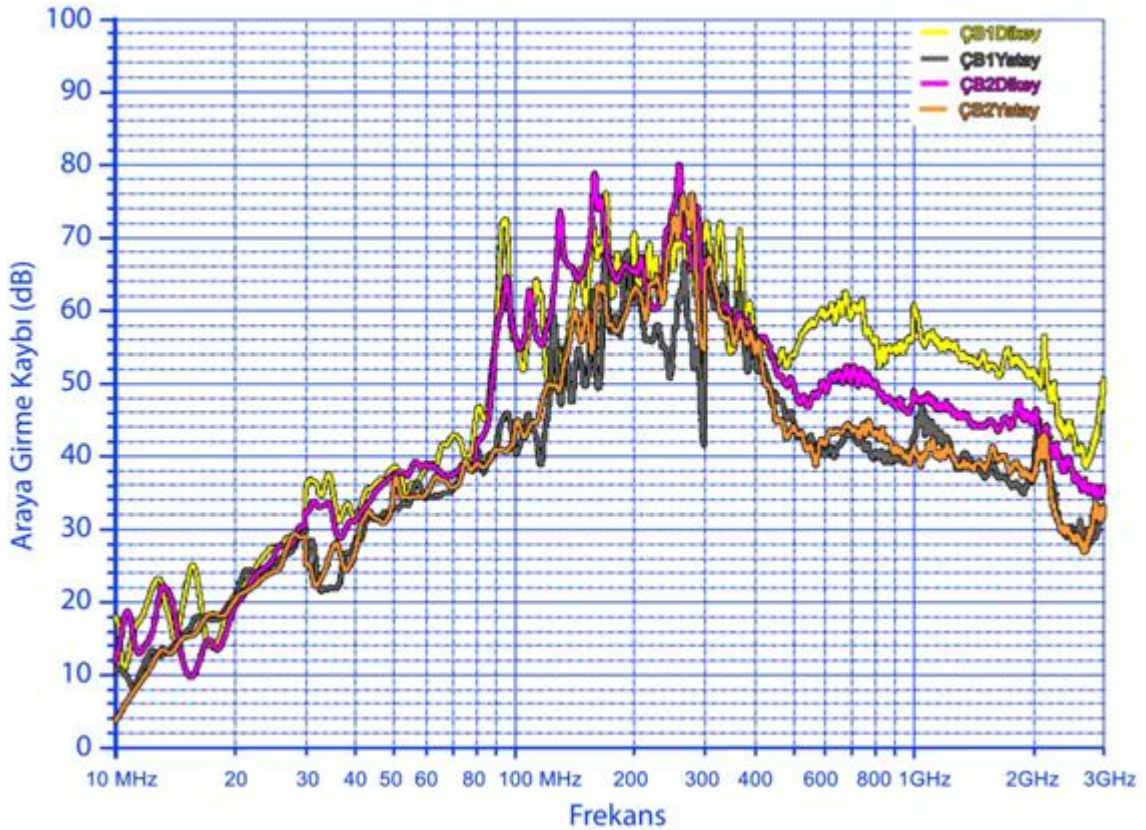


Şekil 78. ÇB1 ve ÇB2 çapraz atkı saten dokumalarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 78'de yatay polarizasyonda (çözgü yönünde) verilen grafikte, çözgüde iletken iplik kullanım oranı 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli ve birim alanda kullanılan bakır iplik miktarı (15 bakır iplik/cm) eşit olan (Tablo 18) ÇB1 ve ÇB2 kumaşlarının EMSE değerlerinin 10 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca genellikle birbirine yakın (278 MHz'de 76.05 dB ile ÇB2 yatay hariç) olduğu görülmektedir. Kumaşlar, 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ani iniş ve çıkışlar göstererek en yüksek EMSE değerlerine ulaşmıştır.

ÇB1 ve ÇB2 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 79'da bir arada gösterilmiştir. 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında ÇB1 ve ÇB2 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, iki kumaşın da dikey polarizasyon (atki yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genellikle yüksek olduğu, 300 MHz ve üzeri

frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 79; Tablo 26 ve 27). 10 MHz - 80 MHz frekans aralığında ÇB1 ve ÇB2 kumaşlarının kendi içinde dikey ve yatay polarizasyonlarında EMSE değerlerinin benzer olduğu, 80 MHz – 300 MHz frekans aralığında ise, ani iniş ve çıkışlarla polarizasyonları arasındaki farkın maksimuma ulaştığı görülmüştür. 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha da belirginleştiği görülmektedir.



Şekil 79. ÇB1 ve ÇB2 kumaşlarının çapraz atkı saten dokumalarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

En düşük - en yüksek olmak üzere, ÇB1 kumaşının dikey polarizasyonunda, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 10dB - 30dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 29dB - 76dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 52dB - 72dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 50dB - 61dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 38dB - 57dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 8dB - 31dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 21dB - 68dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 39dB - 69dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 47dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 27dB - 45dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. ÇB2 kumaşının dikey polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans

aralığında 9dB - 30dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 28dB - 80dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 45dB - 67dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 43dB - 49dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 34dB - 47dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 3dB - 29dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 22dB - 76dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 38dB - 67dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 36dB - 42dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 26dB - 43dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 79).

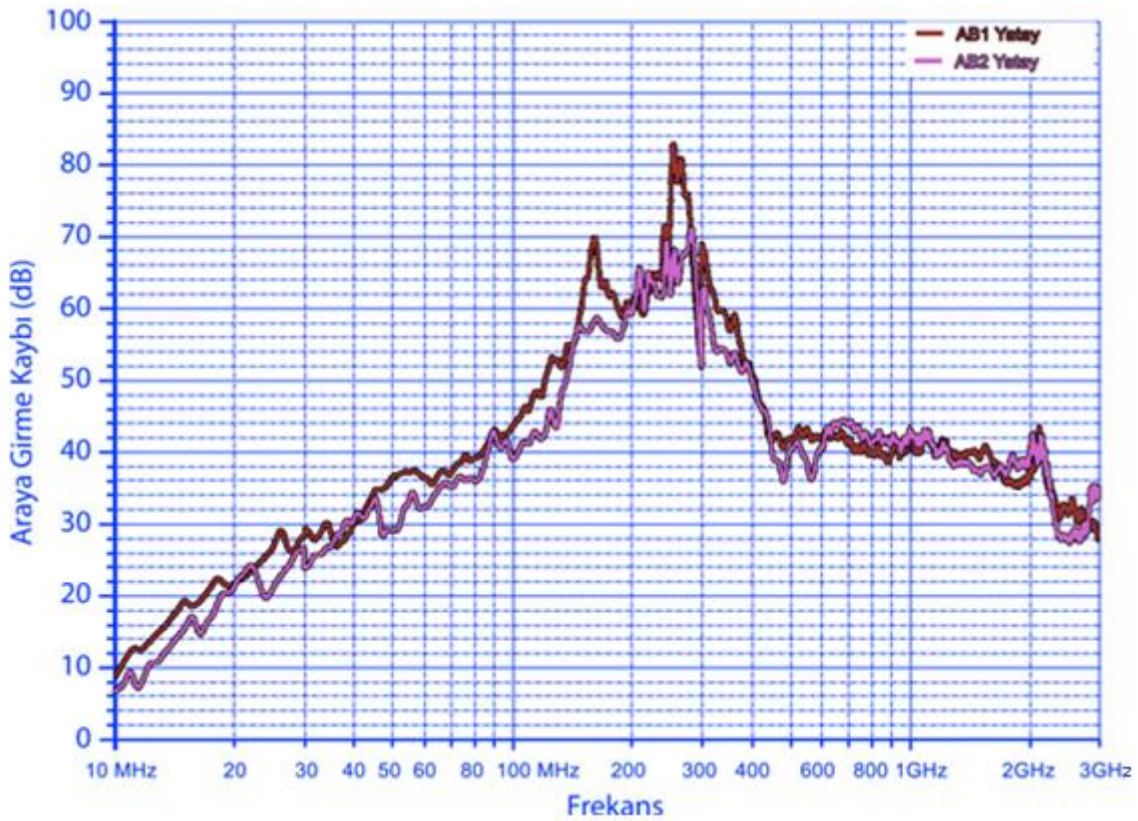
İletken iplik kullanım miktarının EMSE'ye etkisine ilişkin, AB1 ve AB2 bakır kompozit iplikli kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 80 ve 81'de gösterilmiştir.



Şekil 80. AB1 ve AB2 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumalarının dikey polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 80'de dikey polarizasyonda (atkı yönünde) verilen grafikten atkılarının tamamı bakır kompozit iplikli olan AB1 kumaşının atkıları 1:1 oranında 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli olan AB2 kumaşına göre genel olarak daha yüksek EMSE değeri gösterdiği anlaşılmaktadır. AB1 ve AB2 kumaşların dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, en yüksek EMSE değerlerine 100 MHz - 3 GHz frekans

aralığında ulaştığı, 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise EMSE değerleri arasındaki farkın daha belirginleştiği görülmektedir. Ayrıca, 300 MHz'den itibaren kumaşların belirgin olan EMSE farkını koruyarak değerlerinin önce hızla düştüğü, 500 MHz - 2 GHz frekans aralığında, düşüşün durarak normale döndüğü ve son olarak 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise tekrar düşüşe geçtikleri görülmüştür. 10 MHz - 100 MHz frekans aralığında AB1 kumaşı 91 MHz'de 67,82 dB, AB2 kumaşı 99 MHz'de 53,54 dB; 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında AB1 kumaşı 253 MHz'de 76.22 dB, AB2 kumaşı ise 134 MHz'de 74.64 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, AB1 kumaşınının 303 MHz'de 67.24 dB, AB2 kumaşınının 306 MHz'de 59.51 dB ile en yüksek kalkanlama etkinliği değerine ulaştığı görülmektedir.

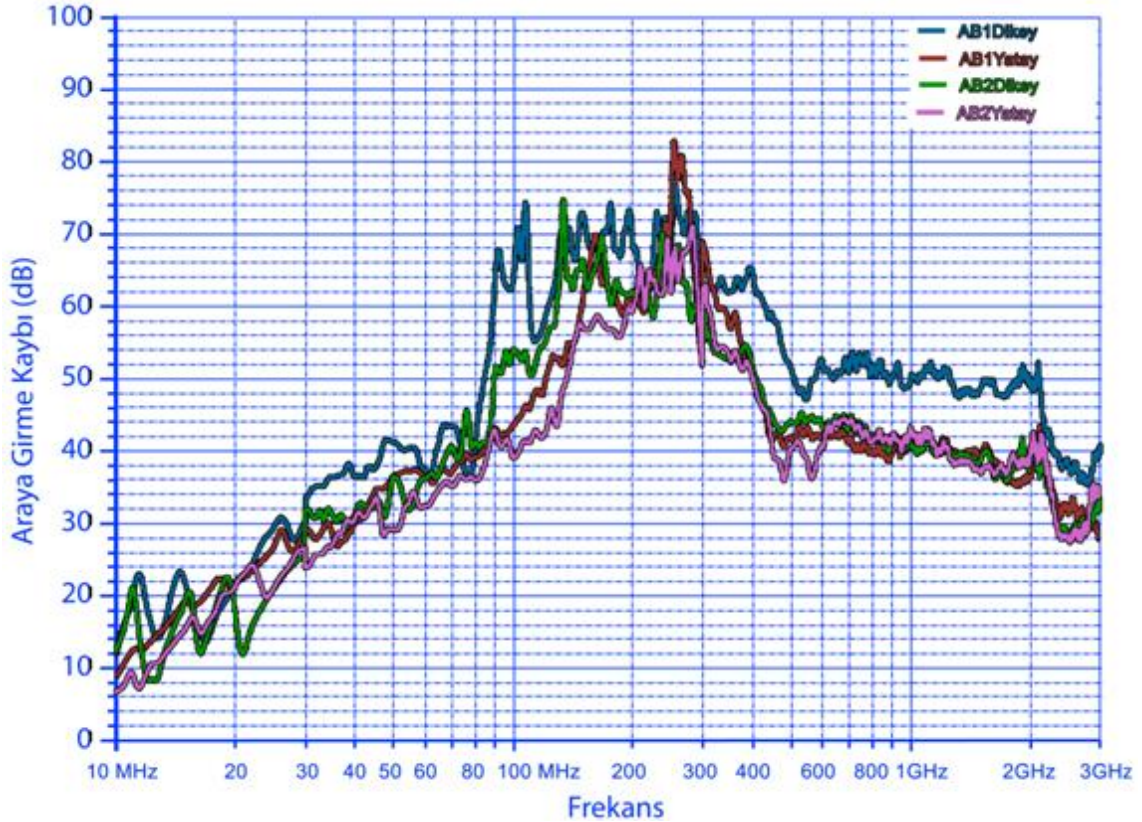


Şekil 81. AB1 ve AB2 alt atkı takviyeli çapraz atkı saten dokumalarının yatay polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 81'de yatay polarizasyonda (çözgü yönünde) verilen grafikte, çözgüde iletken iplik kullanım oranı 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli ve birim alanda kullanılan bakır iplik miktarı (15 bakır iplik/cm) eşit olan (Tablo 18) AB1 ve AB2 kumaşlarının çözgü yönünde yapılan ölçümlerinde 10 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca iki

kumaşın da, genellikle birbirine yakın EMSE değerine sahip iken, 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ani yükselişlerle AB1 kumaşının 254 MHz'de en yüksek 82.89 dB, AB2 kumaşının ise 282 MHz'de 71.24 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmektedir.

AB1 ve AB2 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 82'de bir arada gösterilmiştir.

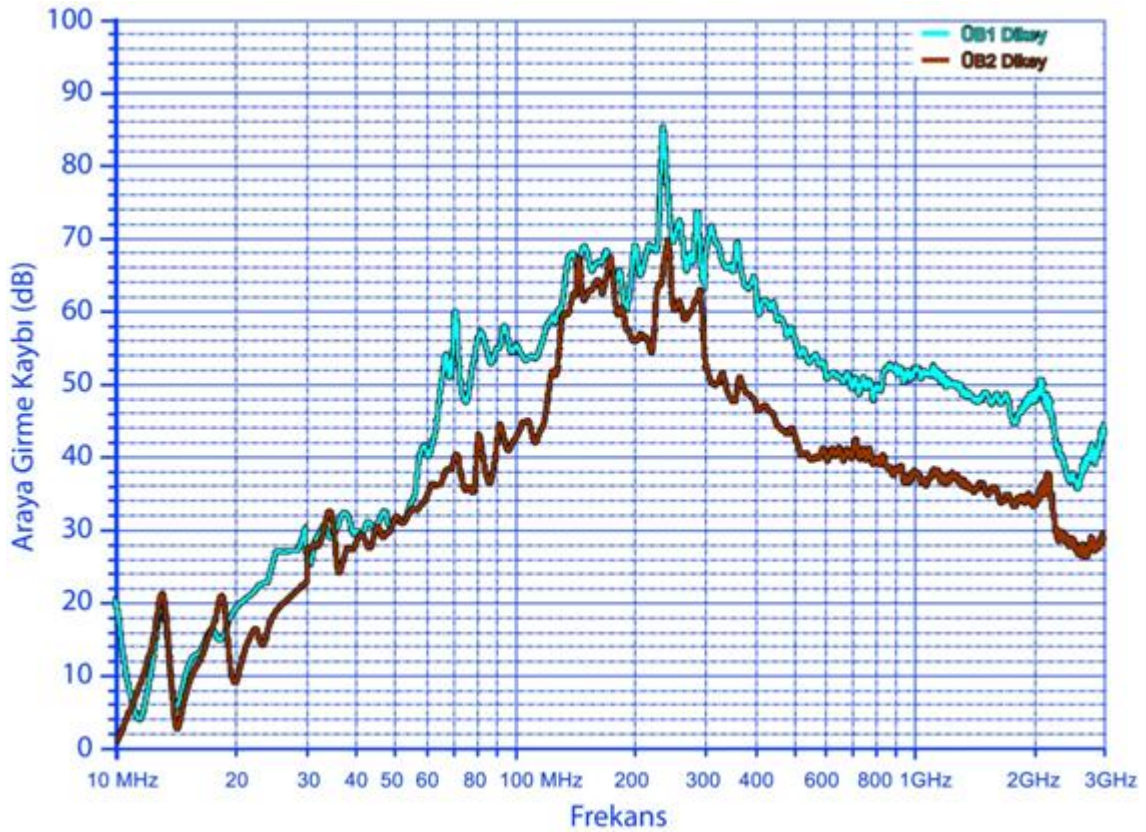


Şekil 82. AB1 ve AB2 alt atkı takiyeli çapraz atkı saten dokumalarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

10 MHz - 3 GHz frekans aralığında AB1 ve AB2 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, AB1 kumaşının dikey polarizasyon (atkı yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek olduğu (254 MHz'de 82.89 dB ile AB1 yatay hariç), 80 MHz - 200 MHz ile 300 MHz ve üzeri frekanslarda bu farkın daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 82; Tablo 29). AB2 kumaşının dikey ve yatay polarizasyonları kendi içinde karşılaştırıldığında, iki polarizasyonun 10 MHz - 90 MHz frekans aralığında benzer EMSE değerlerinde olduğu, 90 MHz - 200 MHz frekans aralığında dikey polarizasyon EMSE değerinin yatay polarizasyona göre daha yüksek ve aradaki farkın daha belirgin

olduğu, 200 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca ise, iki polarizasyonun da birbirine yakın EMSE değerlerini aldıkları görülmüştür (Şekil 82; Tablo 30).

İletken iplik kullanım miktarının EMSE'ye etkisine ilişkin, ÜB1 ve ÜB2 bakır kompozit iplikli kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 83 ve 84'te gösterilmiştir.

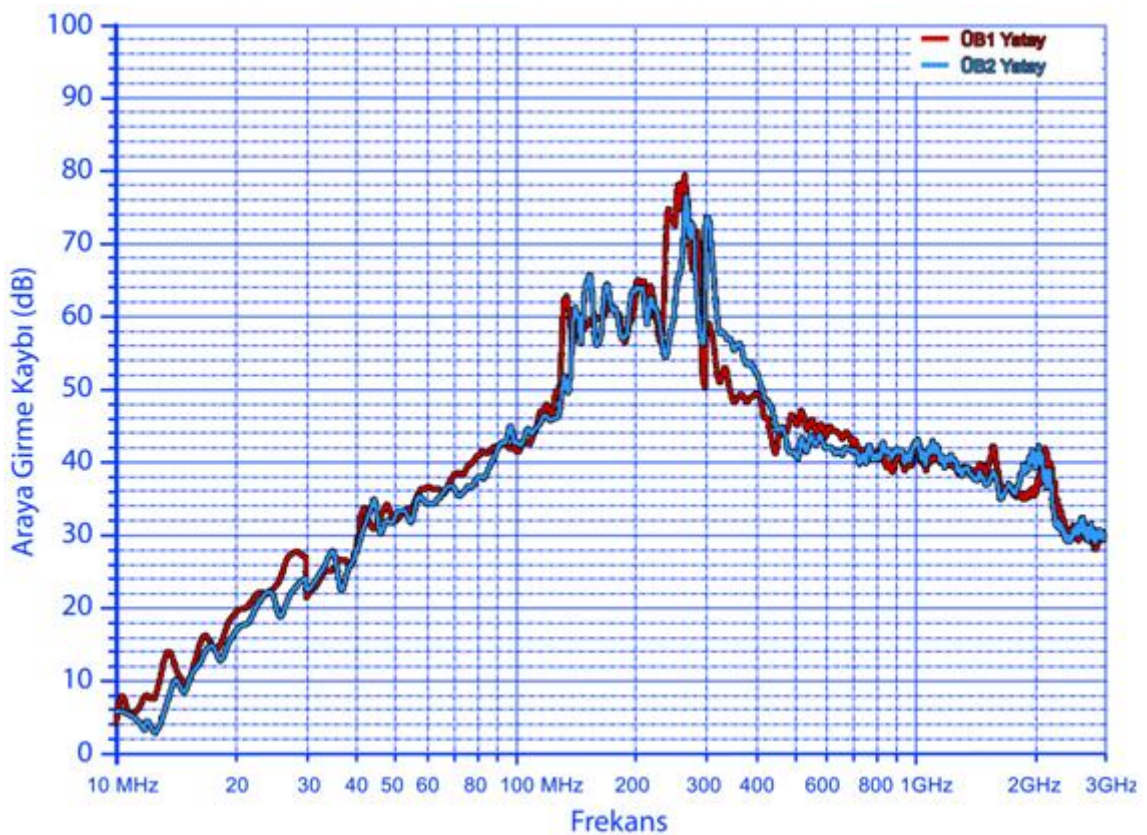


Şekil 83. ÜB1 ve ÜB2 üst atkı takviyeli dokumaların dikey polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 83'te dikey polarizasyonda (atkı yönünde) verilen grafikten, atkılarının tamamı bakır kompozit iplikli olan ÜB1 kumaşının atkıları 1:1 oranında 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli olan ÜB2 kumaşına göre genel olarak daha yüksek EMSE değeri gösterdiği anlaşılmaktadır.

ÜB1 ve ÜB2 kumaşlarının dikey polarizasyonda kalkanlama etkinlikleri karşılaştırıldığında, 20 MHz - 140 MHz frekans aralığında ÜB1 kumaşı lehine EMSE değerinin daha yüksek olduğu, 140 MHz - 300 MHz frekans aralığında ise, ÜB1 kumaşının EMSE değerinin ani yükseliş göstererek 235 MHz'de maksimum kalkanlama etkinliğine ulaştığı görülmektedir. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, iki kumaş arasındaki EMSE farkının belirginleşerek, ÜB1 kumaşının EMSE değerinin daha

yüksek olduğu anlaşılmaktadır. 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında iki kumaşın EMSE değerinin 2.5 GHz'e kadar hızla azaldığı, bu frekanstan itibaren 3 GHz'e doğru tekrar yükselişe geçtiği görülmüştür. 20 MHz - 100 MHz frekans aralığında ÜB1 kumaşı 71 MHz'de 59,79 dB, ÜB2 kumaşı 100 MHz'de 42,72 dB; 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ÜB1 kumaşı 235 MHz'de 85.44 dB, ÜB2 kumaşı 240 MHz'de 69.80 dB; 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, ÜB1 kumaşı 310 MHz'de 71.77 dB, ÜB2 kumaşı 300 MHz'de 52.72 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. Ayrıca, 3 GHz civarında tekrar yükselişe geçen ÜB1 kumaşı 3 GHz'de en yüksek 43,62 dB, ÜB2 kumaşı ise, 28,99 dB ile en düşük EMSE değerine sahip olmuştur.

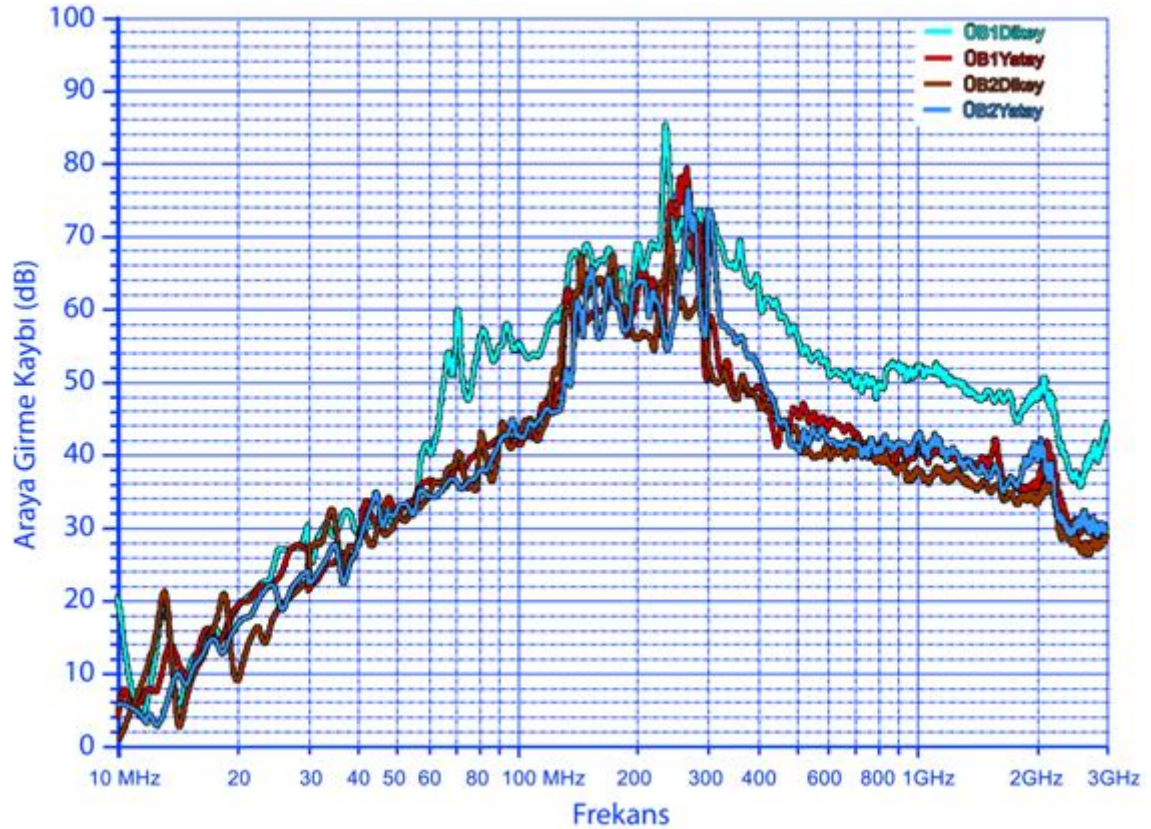


Şekil 84. ÜB1 ve ÜB2 üst atkı takviyeli dokumaların yatay polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 84'te yatay polarizasyonda (çözgü yönünde) verilen grafikte, çözgüde iletken iplik kullanım oranı 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli ve birim alanda kullanılan bakır iplik miktarı (15 bakır iplik/cm) aynı olan (Tablo 18) ÜB1 ve ÜB2 kumaşlarının çözgü yönünde yapılan ölçümlerinde 10 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca iki kumaşın genellikle birbirine yakın EMSE değerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ani yükselişler yaparak ÜB1 kumaşı 266 MHz'de en

yüksek 79.55 dB, 268 MHz'de ise ÜB2 kumaşı ise en yüksek 76.64 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır.

ÜB1 ve ÜB2 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 85'te bir arada gösterilmiştir.



Şekil 85. ÜB1 ve ÜB2 üst atkı takviyeli dokumaların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

10 MHz - 3 GHz frekans aralığında ÜB1 ve ÜB2 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, ÜB1 kumaşının dikey polarizasyon (atki yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek çıktığı (266 MHz'de 79.55 dB ile ÜB1 yatay hariç), 60 MHz - 300 MHz ile 300 MHz ve üzeri frekanslarda iki kumaş arasındaki EMSE farkının daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 85; Tablo 32). ÜB2 kumaşının dikey ve yatay polarizasyonları kendi içinde karşılaştırıldığında ise, iki polarizasyonun 10 MHz - 200 MHz frekans aralığında benzer EMSE değerinde olduğu, 200 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, yatay polarizasyon EMSE değerlerinin dikey polarizasyon EMSE değerlerine göre yüksek çıktığı görülmüştür. ÜB2 kumaşının yatay polarizasyon lehine elde edilen EMSE farkı, 200 MHz - 400 MHz aralığında yaklaşık 12 dB, 400 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise 2-6 dB bulunmuştur (Şekil 85; Tablo 33).

En düşük - en yüksek olmak üzere, ÜB1 kumaşının dikey polarizasyonunda, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 3dB - 30dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 25dB - 85dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 47dB - 72dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 47dB - 53dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 35dB - 51dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 4dB - 28dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 21dB - 80dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 38dB - 59dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 35dB - 42dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 28dB - 42dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir. ÜB2 kumaşının dikey polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 1dB - 23dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 22dB - 70dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 36dB - 53dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 33dB - 38dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 26dB - 37dB arasında EMSE değerleri elde edilirken yatay polarizasyonunda ise, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında 2dB - 24dB, 30 MHz - 300 MHz frekans aralığında 22dB - 77dB, 300 MHz - 1 GHz frekans aralığında 39dB - 74dB, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 34dB - 43dB, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında 29dB - 42dB arasında EMSE değerleri elde edilmiştir (Şekil 85).

İletken İplik Kullanım Miktarının EMSE'ye Etkisine İlişkin Yorumlar

Birim alanda kullanılan bakır iplik miktarının dikey polarizasyonda EMSE'ye etkisine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, atkılarının tamamı bakır kompozit iplikli kumaşların, atkı iplik kullanım oranı 1 Bakır: 1 PES kompozit iplikli olan kumaşlara göre daha yüksek kalkanlama etkinliği gösterdiği dikkati çekmektedir. Bu davranış, kumaş içerisinde atkıda birim alana düşen bakır iplik kullanım miktarına bağlanmaktadır. Örneğin, 36 bakır iplik/cm iletken içeren BB1 kumaşının, 18 bakır iplik/cm içeren BB2 kumaşına göre (Tablo 18) EMSE değerinin belirgin farkla yüksek oluşu, diğer kumaş numunelerine ilişkin grafiklerde de benzer davranışın görülmesi, EMSE'nin birim alanda yer alan iletken iplik miktarıyla büyük ölçüde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. EMSE değerlerinin yüksek oluşu, birim alanda yoğunlaşan bakır iplikler arasındaki mesafenin daha sık, iletken atkı ve çözgü iplikleri tarafından oluşturulan gözeneklerin daha dar ve dolayısıyla iletken ağına daha etkili olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Bu bulguya paralel olarak, Cheng ve diğerleri (2006) ve Perumalraj ve diğerleri (2009) tarafından yapılan çalışmalarda da, sıklık artışıyla birim alanda kullanılan iletken bakır miktarındaki artışın EMSE'yi olumlu yönde

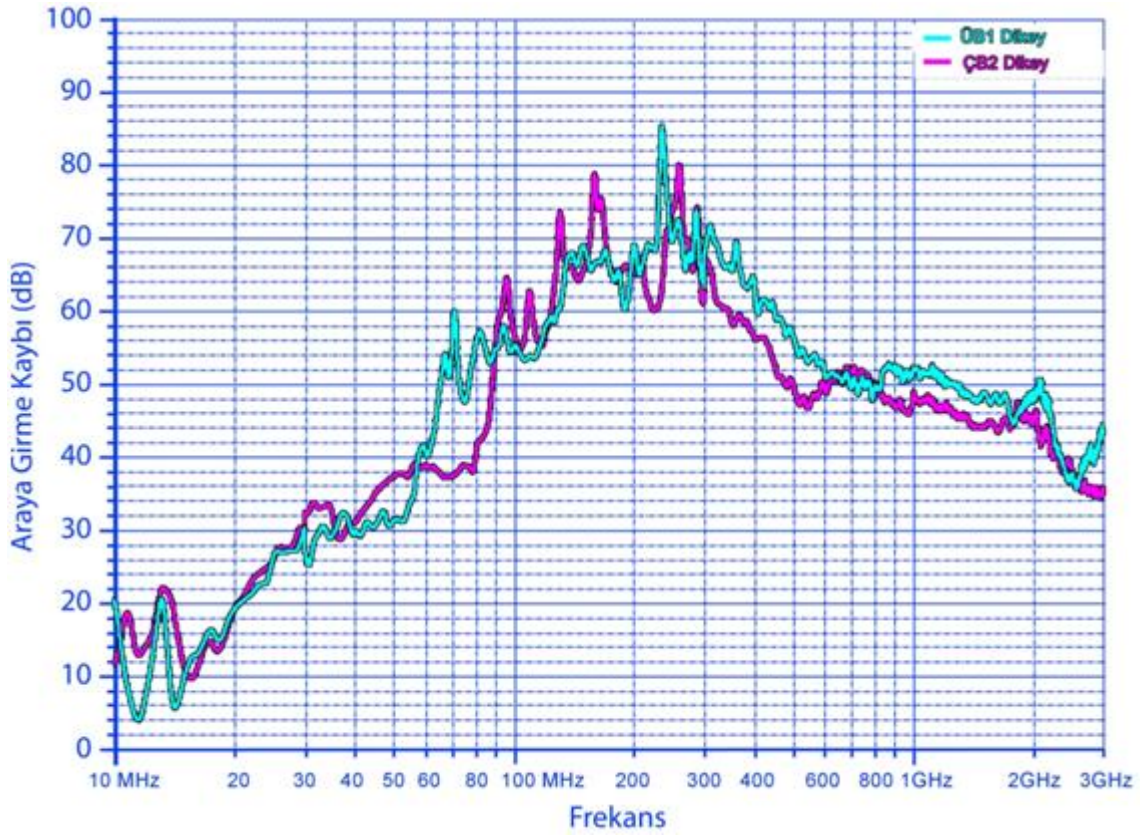
etkilediğini destekleyen sonuçlar alınmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, iplik sıklıklarının yani birim alanda kullanılan bakır iplik sayısının artışıyla, yüzeyde kumaşın örtücülük faktörünün de arttığı dolayısıyla iletken miktarının EMSE değerleri üzerinde arttırıcı etkisinin olduğu vurgulanmıştır.

Birim alanda kullanılan bakır iplik miktarının yatay polarizasyonda EMSE'ye etkisine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, tüm numunelerin genel olarak birbirine çok yakın EMSE değerleri verdiği belirlenmiştir. Bunun nedeni, yatay polarizasyonda yani çözgü yönünde yapılan ölçümlerde dikey polarizasyondan (atkı yönü) farklı olarak, kumaş çiftlerinin çözgülerinde çözgü sıklığı, bakır iplik kullanım oranı ve miktarının eşit (15 bakır iplik/cm) olması şeklinde açıklanabilir. Mühl ve Obolenski (2004) tarafından yapılan çalışmada da, çözgü yönünde EMSE ölçümleri gerçekleştirilirken, atkıdaki iletken iplik sayısı değişiminin EMSE'yi etkilemediği dolayısıyla bu sonucun, elde edilen bulguyla paralellik gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlardan, birim alanda kullanılan iletken iplik miktarının EMSE değeri üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

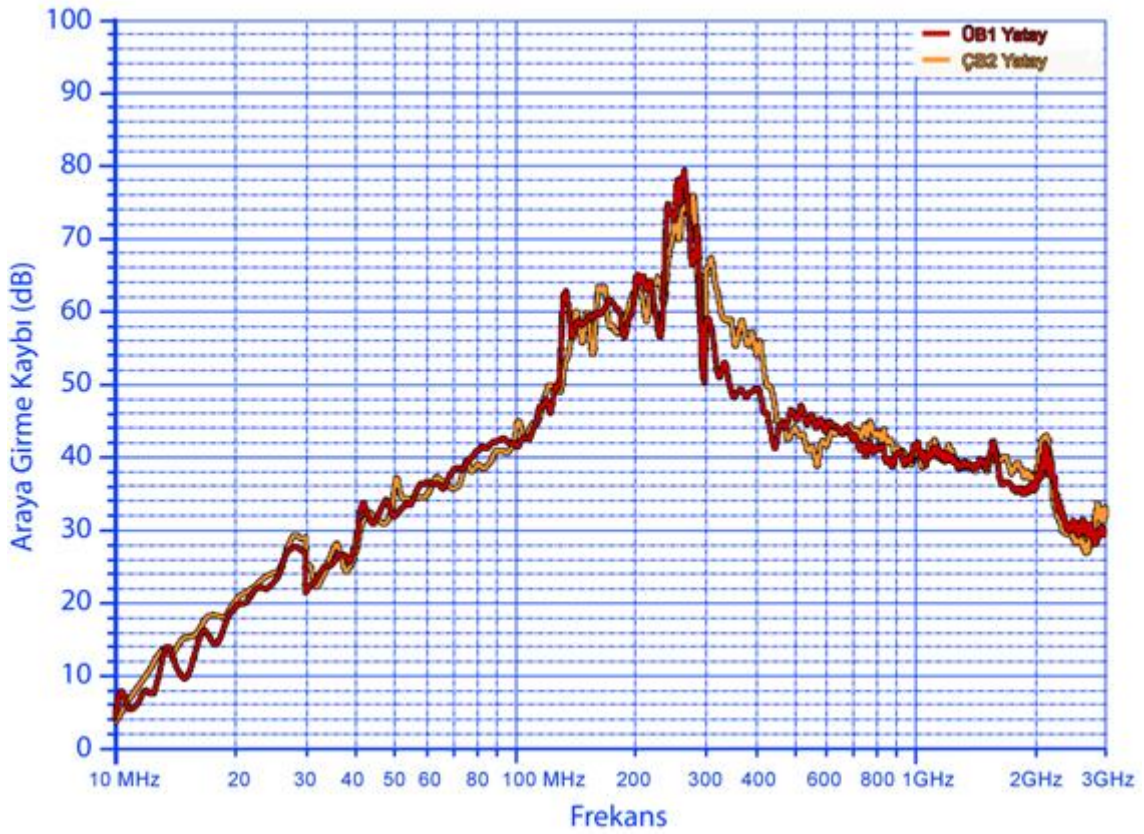
Kumaş Örgü Yapısının EMSE'ye Etkisine İlişkin Bulgular

Kumaş örgü yapısının EMSE'ye etkisi, iletken çeşidi (bakır) ve birim alanda kullanılan iletken miktarı (atkıda 27 bakır tel/cm) dikkate alınarak seçilen ÜB1 (üst atkı takviyeli dokuma) ve ÇB2 (çapraz atkı sateni) kodlu kumaş çiftinin dikey ve yatay polarizasyonlarında ayrı ayrı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Şekil 86 ve 87).

Şekil 86'da görüldüğü gibi, ÜB1 (üst atkı takviyeli dokuma) ve ÇB2 (çapraz atkı sateni) kumaşlarının örgü yapılarının dikey polarizasyonda EMSE'ye etkisi incelendiğinde, 10 MHz - 40 MHz frekans aralığında iki kumaşın da benzer kalkanlama etkinliği gösterdiği, 40 MHz - 90 MHz frekans aralığında ise, ÜB1 kumaşı 71 MHz'de 59,97 dB, ÇB2 kumaşı 89 MHz'de 55,41 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 90 MHz - 300 MHz frekans aralığında, ÜB1 kumaşının 235 MHz'de 85,44 dB, ÇB2 kumaşının 259 MHz'de 80,00 dB ani yükselişler şeklinde verdiği en yüksek değerdir. 300 MHz - 3GHz frekans aralığında ise, ulaşılan en yüksek EMSE değeri ÜB1 kumaşı için 310 MHz'de 71,77 dB, ÇB2 kumaşı için 302 MHz'de 66,98 dB'dir. ÜB1 kumaşının frekans aralığı boyunca genel olarak ÇB2 kumaşına göre yer yer 5-6 dB'lik farkla yüksek EMSE sağladığı görülmektedir. Ayrıca, ÜB1 kumaşının 3 GHz frekansına yaklaştıkça EMSE değerinin tekrar yükseliş gösterdiği görülmüştür.



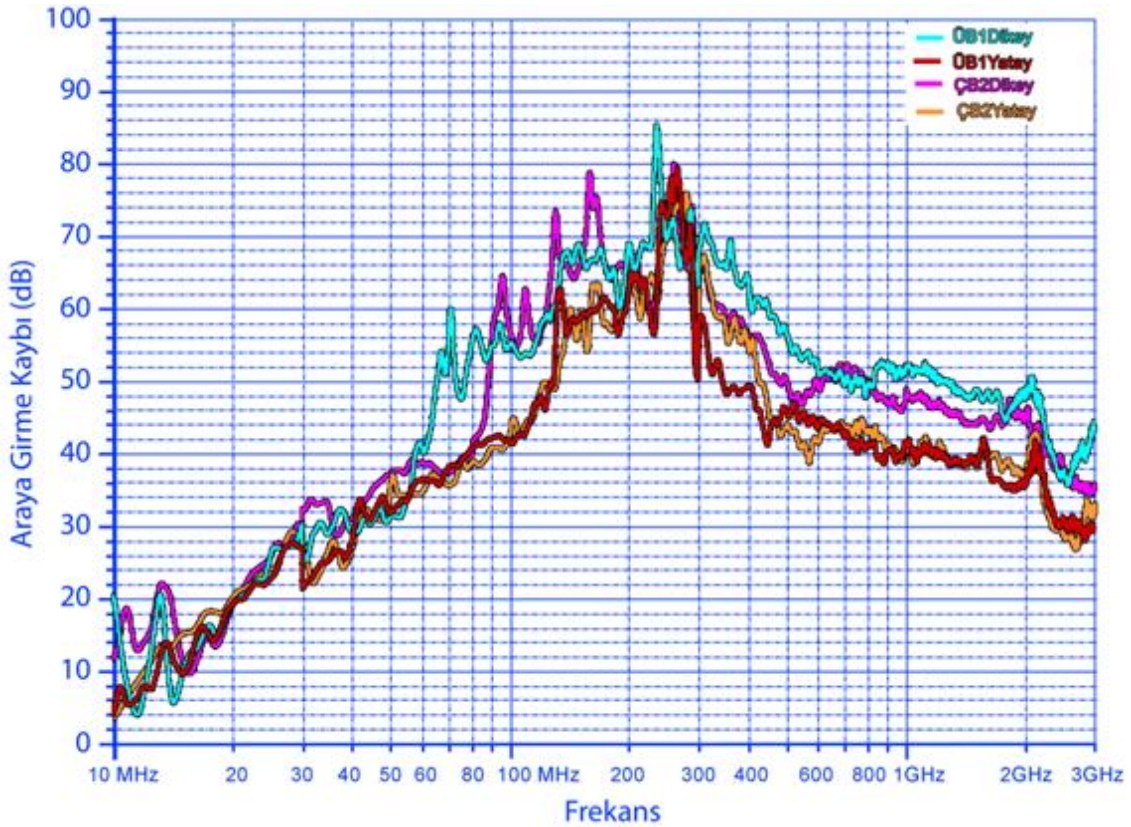
Şekil 86. ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri



Şekil 87. ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 87’de ÜB1 ve ÇB2 kumaşlarının yatay polarizasyonda örgü yapılarının EMSE’ye etkisi incelendiğinde, her iki kumaşın da birbirine çok yakın EMSE değeri aldığı görülmüştür. 10 MHz - 3 GHz frekans aralığındaki EMSE değerleri incelendiğinde, 10 MHz - 100 MHz frekans aralığında kumaşların EMSE değerlerinin benzer davranış göstererek 42 dB’ye ulaştığı, 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ise ÜB1 kumaşı 266 MHz’de 79.55 dB’ye, ÇB2 kumaşı ise 278 MHz’de 76.05 dB’ye kadar yükselmiştir. 300 MHz - 440 MHz frekans aralığında ÇB2 kumaşının daha yüksek EMSE değeri gösterdiği, 440 MHz ve üzeri frekanslarda iki kumaşın birbirine yakın etkinliği ve 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise ani düşüşü dikkati çekmektedir.

ÜB1 ve ÇB2 kumaşlarının dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri Şekil 88’de bir arada gösterilmiştir.

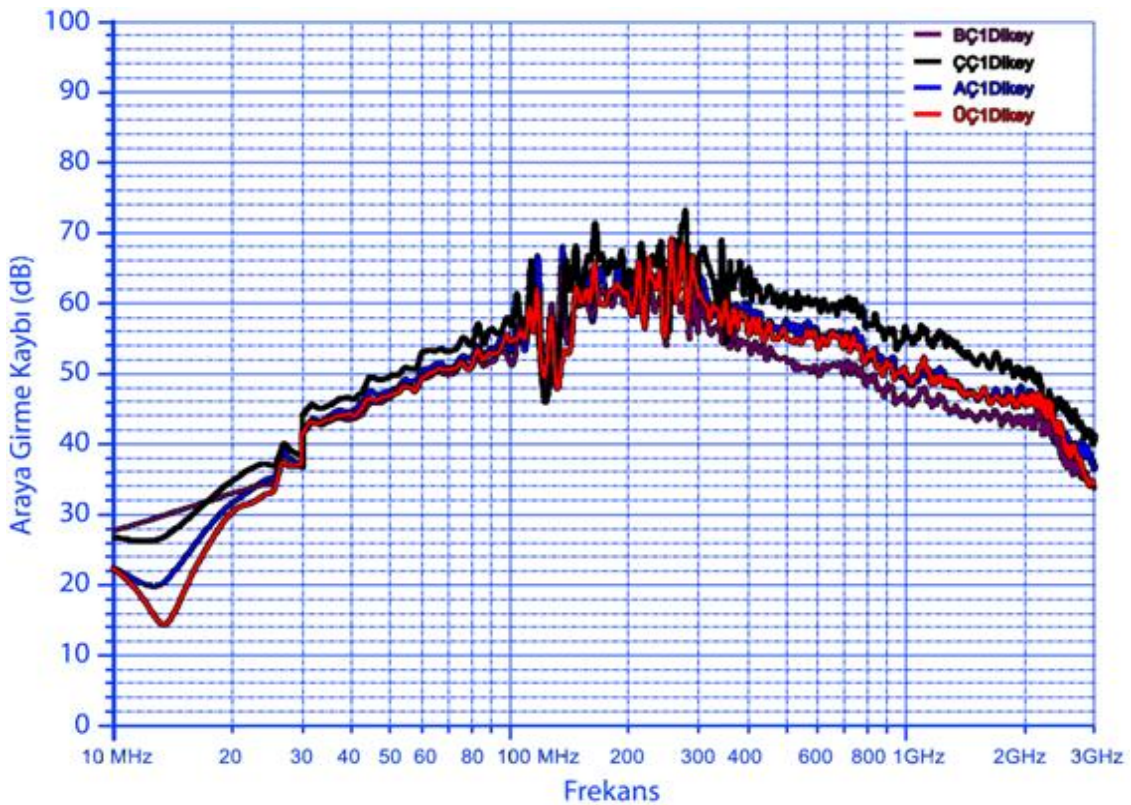


Şekil 88. ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarındaki EMSE değerleri

10 MHz - 3 GHz frekans aralığında ÜB1 ve ÇB2 kumaşına ait dikey ve yatay polarizasyon EMSE ölçümleri incelendiğinde, ÜB1 kumaşının dikey polarizasyon (atkı yönü) EMSE değerlerinin, yatay polarizasyon (çözgü yönü) EMSE değerlerine göre genelde yüksek çıktığı (266 MHz’de 79.55 dB ile ÜB1 yatay hariç), özellikle 60 MHz -

300 MHz ile 300 MHz ve üzeri frekanslarda iki kumaş arasındaki EMSE farkının daha belirginleştiği görülmektedir (Şekil 88; Tablo 32). ÇB2 kumaşının dikey ve yatay polarizasyonları kendi içinde karşılaştırıldığında ise, dikey polarizasyon EMSE değerlerinin 30 MHz - 200 MHz ile 400 MHz - 3 GHz frekans aralıklarında yatay polarizasyon değerlerine göre yüksek ve EMSE farkının daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu frekans aralıklarının dışında kalan frekanslarda ise benzer EMSE değerleri gözlenmiştir (Şekil 88; Tablo 27).

Farklı örgü yapılarının EMSE'ye etkisini ortaya koymak amacıyla çözgü sıklıkları ve iletken çeşidi açısından eşitlik gösteren, ancak atkı iplik sıklıklarında denklik sağlanamayan çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşların kendi içinde EMSE değerlerinin karşılaştırılmasına da yer verilmiştir. Karşılaştırmalar, kumaşların içerdiği farklı atkı sıklığı ve iletken iplik miktarından dolayı örgü yapısının EMSE'ye etkisini tam olarak ortaya koyamasa da fikir vermesi açısından uygun görülmüştür. Bu kapsamda BÇ1, ÇÇ1, AÇ1 ve ÜÇ1 kodlu toplam 4 farklı örgü yapısına sahip çelik ve BB1, BB2, ÇB1, ÇB2, AB1, AB2, ÜB1 ve ÜB2 kodlu toplam 8 farklı örgü yapısına sahip bakır kompozit iplikli kumaşların dikey ve yatay polarizasyonlarında ölçülen EMSE değerleri kendi içinde incelenmiştir.



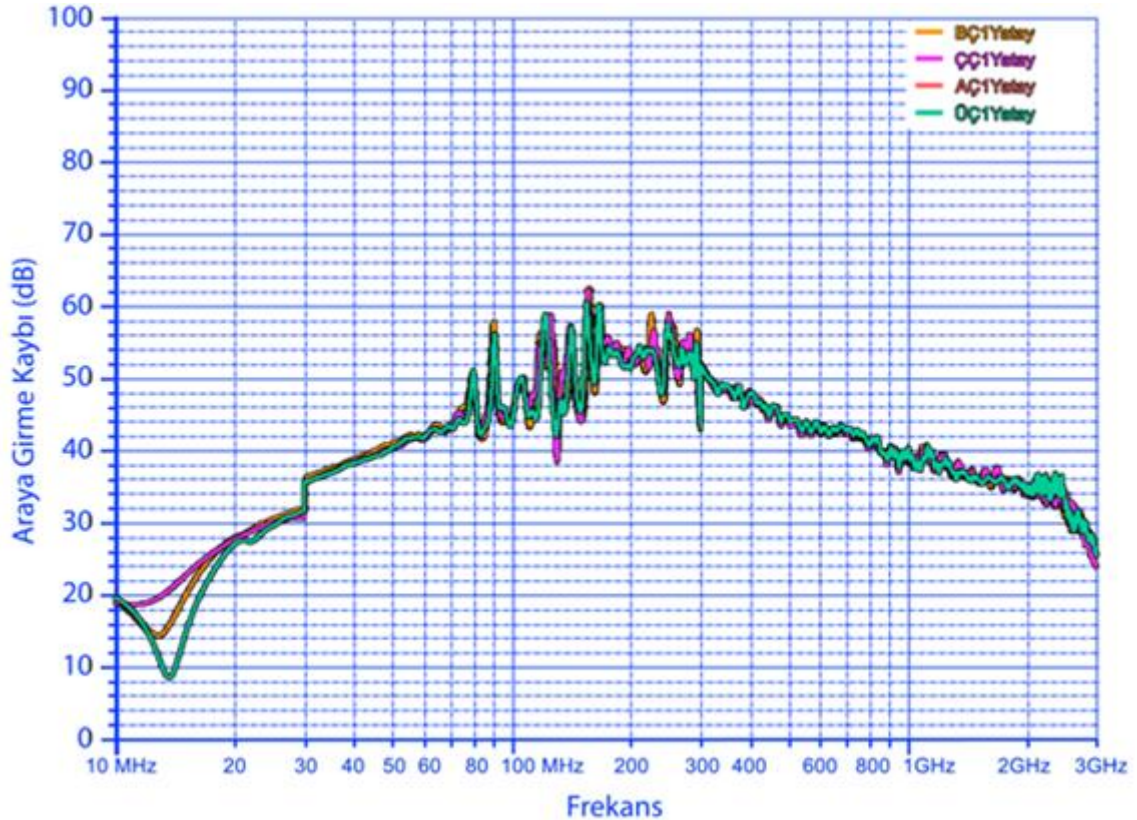
Şekil 89. BÇ1, ÇÇ1, AÇ1 ve ÜÇ1 kodlu çelik kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 89’da, farklı örgü yapılarında üretilen çelik kompozit iplikli 4 dokuma numunesinin (BÇ1, ÇÇ1, AÇ1 ve ÜÇ1) dikey polarizasyondaki EMSE değerleri karşılaştırıldığında, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında çelik kompozit iplikli kumaşlar içerisinde en yüksek EMSE değerini 27 MHz’de 40.04 dB ile ÇÇ1 kumaşının aldığı görülmektedir. 27 MHz’de 38,86 dB ile AÇ1, 27 MHz’de 37.26 dB ile BÇ1 ve 30 MHz’de 37.08 dB ile ÜÇ1 kumaşının en yüksek EMSE değerine ulaştığı görülmüştür. 30 MHz - 100 MHz frekans aralığında 98 MHz’de 57,93 dB ile ÇÇ1 kumaşının en yüksek EMSE gösterdiği, diğer 3 çelik kompozit iplikli kumaşın EMSE değerlerinin ise birbirine yakın olduğu görülmektedir. 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında, tüm çelik kumaşların ani iniş ve çıkışlarla 45dB - 73dB arasında en yüksek EMSE değerlerini alarak zirveye ulaştıkları gözlenmiştir. Bu kumaşlar içinde ulaşılan en yüksek değeri ÇÇ1 kumaşı 276 MHz’de 73.26 dB ile sağlarken, diğer kumaşların benzer değerler aldığı görülmüştür. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, tüm çelik kompozit iplikli kumaşların 3 GHz’e kadar ani iniş ve çıkışlar göstermeden dengeli bir şekilde EMSE değerlerinin azaldığı dikkati çekmektedir. Ayrıca, 300 MHz - 2 GHz frekans aralığında kumaşlar arasında EMSE farkının daha belirginleştiği ve bu aralıkta sırasıyla en yüksek ÇÇ1 kumaşının 50 dB ve üzeri, AÇ1 ve ÜÇ1 kumaşlarının birbirine yakın değerlerde 45 dB ve üzeri, BÇ1 kumaşının ise 42 dB ile en düşük EMSE değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise en yüksek EMSE değerini (40dB - 50dB) ÇÇ1 kumaşının aldığı, diğer kumaşların ise birbirine yakın değerlerde (34dB - 48dB) olduğu görülmüştür (Şekil 89).

10 MHz - 3 GHz frekans aralığında dikey polarizasyonda elde edilen EMSE verilerinden yola çıkarak çelik kompozit iplikli kumaşların kalkanlama düzeyleri incelendiğinde, EMSE değerlerinin genellikle, 10 MHz - 20 MHz frekans aralığında basit kalkanlama (10dB - 30dB) (Tablo 20), 20 MHz - 3 GHz frekans aralığında (100 MHz - 300 MHz hariç) ise normal kalkanlama (30dB - 60dB) düzeyinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında tüm kumaşların yeterli kalkanlama (60dB - 90dB) düzeyine ulaştığı anlaşılmaktadır (Şekil 89; Tablo 22, 25, 28 ve 31).

Şekil 90’da çelik kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyondaki EMSE değerleri karşılaştırıldığında, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında kumaşlar arasında EMSE farklılığının daha belirginleştiği, AÇ1 ve BB1 kumaşlarının çakışık çıktığı gözlenmiştir. 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında kumaşlar içinde en yüksek EMSE değerine BÇ1 kumaşı 29 MHz’de 37,26 dB ile, AÇ1 kumaşı 31.78 dB ile, ÇÇ1 kumaşı

27 MHz'de 40.04 dB ile, ÜÇ1 kumaşı ise, 29 MHz'de 31.58 dB ile ulaşmıştır. 30 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca ise, çelik kompozit iplikli kumaşların birbirleriyle çakışarak benzer kalkanlama etkinliği gösterdiği görülmektedir. Buna göre çelik kompozit iplikli kumaşların, 30 MHz - 100 MHz frekans aralığında 35 dB ve üzeri, 100 MHz - 1 GHz frekans aralığında 40 dB ve üzeri, 1 GHz - 2 GHz frekans aralığında 35 dB ve üzeri, 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise, 25 dB ve üzeri EMSE değerlerine ulaştığı görülmektedir.

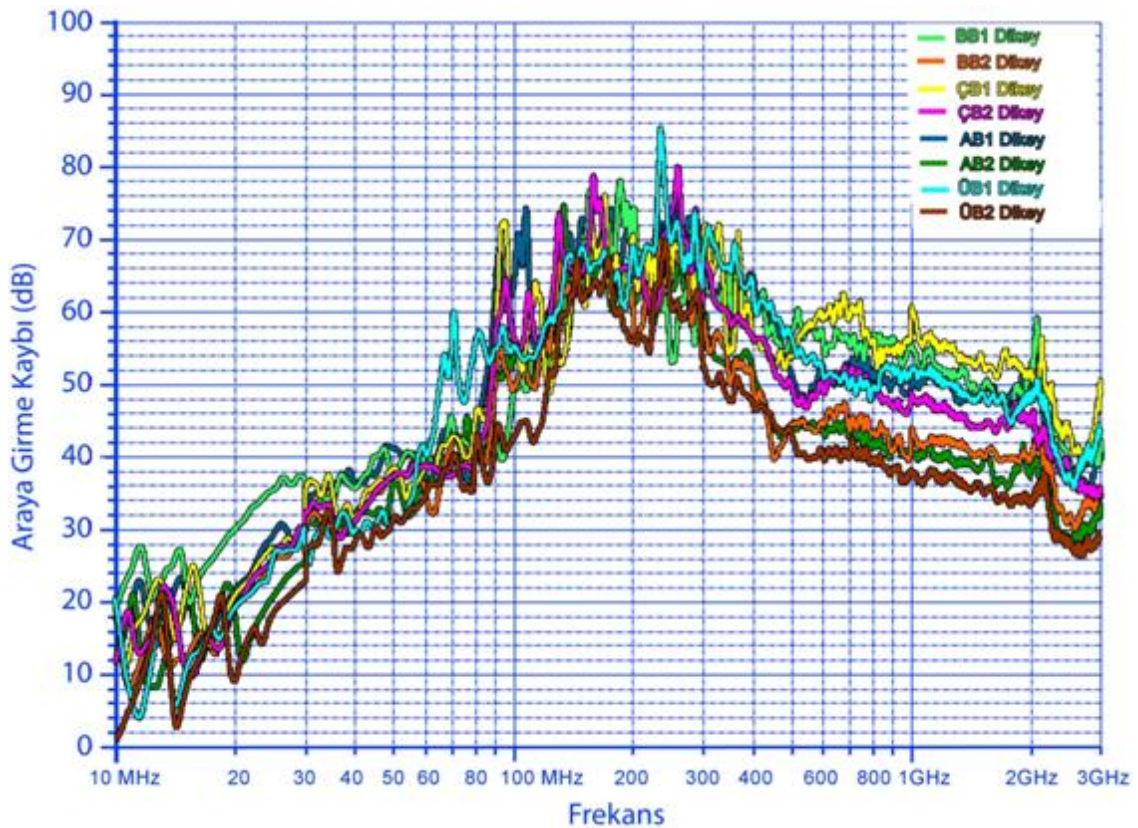


Şekil 90. BÇ1, ÇÇ1, AÇ1 ve ÜÇ1 kodlu çelik kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 90'da, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında yatay polarizasyonda elde edilen EMSE verilerinden yola çıkarak çelik kompozit iplikli kumaşların kalkanlama düzeyleri incelendiğinde EMSE değerlerinin genellikle, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında basit kalkanlama (10dB - 30dB), 30 MHz - 2.8 GHz frekans aralığı boyunca (150 MHz - 160 MHz hariç) ise normal kalkanlama (30dB - 60dB) düzeyinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, 2.8 GHz - 3 GHz frekans aralığında tüm kumaşların 30 dB ve altına düşerek basit kalkanlama (10dB - 30dB) aralığına girdikleri gözlenmiştir (Tablo 21). 150 MHz - 160 MHz frekans aralığında ise, BÇ1 kumaşı 156 MHz'de 62.50 dB, ÇÇ1 kumaşı 155 MHz'de 62.00 dB, AÇ1 kumaşı 157 MHz'de 62.45 dB ve ÜÇ1

kumaşı ise, 154 MHz'de 60.54 dB ile en yüksek EMSE değerine ulaşarak bu kumaşların yeterli kalkanlama (60dB - 90dB) aralığında olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 22, 25, 28 ve 31).

Şekil 91 ve 92'de, bakır kompozit iplikli BB1, BB2, ÇB1, ÇB2, AB1, AB2, ÜB1 ve ÜB2 kodlu, farklı örgü yapılarında 8 dokuma numunesinin dikey ve yatay polarizasyonlarında ölçülen EMSE değerleri ayrı ayrı verilmiştir.

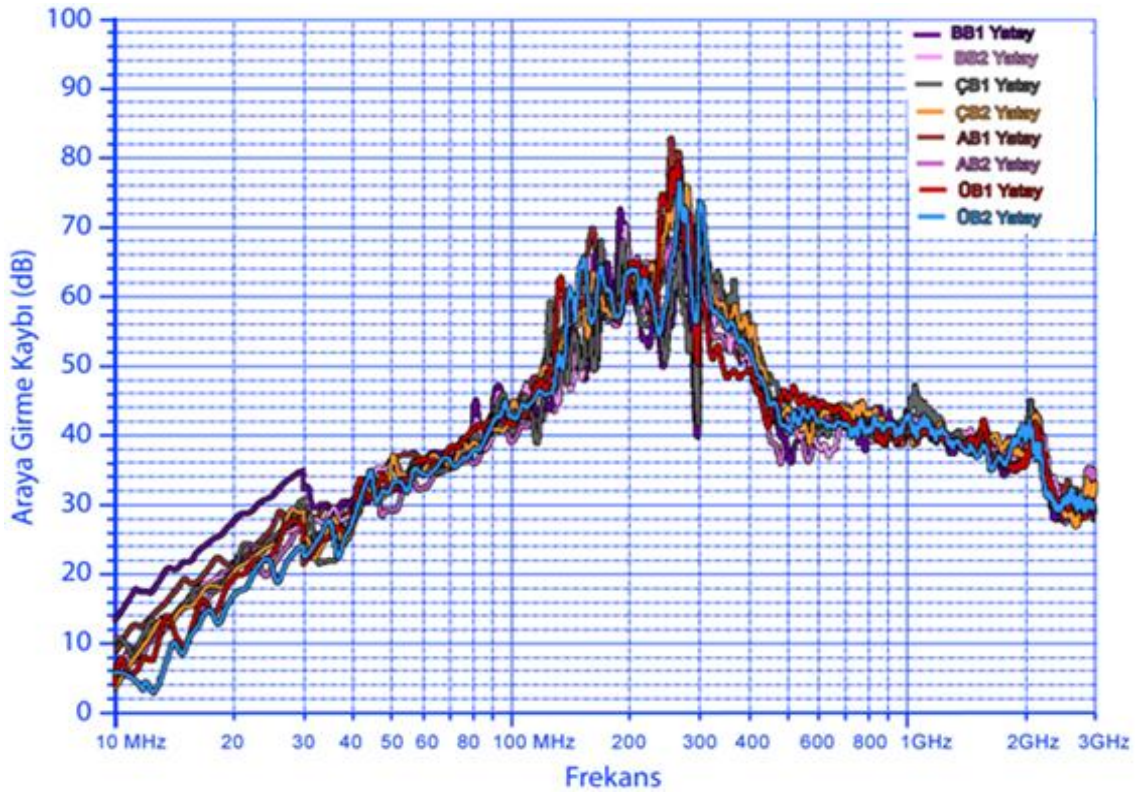


Şekil 91. BB1, BB2, ÇB1, ÇB2, AB1, AB2, ÜB1 ve ÜB2 kodlu bakır kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 91'de bakır kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyonda EMSE değerleri karşılaştırıldığında, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında en yüksek EMSE değerine 29 MHz'de 37.40 dB ile BB1 kumaşı ulaşırken, diğer kumaşların EMSE değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. 30 MHz - 100 MHz frekans aralığında ÜB1 kumaşının 71 MHz'de 59,97 dB, ÇB1 kumaşının 93 MHz'de 72,27 dB, AB1 kumaşının 91 MHz'de 67,82 dB, ÇB2 kumaşının 95 MHz'de 64,50 dB, BB2 kumaşının ise 92 MHz'de 55,30 dB ile ani yükselerek en yüksek EMSE değerine ulaşmıştır. 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında, tüm kumaşların ani iniş ve çıkışlarla 50dB - 85dB arasında en yüksek değerlerini alarak zirveye ulaştıkları anlaşılmaktadır. Bakır kompozit iplikli kumaşlar içinde frekans aralığı boyunca ulaşılan en yüksek EMSE değeri, 235 MHz'de

85.44 dB ile ÜB1 kumaşına aittir. 300 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise, tüm bakır kompozit iplikli kumaşların çelik kompozit iplikli kumaşların aksine (Şekil 93) 3 GHz'e kadar ani iniş ve çıkışlar yaparak EMSE değerlerinin kararsız davranışı dikkati çekmektedir. Diğer yandan, 300 MHz - 2 GHz frekans aralığında kumaşlar arasındaki EMSE farkının daha belirginleştiği, sırasıyla en yüksek ÇB1, BB1, ÜB1, AB1, ÇB2 kumaşlarının 45 dB ve üzeri, BB2, AB2 ve ÜB2 kumaşlarının ise 35 dB ve üzeri EMSE değerine ulaştıkları görülmektedir. 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise, sırasıyla ÇB1, BB1 ve ÜB1 kumaşlarının 40 dB ve üzeri, AB1, ÇB2, BB2 ve AB2 kumaşlarının ise 30 dB ve üzeri EMSE sağladıkları görülmüştür.

Şekil 91'de, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında dikey polarizasyonda elde edilen EMSE verilerinden yola çıkarak bakır kompozit iplikli kumaşların kalkanlama düzeyleri incelendiğinde EMSE değerlerinin genellikle, 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında basit kalkanlama (10dB - 30dB), 40 MHz - 3 GHz frekans aralığında (100 MHz - 400 MHz hariç) ise normal kalkanlama (30dB - 60dB) düzeyinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, 100 MHz - 400 MHz frekans aralığında 8 kumaşın da en yüksek EMSE değerine ulaşarak yeterli kalkanlama düzeyinde (60dB - 90dB) olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 23-24, 26-27, 29-30, 32-33)



Şekil 92. BB1, BB2, ÇB1, ÇB2, AB1, AB2, ÜB1 ve ÜB2 kodlu bakır kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri

Şekil 92’de bakır kompozit iplikli kumaşların yatay polarizasyonda EMSE değerleri karşılaştırıldığında, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında genellikle bakır kompozit iplikli kumaşların birbirine yakın (BB1 yatay hariç) EMSE değeri gösterdiği görülmektedir. 10 MHz - 300 MHz frekans aralığında EMSE değerleri yükselerek, 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ani iniş ve çıkışlarla maksimuma ulaşmıştır. EMSE değerlerinin, 300 MHz’den 500 MHz’e kadar hızla düşüşe geçerek 500 MHz - 2 GHz frekans aralığında tekrar toparlandığı, 2.5 GHz’e kadar tekrar düştüğü ve son olarak 3 GHz’e doğru ise tekrar artışa geçtiği görülmektedir. 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında BB1 kumaşının diğer kumaşların aksine gösterdiği EMSE farkı ile 300 MHz’de de ÇB1 kumaşının 30 dB kadar ani düşüşü yatay polarizasyonda ilginç bulunmuştur. 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında en yüksek EMSE değerine 254 MHz’de 82.89 dB ile AB1 kumaşı ulaşmıştır. 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında kumaşların yatay polarizasyon EMSE değerlerinin 10 MHz - 100 MHz frekans aralığında 45 dB’ye, 150 MHz - 300 MHz frekans aralığında 60 dB ve üzerine, 300 MHz - 2 GHz frekans aralığında 35 dB ve üzerine ve 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında ise, 30 dB ve üzerine yükseldiği görülmektedir.

Şekil 92’de, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında yatay polarizasyonda elde edilen EMSE verilerinden yola çıkarak bakır kompozit iplikli kumaşların kalkanlama düzeyleri incelendiğinde, EMSE değerlerinin genellikle, 10 MHz - 40 MHz frekans aralığında basit kalkanlama (10dB - 30dB), 40 MHz - 3 GHz frekans aralığında (150 MHz - 300 MHz hariç) normal kalkanlama (30dB - 60dB) düzeyinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, 150 MHz - 300 MHz frekans aralığında 8 kumaşın da en yüksek EMSE değerine (60 dB ve üzeri) ulaşarak yeterli kalkanlama (60dB - 90dB) düzeyine ulaştığı anlaşılmaktadır (Tablo 23-24, 26-27, 29-30, 32-33).

Kumaş Örgü Yapısının EMSE’ye Etkisine İlişkin Yorumlar

İletken çeşidi ve birim alanda atkıdan kullanılan bakır iplik miktarı aynı olan ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaş çiftinde dikey polarizasyonda kumaş örgü yapısının EMSE’ye etkisine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, ÜB1 kodlu kumaşın genel olarak ÇB2 kumaşına göre yer yer 5-6 dB’lik farkla yüksek EMSE sağladığı görülmüştür. Bu farkın örgü yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kumaşların mikroskop görüntüleri (Şekil 50 ve 51) incelendiğinde, ÜB1 kumaşında ÇB2 kumaşına nazaran atkı yüzmelerinin daha uzun olduğu ve üst atkılarının tamamının iletken

kompozit iplikten oluştuğu görülmektedir. ÇB2 kumaşında ise, bakır kompozit ve PES iplikten oluşan atkılar 1:1 oranında kullanılmıştır. Diğer yandan üst atkı takviyeli ÜB1 kumaşında üst atkılarının, 1:1 iplik oranında kullanılan bakır kompozit çözgü ipliklerinin oluşturduğu bez ayağı zemin örgüsüyle bağlantı kurması, çapraz saten örgülü ÇB2 kumaşına göre daha örtücü, düzgün yüzey ve sıkı bir kumaş yapısı sağlamıştır. Bu bulguyu destekleyen, Perumalraj ve diğerleri (2009) tarafından bakır iletken ipliklerden üretilen bez ayağı ve dimi örgülü dokumalar üzerinde yapılan çalışmada da, iletken ipliklerin yüzeyde kullanılmasıyla arttırılan örtme faktörünün EMSE üzerinde pozitif etkisi belirlenmiştir. Cheng ve diğerleri (2006) tarafından yapılan çalışmada da bakır iplikli dimi kumaşlarda, atkı ve çözgü iplikleri tarafından kumaştaki boşlukların kapatılması ile EMSE değerlerindeki artışın kumaş örtme faktörüyle ilgili olduğu vurgulanmıştır.

ÜB1 ve ÇB2 kodlu kumaş çiftinde yatay polarizasyonda kumaş örgü yapısının EMSE'ye etkisine ilişkin bulgular değerlendirildiğinde, her iki kumaşın da yatay polarizasyonda birbirine çok yakın EMSE değeri aldığı görülmüştür. Buna göre, örgü yapısının yatay polarizasyonda EMSE değeri üzerinde belirgin etkisinin olmadığı, kumaşların eşit olan çözgü sıklıkları, birim alandaki bakır iplik kullanım oranı ve miktarının bu sonuçta etken olduğu söylenebilir. Mühl ve Obolenski (2004) tarafından yapılan çalışmada da, çözgü yönünde EMSE ölçümleri gerçekleştirilirken, sadece atkıdaki iletken iplik sayısı değişiminin yatay polarizasyonda (çözgü yönü) EMSE'yi etkilemediği dolayısıyla bu sonucun, elde edilen bulguyla paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Çelik kompozit iplikli kumaşlarda örgü yapısının dikey polarizasyonda EMSE'ye etkisi değerlendirildiğinde, bazı kumaş çiftleri arasında görülen 5 ila 15 dB arasında değişen farkın örgü yapısının etkisi yanında, kumaşın birim alanında yer alan iletken iplik miktarından da etkilenmiş olabileceği düşünülmekle birlikte; basit yapıli dokumalardan BÇ1 kodlu kumaş ile atkı takviyeli dokumalardan ÜÇ1 kodlu atkı sıklıkları farklı kumaşlara ait bulgularda ise kumaş örgü yapısının etkisi öne çıkmaktadır. BÇ1 kumaşının birim alanında kullanılan iletken miktarı (36 çelik iplik/cm) ÜÇ1 kumaşına göre (27 çelik iplik/cm) daha fazla olmasına rağmen, ÜÇ1 kumaşının 5-6 dB daha yüksek EMSE göstermiştir.

Çelik kompozit iplikli kumaşların örgü yapısının yatay polarizasyonda EMSE'ye etkisi değerlendirildiğinde, 30 MHz - 3 GHz frekans aralığında, benzer davranış gösteren kumaşların özellikle 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında kumaşlar

arasında EMSE farklılığının belirginleşmesi ilginç bulunmuş, ancak açıklayıcı bir nedene bağlanamamıştır. Diğer yandan, BÇ1 ve AÇ1 kumaşlarının çakışık şekilde tüm frekans aralığı boyunca aynı EMSE değerlerine sahip olması dikkati çekmiştir. Buna göre, kumaş örgü yapısının yatay polarizasyonda EMSE değerleri üzerinde belirgin etkisinin olmadığı, kumaşların eşit olan çözgü sıklıkları, birim alandaki çelik iplik kullanım oranı ve miktarının bu sonuçta etken olduğu düşünülmektedir. Mühl ve Obolenski (2004)'nin bulguları da bu sonucu desteklemektedir.

Bakır kompozit iplikli kumaşların örgü yapısının dikey polarizasyonda EMSE değerlerinin, çelik kompozit iplikli kumaşlarla benzer olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla genel olarak aynı yorumlar geçerlidir. Yani kumaşlar arasındaki belirgin EMSE farkında örgü yapısının etkisiyle birlikte, birim alanda kullanılan iletken iplik miktarının etkisinin olduğu da söylenebilir. Ancak AB1 ve ÜB1 kodlu kumaşlar karşılaştırıldığında, çelik kompozit iplikli BÇ1 ve ÜÇ1 kodlu kumaşlarda olduğu gibi, bakır kompozit iplikli kumaşlarda da atkı takviyeli dokumalardan, ÜB1 kumaşının birim alanında kullanılan bakır kompozit iplik miktarı (27 bakır iplik/cm), AB1 kumaşından (30 bakır iplik/cm) az olmasına rağmen, 200 MHz ve üzeri frekanslarda kalkanlama etkinliğinin AB1 kumaşına göre iyi olması, ÜB1 kumaşının örgü yapısına bağlanmaktadır. ÜB1 kodlu üst atkı takviyeli kumaşta, bakır kompozit iplikli üst atkılarının, 1:1 iplik oranında kullanılan bakır kompozit çözgü ipliklerinin oluşturduğu bez ayağı zemin örgüsüyle bağlantı kurması (Şekil 51), dolayısıyla zemindeki bez ayağı örgü yapısı sayesinde yüzeyde uzun atlamalar yaparak yüzen iletken üst atkılarının, kumaşın yüzeyini daha sık şekilde örterek gözenekleri kapatmasının, bu kumaşın EM dalgalara karşı AB1 kumaşından daha etkili kalkanlama sağlamasında etken olduğu düşünülmektedir.

Bakır kompozit iplikli kumaşların örgü yapısının yatay polarizasyonda yani çözgü yönünde yapılan ölçümlerde elde edilen EMSE bulguları değerlendirildiğinde, çelik kompozit iplikli kumaşlarda da olduğu gibi, 30 MHz - 3 GHz frekans aralığı boyunca birbirine çok yakın EMSE değerleri vermesinde etken faktör olarak, çözgü sıklığı ve çözgüde birim alanda kullanılan iletken iplik kullanım oranı ve miktarının eşit olması (Tablo 18) akla gelmektedir. Mühl ve Obolenski (2004) tarafından yapılan çalışmada da bu bulguyu destekleyen, atkıda değişken olsa da çözgüde sabit tutulan iletken iplik miktarının, çözgü yönünde EMSE değerini etkilemediği sonucuna ulaşılmış olması yorumu güçlendirmektedir. Diğer yandan 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında gözlenen, ancak yorumlanamayan BB1 kumaşının belirgin EMSE farkı dikkat çekicidir.

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, araştırmanın bulgularına dayalı olarak ulaşılan sonuçlara ve ilgili önerilere yer verilmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada, atkıdan ve çözgüden çelik ve bakır kompozit iplikler kullanılarak üretilmiş dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinlikleri araştırılmıştır. Tez kapsamında kumaşların EMSE özelliği geniş bir frekans aralığında iletken çeşidi, iletken iplik kullanım miktarı ve kumaş örgü yapısı değişkenleri açısından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ölçümler yankısız oda yöntemi ile 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında dikey ve yatay polarizasyonlarda gerçekleştirilmiştir.

Verilerin karşılaştırmalı olarak analizinden elde edilen genel sonuçlara göre, iletken çeşidi, iletken iplik kullanım miktarı ve kumaş örgü yapısının EMSE üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşların dikey polarizasyon EMSE değerleri, yatay polarizasyona göre genel olarak daha yüksek bulunmuştur. Dikey polarizasyonda yani atkı yönünde EMSE'nin daha yüksek bulunması, kullanılan iletken iplik miktarına bağlanmaktadır. Bu sonuç, Mühl ve Obolenski (2004) tarafından yapılan çalışmada elde edilen bulgularla da desteklenmektedir.

Çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşlarda frekans aralıklarının EMSE'ye etkisi genel olarak değerlendirildiğinde, 10 MHz - 300 MHz frekans aralığında tüm kumaşların EMSE değerlerinin kararlı şekilde artarak 100 MHz - 300 MHz aralığında en yüksek değerine ulaştığı görülmüştür. 300 MHz'den itibaren bakır kompozit iplikli kumaşların EMSE değerlerinin hızla düşüşle birlikte, yer yer ani iniş ve çıkışlarla kararsız davranış gösterdiği, 3 GHz'e doğru ise toparlanarak tekrar yükselişe geçtikleri gözlenirken, çelik kompozit iplikli kumaşların ise bu aralıkta kararlı ve dengeli bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

EMSE (dB) değerlerine ilişkin bulguların başlıca frekans bandlarına göre geçerli kalkanlama etkinlik düzeyleri incelendiğinde, 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşların kalkanlama düzeylerinin dikey ve yatay polarizasyonlarda genellikle basit (10dB - 30dB), normal (30dB - 60dB) ve yeterli (60dB - 90dB) kalkanlama aralığında olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, basit kalkanlama düzeyinin 10 MHz - 30 MHz ve 2 GHz - 3 GHz frekans aralığında, yeterli kalkanlama düzeyinin 100 MHz - 300 MHz frekans aralığında ve normal kalkanlama düzeyinin ise, bu aralıkların dışındaki frekanslarda yer aldığı görülmüştür. Dolayısıyla, kalkanlama düzeylerinden yola çıkarak bu çalışmada üretilen kumaşlarla, elektrikli elektronik cihazlardan yayılan zararlı EM dalgalara karşı korunma amacıyla dikey ve yatay polarizasyonlarda frekans aralığının genelinde etkin bir zayıflatma sağlanabileceği söylenebilir.

İletken çeşidinin (paslanmaz çelik, bakır) dikey ve yatay polarizasyonlarda EMSE'ye etkisine ilişkin bulgulardan, genellikle çelik kompozit iplikli kumaşların 10 MHz - 100 MHz frekans aralığında bakır kompozit iplikli kumaşlara göre daha yüksek değer verdiği, 100 MHz - 3 GHz frekans aralığında ise bu durumun bakırın lehine değiştiği anlaşılmıştır. Chen ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışmada da bakırın yüksek iletkenliği vurgulanarak paslanmaz çelikten daha etkin kalkanlama sağladığı doğrulanmaktadır. Çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşlarda belirtilen frekans aralıklarında gözlenen farklı davranışların, iletkenlerin mikro yapısına bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Birim alanda kullanılan bakır kompozit iplik miktarındaki değişimin dikey polarizasyonda (atkı yönü) EMSE'ye etkisi ne ilişkin bulgular incelendiğinde, atkılarının tamamında bakır kompozit iplik kullanılarak üretilen kumaşların, atkıdan 1:1 (1 bakır: 1 PES iplik) kullanım oranında kompozit iplik kullanılarak üretilen kumaşlara göre daha yüksek EMSE değerine sahip olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalarda da (Chen ve diğerleri, 2004; Cheng ve diğerleri, 2006; Perumalraj ve diğerleri, 2009) bu bulguya paralel olarak, iletken iplik miktarının EMSE'yi olumlu yönde etkilediği ifade edilmektedir. Diğer yandan birim alanda bakır kompozit iplik kullanım miktarının eşit olduğu yatay polarizasyonda (çözgü yönü) karşılaştırılan bu kumaş çiftlerinin benzer EMSE değeri gösterdiği belirlenmiştir. Mühl ve Obolenski (2004) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar “artan iletken miktarının EMSE'ye pozitif etkisi vardır” bulgusunu kuvvetlendirmektedir.

Kumaş örgü yapısının EMSE'ye etkisi, iletken çeşidi ve birim alanda atkıdan kullanılan bakır iplik miktarı aynı olan kumaş çiftinde, dikey ve yatay polarizasyonda karşılaştırılmak suretiyle incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan dikey polarizasyonda ÜB1 kodlu (üst atkı takviyeli dokuma) kumaşın, ÇB2 kodlu (çapraz atkı sateni) kumaşa göre yer yer 5-6 dB'lik farkla yüksek EMSE sağladığı görülmüştür. Bu farkın örgü yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üst atkı takviyeli kumaşta kumaş yüzeyi çözümler üzerinden uzun atlamalar yapan bakır kompozit ipliklerle kaplanmış ve alt yapıda 1:1 iplik oranında kullanılan bakır kompozit çözümlerin oluşturduğu bez ayağı örgü ile desteklenmiştir. Dolayısıyla iletken kompozitli, düzgün ve sık bu örgü yapısının, özellikle de bakır kompozit atkılarla örtülü yüzeyin dikey polarizasyonda gelen EM dalgaları karşılayarak zayıflattığı söylenebilir. Söz konusu kumaş çiftinde yatay polarizasyonda kumaş örgü yapısının EMSE'ye etkisi karşılaştırıldığında ise tüm ölçümlerde olduğu gibi her iki kumaşın da yatay polarizasyonda birbirine çok yakın EMSE değeri aldığı görülmüştür. Buna göre, örgü yapısının yatay polarizasyonda EMSE değeri üzerinde belirgin etkisinin olmadığı, kumaşların eşit olan çözgü sıklıkları bağlamında, birim alandaki bakır iplik kullanım oranı ve miktarının bu sonuçta etken olduğu anlaşılmaktadır.

Öneriler

Çalışma, 35 mikron paslanmaz çelik ve emaye kaplı bakır iletken filamentlerden üretilen iki farklı iletken kompozit iplik, bu ipliklerin çözgüde ve atkıda kullanılması ile üretilen farklı örgü yapısına sahip kumaşlar ve 10 MHz - 3 GHz frekans aralığında, yankısız oda yöntemine göre yatay ve dikey polarizasyonda yapılan ölçümlerle özgül niteliğe sahiptir. Araştırma kapsamında kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinlikleri geniş bir frekans aralığında, farklı iletkenlerle ve bilimsel yöntemlerle belirlendiğinden; üretimde, ürün geliştirmede ilgili sektöre ve daha ileri araştırmalarda araştırmacılara ışık tutması, orijinal veri sunması açısından önemli görülmektedir.

Bu bağlamda benzer çalışmaların planlanması, farklı iletken filamentler üzerinde incelemeler yapılması önemli görülmektedir. Bu çalışmayla etkisi belirlenen, 35 mikron incelikteki bakır filamentin örme kumaş yapılarında da araştırılması ile benzer hatta daha etkin sonuçlara ulaşılabilir. İletkenlik değeri açısından bakırdan sonra

geldiği bilinen, benzer çaptaki emaye alüminyum filament ile dokuma ya da örme kumaşlar üretilerek EMSE değerleri araştırılmalıdır.

Çelik ve bakır kompozit iplikli kumaşlarda belirli frekans aralıklarında gözlenen farklı davranışların, literatür bilgilerinden (Aran, 2008; Aydoğdu ve Aydınol, 2006; Koçak, 2006; Kurgan ve diğerleri, 2009) iletkenlerin mikro yapısına bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu yorumun, EM koruma amaçlı tekstillerde kullanılan iletken filamentlerin mikro yapılarını ayrıntılı olarak inceleyen kapsamlı araştırmalarla açıklanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili disiplinlerin bu konuda yapacakları araştırmalar faydalı olacaktır.

Çalışmada çelik ve bakır kompozit ipliklerin ve kumaşların üretimi aşamasında çeşitli sıkıntılarla karşılaşmıştır. Polyester ipliklerle kompozit iplik oluşturma aşamasında, paslanmaz çelik filamentlerin yüzeyindeki düzgünsüzlüklerden (çapak) kaynaklandığı düşünülen, metalin polyester ipliği tıraşlaması sonucunda üretilen kompozit ipliklerde hav oluşumu gözlenmiştir. İplikteki bu havlar da dokuma aşamasında tarağa takılarak yer yer kopuşlara neden olmuştur. Yalın haldeki bu tür tellerin, emaye kaplı bakır filamentteki gibi emaye ile kaplanması bu olumsuzluğa çözüm olabilir. Diğer yandan paslanmaz çelik ve bakır kompozit ipliklerin, iletken filament ve polyester iplik bileşenlerinin, çözgü hazırlama ve tahar aşamalarında yer yer birbirinden ayrıldığı görülmüştür. Dolayısıyla mukavemeti azalan kompozit ipliklerde, dokumaya hazırlık ve dokuma işlemi sırasında gerçekleşebilecek kopuşların önüne geçilmesi için, kompozit ipliğe iplik büküm aşamasında gerekli iyileştirmelerin yapılması önerilmektedir.

İletken kumaşların dokunma aşamasında, çerçeve hareketlerinin sürtünme etkisiyle bakır ve çelik kompozit ipliklerin kullanıldığı çözgülerde, kopmalar oluşmuştur. Dokuma makinesi devrinin ve iplik tansiyon ayarlarının düşük tutulması bir ölçüde bu duruma çözüm olabilmektedir. Bunun dışında, dokuma tarağından kaynaklanan kopuşların da olduğu, kopan iletken çözgülerin tarak dişine takılarak toplandığı, bunun tarak numarasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Dolayısıyla bu soruna önlem olarak benzer numaralardaki iplikler için 30 diş/cm yerine, 28 diş/cm tarak numarasının tercih edilmesi uygun olacaktır. Böylece çözgülerin taraktan sürtünmeden rahatça geçerek kopuşların önemli derecede azaltılabileceği düşünülmektedir.

Çözgü ipliğine ilişkin sorunlara kalıcı ve etkin çözüm, şüphesiz başlı başına bir araştırma konusudur. Bu bağlamda, iletken filamentli kompozit iplik üretimi konusunda yapılacak araştırma geliştirme çalışmaları, ilgili araştırmalara büyük katkı sağlayacaktır.

EM dalgalara karşı etkin kalkanlama sağlayabilmek amacıyla, dokuma kumaşın atkı ve çözgüsünün iletken ipliklerden oluşması, örgü yapısının EM dalgaların etkisini büyük ölçüde zayıflatacak şekilde sık yapıda, birim alandaki iletken miktarı fazla ve özellikle atkı takviyeli kumaşlarda iletken atkılarının yüzeyi kaplayacak şekilde tasarlanmasının yüksek EMSE değerlerinin elde edilmesi açısından faydalı olacağı öngörülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, iletken ipliklerle üretilen farklı kumaş yapılarının, EMSE özellikleri üzerinde etkili olduğu yönünde fikir verir niteliktedir. Bu konuda yapılacak kapsamlı çalışmalar, daha kuvvetli sonuçlara ulaştırması açısından faydalı olacaktır

Çalışmada günlük hayatta, genellikle ev içinde maruz kalınan frekans aralığı temel alınmıştır. EMSE özelliği açısından incelenen kumaşlar günlük hayatta pratikteki perde, hamile kıyafeti, bebek ve çocuklar için cebinlik, önlük, özellikle cep telefonunun muhafaza edildiği ceket ceplerinde, bedeni koruyucu astar, EM ve RF girişimlerine karşı güvenlik amaçlı askeri çadır, branda, uyku tulumu vb. uygulamalar için kullanılabilir özelliktedir. Frekans aralıklarına göre EMSE değeri yüksek bulunan kumaşlar üzerinde, ilgili sektör desteğinde yapılacak ar-ge çalışmalarıyla farklı ortamlara uygun birçok yeni ürün geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Akyaz, T. T. (2012). *Bazı ince film iletken polimerlerin bant aralıkları ve yüzey iletkenliklerinin incelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Aniolczyk, H., Koprowska, J., Mamrot, P., and Lichawska, J. (2004, October/December). Application of electroconductive textiles as electromagnetic shields in physiotherapy. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 12(48), 47-50.
- Aral, B. S. (2008). *900 MHz ve 1800 MHz radyo frekans radyasyonunun kan beyin bariyerine etkisi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aran, A. (2008). *MAL 201-Malzeme Bilgisi*. İstanbul: İTÜ Makine Fakültesi Yayını Bahar Ders Notları. Web: <http://web.itu.edu.tr/~arana/mal201.pdf> adresinden 5 Aralık 2012’de alınmıştır.
- Aydın, Z. (2007). *İletken poli(etilen teraftalat)/polipirol kompozit liflerinin kimyasal polimerizasyonla hazırlanması ve karakterizasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aydoğdu, G. H. ve Aydınol, M. K. (2006). Determination of susceptibility to intergranular corrosion and electrochemical reactivation behaviour of AISI 316L type stainless steel. *Corrosion Science*, 48 (2006) 3565–3583.
- Becerik, A. (2011). *Yüksek yapılarda elektrik mühendisliği - IX “Topraklama ve elektromanyetik uyum (EMC)”*. İzmir: EMO İzmir Şube Bülteni.
- Bedeloğlu, A. Ç., Sünter, N., ve Bozkurt, Y. (2010). Elektriksel olarak iletken tekstil yapıları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, (79), 7-17.
- Bentli, F. (2007). Evrensel Deha: MICHAEL FARADAY. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, (430), 147-150.
- Bilgin, S., Sarıtaş, Ö., Okyay, G. ve Örtlek H. (2011). Askeri ve kamu kuruluşlarına ait binaların tempest güvenliği için farklı yapıda dokuma kumaşların geliştirilmesi. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, (81), 1-6.

- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. (2012, 11 Eylül). Kısa mesafe erişimli telsiz (KET) cihazları hakkında yönetmelik. Ankara: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu. Web: <http://www.tk.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/dosyalar/KETCihazlariHkYonetmelik.pdf> adresinden 6 Şubat 2013'te alınmıştır.
- Bold, A., Toros, H., ve Şen O. (2003, 19-21 Mart). *Manyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkisi*. III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumunda sunuldu. İstanbul. Web: http://web.itu.edu.tr/~toros/yayinlar/manyetik_alanin_insan_sagligi_uzerine_etkisi.pdf adresinden 15 Aralık 2012'de alınmıştır.
- Bozoklu, M. (2007). *Holmiyum trioksit katkılanmış bizmut trioksit polimorflarının sentezlenmesi, karakterizasyonu ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Can, M. (2008). *Metal filament takviyeli çekirdek ipliklerden üretilmiş kumaşların mekanik ve elektromagnetik özelliklerinin incelenmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkun, E. (2007). *Akıllı tekstiller ve genel özellikleri*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çerezci, O. (2012). Elektromanyetik kirlilik ölçüm çalışmaları. A. Türkkan. (Editör). *Elektromanyetik alan ve sağlık etkileri*. Nilüfer/Bursa. F. Özsan Matbaacılık, ss. 10-43.
- Chen, H.C., Lee, K.C., and Lin, J.H. (2004, November). Electromagnetic and electrostatic shielding properties of co-weaving-knitting fabrics reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35, 1249-1256.
- Cheng, K. B. (2000, March). Production and electromagnetic shielding effectiveness of the knitted stainless steel/polyester fabrics. *Journal of Textile Engineering*, 46, 42-52.
- Cheng, K. B., Cheng, T. W., Lee, K. C., Ueng, T. H. and Hsing, W. H. (2003, October). Effects of yarn constitutions and fabric specifications on electrical properties of hybrid woven fabrics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34(10), 971-978.
- Cheng, K. B., Cheng, T. W., Nadaraj, R. N., GiriDev V. R. and Neelakandan, R. (2006, May). Electromagnetic shielding effectiveness of the twill copper woven fabrics. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(7), 699-709.
- Çınar, K. (2006). Elektromanyetik alan. *Bilim ve Teknik Dergisi*. 39(465), 80-81.

- Dağ, N. (2010). *İletken tekstil yüzeylerinde elektromanyetik kalkanlama özelliğinin araştırılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale.
- Dinçer, H. (2000). Elektromanyetik ışınımların insan sağlığına etkisi. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, (406), 22-30.
- Dinçer, H. (2009). Elektriksel alanlar ve canlılara etkileri. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, (435), 45-51.
- Dural, G. (2008). *EMC/EMI*. Ankara: ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü (EEMB). Web: <http://tr.scribd.com/doc/77264906/Emc> adresinden 22 Aralık 2012'de alınmıştır.
- Duran, D. (2011). *Tekstillerin elektromanyetik korumada kullanılabilirliği üzerine bir araştırma*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Elektrik Mühendisleri Odası (EMO Komisyonu), (2010). *Elektromanyetik alanların etkileri*. İzmir: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.
- Elektrik Mühendisleri Odası, (2012). *Cep telefonları ve baz istasyonları merak edilen sorular ve yanıtları*. Ankara: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayını.
- Elhasoğlu, D. (2006). *Elektromanyetik kirliliğin zararlı etkileri*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Emek, A. (2004). *Teknik tekstiller dünya pazarı, türkiye'nin üretim ve ihraç imkânları*. Ankara: T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracat Geliştirme Etüd Merkezi Yayını.
- Erkan, G., Erdoğan, Ü. H., ve Kayacan, O. (2005, 11-12 Kasım). *Tekstil sektöründe nano-teknoloji uygulamaları*. Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makineleri Kongresinde sunuldu. Gaziantep.
- Ermol, C. (2008). *900 ve 1800 MHz mobil telefonların oluşturduğu elektromanyetik alanın tendon iyileşmesine etkisi: Ratlarda deneysel çalışma*, Uzmanlık Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Isparta.
- Erol, Y. (2005). Cep telefonu dedektörü. *Bilim ve Teknik Dergisi*, (455), 98-99.

- Fırlarer, A. (2011, 7-8 Ekim). *İşyerinde farkında olmadığımız bir risk: Elektromanyetik alan maruziyeti*. Çevre ve Halk Sağlığı İçin Emanet, Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.
- Gazi Non-İyonizan Radyasyon Korunma Merkezi (GNRK). (2012a). *Üçüncü nesil (3N,3G) elektromanyetik kirlilik ve sağlığımız, basın açıklaması*. Ankara: Gazi Üniversitesi. Web: <http://www.cekod.org/images/GNRK.pdf> adresinden 29 Ocak 2013'te alınmıştır.
- Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK). (2012b). *Elektromanyetik (EM) kirlilik – Tablet kullanımı ve çocuklarımız*. Ankara: Gazi Üniversitesi. Web:<http://gnrk.gazi.edu.tr/posts/view/title/tablet-bilgisayarlar-zararli-mi%3F-34504> adresinden 18 Ocak 2013'te alınmıştır.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1994). *Elektromanyetik radyasyon*. (1. basım). Ankara: Aydoğdu Ofset, *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, No: 32.
- Güler, İ., Çetin, T., Özdemir, A. R. ve Uçar, N. (2010). *Türkiye elektromanyetik alan maruziyet raporu*. Ankara: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı Raporu, Web: http://www.tk.gov.tr/tuketici/emd/Turkiye_EMF_Raporu.pdf adresinden 18 Mart 2013'te alınmıştır.
- Gülsoy, E. (2010). *Teknik tekstiller*. Ankara: Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi (İGEME) Yayını.
- Horacio V., Laura E., Karen L., Heinrich F.(IEEE Member)., and Shuying Y. (2009). Simple device for electromagnetic interference shielding effectiveness measurement. *IEEE National Standards Institute*, pp.62-68. Web: <http://ebooks6.com/Simple-Device-for-Electromagnetic-Interference-emcsNLwinter09-download-w66600.pdf> adresinden 15 Şubat 2013'te alınmıştır.
- IEEE-STD-299, (2006). (Revision of IEEE Std 299-1997). IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures. *IEEE National Standards Institute*. Web: <http://tr.scribd.com/doc/71142604/299-06-SE-of-EM-Shielding-Enclosure> adresinden 19 Şubat 2013'de alınmıştır.
- İletken gümüş filamentlerle üretilmiş akıllı tekstiller. (2008). *Maraton Dergisi*, (5). Web: http://www.tumateks.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1111&Itemid=32 adresinden 12 Aralık 2012'de alınmıştır.
- İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri (İTKİB). (2005). *Teknik tekstiller üzerine genel ve güncel bilgiler*. İstanbul: İTKİB Genel Sekreterliği Ar-Ge ve Mevzuat Şubesi Yayını.

- Kadoğlu, H. ve Duran, D. (2012). İletken iplikler ve kullanım alanları. *TSE Standard ve Ekonomik Teknik Dergisi*, (602), 24-31.
- Kalenderli, Ö. (2005, 22-25 Aralık). *50 hertz frekanslı elektromanyetik alanların etkileri*. Euroasia Electrix 2005 Fuarı, Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Seminerinde sunuldu, İzmir.
- Kalkan, H., ve Aslantürk A. (2007). Elektromanyetik spektrum. Web: http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.pdf adresinden 10 Ocak 2013'te alınmıştır.
- Kanık, M. (2012). Koruyucu teknik tekstiller. Y. Ulcay, Ş. Teke ve G. Sezen (Editörler). *Teknik Tekstil 2011 Frankfurt Fuarı Teknolojik Değerlendirme Raporu*. Uludağ Tekstil İhracatçıları Birlikleri, BUTEKOM. Nilüfer/Bursa. Akmat Akınoğlu Matbaacılık, ss. 50-63.
- Kılıç, G., Örtlek, H. G., ve Saraçoğlu, Ö. G. (2008). Elektromanyetik çevre kirliliği ve bu kirlilikten korunmada tekstil çözümleri. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, (67), 23-35.
- Kılıç, G., Örtlek, H. G., ve Saraçoğlu, Ö. G. (2009). Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstillerin Ekranlama Etkinliği (SE) Ölçüm Yöntemleri. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, (72), 7-15.
- Kılıç, G. (2010). *Elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte antistatik örme kumaşların üretimi için farklı kompozit ipliklerin geliştirilmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kılıç, B. (2010). Elektromanyetik test alt yapıları ve montaj yöntemleri. *UEKAE Dergisi* 2(3), 48-58.
- Kittel, C. (1996). *Katı hal fiziğine giriş* (Çev. B. Karaoğlu). İstanbul: Bilgi Tek Yayıncılık (Eserin orjinali 1971'de yayımlandı).
- Koçak, H. (2006). *Bakır alaşımları el kitabı* (3. basım). Kocaeli: Ofset Matbaacılık, Sağlam Metal San. Tic. A.Ş. Yayın No: 6. Web: <http://www.saglammetal.com/bakir-alasimlari-el-kitabi-iii-baski/> adresinden 9 Kasım 2012'de alınmıştır.
- Kurgan, N., Ünlü, B. S., Yılmaz, S. S. ve Varol, R. (2009, 13-15 Mayıs). *SAE 316L T/M paslanmaz çelik malzemelerin mikroyapı özellikleri*. 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumunda (IATS'09) sunuldu, Karabük.
- Kurtuluş, S. (2012). *Büküm-hava tekstüre işletmesinde üretilen ürünler*. Bursa: Korteks İplik A.Ş. Satış Bölümü Eğitim Notları.

- Mühl, T. and Obolenski, B. (May, 2004). Woven fabric offering electromagnetic shielding. *Melliand (English) Textilberichte*, 85(5), 348-349.
- Okyay, G., Bilgin, S., Akgül, E., ve Örtlek H. G. (2011). Farklı yapılarıdaki dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama özelliklerinin incelenmesi. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, 1-10.
- Orhun, Ö. ve Tanışlı, M. (1998). Elektromanyetik dalgalar. K. Özdaş (Editör). *Fizik*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi İlköğretim Öğretmenliği Açık Öğretim Fakültesi, Lisans Tamamlama Programı, ss. 177-194. Web: <http://w2.anadolu.edu.tr/aos/kitap/IOLTP/2279/unite11.pdf> adresinden 13 Ocak 2013'te alınmıştır.
- Özdemir, H. ve Özkurt, A. (2013). Örgünün ve iletken atkı sıklığının hücreli örgülü kumaşların elektromanyetik kalkanlama etkinliğine etkisi. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 23(2), 124-135.
- Özen, Ş., Tosun, P. D., ve Helhel, S. (2011, 7-8 Ekim). *Acil çağrı merkezlerinde elektromanyetik alan seviyeleri ve mesleki maruz kalmanın değerlendirilmesi*. Çevre ve Halk Sağlığı İçin Emanet, Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.
- Pala, K. ve Türkkan, A. (2009). Çok düşük frekanslı elektromanyetik radyasyon ve sağlık etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 11-22.
- Palamutçu, S. ve Dağ, N. (2009). Fonksiyonel tekstiller I: Elektromanyetik kalkanlama amaçlı tekstil yüzeyleri. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 87-101.
- Paul, C. R. (2006). *Introduction to electromagnetic compatibility* (2. edition).
- Perumalraj, R., and Dasaradan, B. S. (2009, June). Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34(2), 149-154.
- Perumalraj, R., Dasaradan, B.S., Anbarasu, R., Arokiaraj, P., and Leo Harish, S. (2009, August). Electromagnetic shielding effectiveness of copper core-woven fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 100(6), 512-524.
- Porto Alegre Bildirgesi. (Mayıs, 2009). Web: http://www.icems.eu/docs/resolutions/Porto_Alegre_Turkish.pdf adresinden 2 Ocak 2012'de alınmıştır.
- Ramachandran, T. and Vigneswaran, C. (2009, July). Design and development of copper core conductive fabrics for smart textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 39(1), 81-93.

Saçak M. (2004). *Polimer kimyası* (3. basım). Ankara: Gazi Kitabevi.

Sevgi, L. (2000). Cep telefonları ve baz istasyonları tartışmaları üzerine. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Araştırmaları Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/EMC_YAZI/cbt4.pdf adresinden 15 Ocak 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2002). Elektromanyetik uyumluluk. Doğu Üniversitesi, Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü. Web: http://www.etmd.org.tr/teknikkutuphane/ls_emc1.pdf adresinden 3 Ocak 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2003). Elektromanyetik girişim kaynakları – Elektrik ve manyetik dipoller. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Aral%C4%B1k2003.pdf adresinden 18 Şubat 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2004a). Elektromanyetik uyumluluk Test/ölçüleri – I: Tanımlar, kavramlar. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Subat2004.pdf adresinden 3 Ocak 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2004b). Haberleşme sistemleri ve elektromanyetik dalga yayılımı. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Agustos04.pdf adresinden 18 Şubat 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2004c). EMC ve korunma yöntemleri (I) Ekranlama. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Eylul04.pdf adresinden 3 Ocak 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2004d). Cep telefonları ve baz istasyonları ekseninde elektromanyetik kirlilik tartışmaları ve sağlığımız. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_May%C4%B1s04.pdf adresinden 3 Ocak 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2004e). EMC ve korunma yöntemleri: (IV) Kablo ve konnektörler. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Aral%C4%B1k04.pdf adresinden 10 Şubat 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2005a). Çevremizdeki elektrik ve manyetik alanlar. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/EO_Subat05.pdf adresinden 18 Şubat 2013'te alınmıştır.

Sevgi, L. (2005b). EMC ve antenler: I- Tanımlar. *Endüstriyel & Otomasyon Dergisi*. Web: http://www3.dogus.edu.tr/lsevgi/LSevgi/E&O/LS_Agu05.pdf adresinden 27 Şubat 2013'te alınmıştır.

- Seyhan, N. (1999, 11 Kasım). *Elektromanyetik kirlilik ve etkileri, korunma yöntemleri, WHO uluslararası elektromanyetik alan projesi, ulusal ve uluslararası politikalar*. Bilişim oplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu Açılış Konuşmasında sunuldu, Ankara. Web: <http://www.cekod.org/images/konusma.pdf> adresinden 4 Şubat 2013'te alınmıştır.
- Seyhan, N., Sırav, B., ve Fırlarer, A. (2010). *Elektromanyetik alanlar, biyolojik etkileri ve korunma yöntemleri*. Ankara: Gazi Biyofizik ve GNRK Raporu.
- Sıgnak, N. (2008). *Metal filament içeren ipliklerden dokunmuş kumaşların performans özelliklerinin incelenmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Smith W. F. (2001). *Malzeme bilimi ve mühendisliği* (3. basım). (Çev. N. G. Kınkoğlu). İstanbul: Literatür Yayıncılık. (Eserin orijinali 1983'de yayımlandı).
- Sobacı, A. (2012). *Spektrumun etkin kullanılması amacıyla 450 – 470 MHz frekans bandında yapılan düzenlemeler ve düzenlemelerin marmara bölgesine etkisi ve öneriler*, Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, İstanbul.
- Sorgucu, U. (2011). *Erciyes üniversitesi kampüsünde GSM 900 ve GSM 1800 şebekelerinin oluşturduğu elektromanyetik kirliliğin ölçülmesi ve değerlendirilmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Soyaslan, D. D. (2009). *Elektromanyetik koruma etkinliğine sahip atkılı örme kumaş ve kompozitlerinin geliştirilmesi*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Su, C. I. and Chern, J. T. (2004, January). Effect of stainless steel containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness. *Textile Research Journal*, 74(1), 51-54.
- Sünter, N. (2011). *İletken ipliklerin üretim yöntemlerinin ve özelliklerinin irdelenmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Şeker, S. (2000). Elektromanyetik kirlenme, etkileri ve güvenlik önlemleri. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, (406). 14-21.
- Şeker, S. ve Çerezci, O. (2000). *Radyasyon kuşatması, elektriğin ve nükleer enerjinin sağlığınıza etkileri* (1. basım). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Şeker, S. ve Korkut, A. (2005). *Tehlikeli oyuncak* (1. basım). İstanbul: Hayy kitap, Kaya Matbaacılık.

- TS 251, (1991). Dokunmuş Kumaşlar - Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini. *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 50147-1, (2005). Yankısız Odalar - Bölüm 1: Ekran Zayıflatmasının Ölçülmesi. *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- Tübitak-Bilten, (2001). *Elektromanyetik dalgalar ve insan sağlığı, sıkça sorulan sorular ve yanıtları*. Web: <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf> adresinden 28 Aralık 2012'de alınmıştır.
- Türkkan, A. ve Pala, K. (2012). Elektromanyetik kirlilik ve sağlık etkileri. A. Türkkan (Editör). *Elektromanyetik alan ve sağlık etkileri*. Nilüfer/Bursa: F. Özsan Matbaacılık, ss. 106-117.
- Ueng, T. H. and Cheng, K. B. (2001). The leakage power density and electromagnetic shielding effectiveness of conductive woven fabrics. *Journal of Textile Engineering*, 47(3-4), 70-76.
- Uluaydın, N. K. ve Şeker, S. (2011, 7-8 Ekim). *Elektromanyetik alanlardan korunma ve kalkanlama uygulamaları*. Çevre ve Halk Sağlığı İçin Emanet, Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.
- Wieckowski, T. W. and Janukiewicz, J. M. (2006). Methods for evaluating the shielding effectiveness of textiles. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 14(5), 18-22.
- Yağmur, F., Bozbıyık, A., ve Hancı, İ. H. (2003). Elektromanyetik dalgaların insan biyokimyası üzerine etkileri. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi (Sted)*, 12(8), 296-298.
- Yalçınkaya, B. ve Yılmaz, D. (2011). Elektronik tekstillerin, tekstil endüstrisindeki yeri ve giyilebilir tekstilde kullanılan iletken lifler. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 61-71.
- Yaman, E. (2011). *Hastane ortamında elektromanyetik alan etkilerinin ölçüm yoluyla belirlenmesi ve değerlendirilmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yavuz, H. (1988). Tarih boyunca elektriğin öncüleri. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, (354), 238-240.
- Yeşil, A. (1995). *Soğuk plazmanın elektromanyetik dalganın yayılması üzerine etkisi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.