EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

BAKIR FİLAMENTLERİN ELEKTROMANYETİK KORUYUCU TEKSTİLLERDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İrem YEŞİLDAĞ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin KADOĞLU

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 25.12.2017

Bornova-İZMİR
2017

İrem YEŞİLDAĞ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan "Bakır Filamentlerin Elektromanyetik Koruyucu Tekstillerde Kullanılabilirliğinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 25.12.2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:		**İmza**
Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Mustafa Erdem Ürsayen	
Raporter Üye	: Doç. Dr. Deniz Duran	
Üye	: Prof. Dr. Hüseyin Kadoğlu	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Bakır Filamentlerin Elektromanyetik Koruyucu Tekstillerde Kullanılabilirliğinin Araştırılması" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

25 / 12 / 2017

İrem YEŞİLDAĞ

BAKIR FİLAMENTLERİN ELEKTROMANYETİK KORUYUCU TEKSTİLLERDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YEŞİLDAĞ, İrem

Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin KADOĞLU
Aralık 2017, 79sayfa

Teknolojinin gelişmesi ile elektrikli ve elektronik cihazlar, sağladıkları sayısız kolaylık ile hayatımızın vazgeçilmez öğeleri haline gelmiştir. Fakat bu cihazların kullanımı, hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte çevre kirliliği problemini de beraberinde getirir. Çünkü elektrikli ve elektronik cihazlar çalışırken çevrelerine elektromanyetik radyasyon yayarlar. Elektromanyetik dalgaların hem insan sağlığı hem hassas elektrikli ve elektronik cihazlar üzerinde zararlı etkilerinin olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada, elektromanyetik dalgalara karşı koruma sağlayabilecek tekstil materyalleri geliştirilip, çeşitli kullanım alanları araştırılmıştır. Bu amaçla, öz kısmında bakır tel, manto kısmında pamuk lifleri kullanılarak, ring iplik makinesinde özlü iplik üretimi yapılmıştır. Öz materyali olarak iki farklı çap kalınlığında (0,05 ve 0,07 mm) bakır tel kullanılmıştır. Tüm özlü iplikler Ne 8 numara olarak üretilmiştir. Üretilen iletken özlü iplikler 3/1 dimi dokuma kumaş yapısında atkı ipliği olarak 5 farklı sıklıkta (8, 13, 18, 23 ve 28 atkı/cm) kumaşa entegre edilmiştir. Öz inceliği, atkı sıklığı, frekans, kumaş kalınlığı, gramaj ve hava geçirgenliğinin kumaşların ekranlama etkinliği üzerine etkileri araştırılmıştır.

Ekranlama etkinliği ölçümleri TS EN 50147-1 standardına göre, 1GHz-6GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, gerekli Excel tabloları, grafikleri ve SPSS istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Elektromanyetik koruyucu tekstiller, elektromanyetik ekranlama etkinliği, bakır özlü iplik.

ABSTRACT

RESEARCHING OF COPPER FILAMENTS AVAILABILITIES ON ELECTROMAGNETIC SHIELDING TEXTILES

YEŞİLDAĞ, İrem

MSc in Textile Eng.
Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin KADOĞLU
December 2017,79 pages

With technological progress, electrical and electronic devices become irreplaceable items of our life with numerous facilities they provide. Usage of these devices, both facilitate our life and bring along environmental pollution. Because, while they are working, they emit electromagnetic waves to their surroundings. Electromagnetic waves are known to have harmful effects for both sensitive electronic equipment and also for human health.

In this work, textile materials were developed so as to protect from electromagnetic waves and their usage areas were investigated. For this purpose, Cu/Co core yarns were produced by using copper filaments as core material and cotton as sheath material. Production of the yarns was carried out on a ring spinning frame. Copper monofilaments of 0.05 mm and 0.07 mm were used as core materials. All core yarns are produced with Ne 8 yarn count. Conductive Cu/Co yarns were integrated in to the 3/1 twill woven fabric structure in the weft direction with 5 different weft densities (8, 13, 18, 23 and 28 per cm). The effects of fineness of the core filament, weft density, wave frequency, thickness, basis weight and air permability on the electromagnetic shielding effectiveness of fabrics were investigated.

According to the TS EN 50147-1 standard, the shielding effectiveness of these fabrics was measured in the frequency range 1GHz – 6GHz. The results were analyzed by using Excel tables, diagrams and SPSS statistic software.

Keywords: Electromagnetic protective textiles, electromagnetic shielding effectiveness, copper core yarn.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçilmesinde ve yürütülmesinde yol gösteren çok değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin KADOĞLU'na, tezin düzenlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında her türlü desteği ve akademik katkılarıyla Doç. Dr. Deniz DURAN'a, katkı ve desteklerinden dolayı Doç. Dr. Tuba BEDEZ ÜTE ve Araş. Gör. Bünyamin ÜZÜMCÜ'ye, üretimin gerçekleştirilmesi sırasında yardımcı olan Sn. Zeki YİĞEN ve Sn. Arif. ER'e ve Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma ve çalışanlara teşekkür ederim.

Bu süreçte benden maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR .....Xİ

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... XVİİ

ÇİZELGELER DİZİNİ XX

1. GİRİŞ 1

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3

3. ELEKTROMANYETİK ALANLAR.....13

3.1. Elektromanyetik Dalgalar 13

3.2. Elektromanyetik Spektrum 14

3.3. Elektromanyetik Kirlilik 18

3.4. Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkileri ve BEM (Bio Electro Magnetic) 19

3.5. Elektromanyetik Dalgaların Elektrikli ve Elektronik Cihazlar Üzerindeki Etkileri ve EMC (Electromagnetic Compability) 22

4. ELEKTROMANYETİK DALGALARDAN KORUNMA 24

4.1. Elektromanyetik Ekranlama 24

4.2. Ekranlama Etkinliği 26

4.3. Elektromanyetik Ekranlama Mekanizması 27

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4. Elektromanyetik Ekranlama Etkinliğini Değerlendirmede Kullanılan Ölçüm Yöntemleri ve Standartlar 30

4.5. Elektromanyetik Ekranlamada Kullanılan Malzemeler 34

4.5.1. Elektriksel olarak iletken kompozit malzemeler 37

4.5.2. İletken maddelerle yapılan kaplama ve bitim işlemleri 38

4.5.3. Yapıda iletken malzemelerin kullanılması 39

4.6. Elektromanyetik Koruyuculuk Sağlayan Tekstil Malzemelerinin Kullanım Alanları 41

5. MATERYAL VE METOT 43

5.1. Materyal 43

5.2. Deneysel Çalışma 43

5.2.1. İplik üretimi 44

5.2.2. Kumaş üretimi 46

5.3. Hammadde Özelliklerinin Belirlenmesi 48

5.4. İplik Özelliklerinin Belirlenmesi 48

5.4.1. İplik numarası ölçümü 49

5.5. Kumaş Özelliklerinin Belirlenmesi 49

5.5.1. Hava geçirgenliği ölçümü 49

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.5.2. Kumaş gramajı ölçümü 50

5.5.3. Kumaş kalınlığı ölçümü 51

5.5.4. Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümü 51

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 57

6.1. Kalınlık Testi Sonuçları 57

6.2. Gramaj Testi Sonuçları 58

6.3. Hava Geçirgenliği Test Sonuçları 58

6.4. Ekranlama Etkinliği Test Sonuçları 59

6.4.1. Frekansın ekranlama etkinliğine etkisi 59

6.4.2. Öz İnceliğinin ekranlama etkinliğine etkisi 63

6.4.3. Atkı sıklığının ekranlama etkinliğine etkisi 65

6.4.4. Hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliğine etkisi 66

6.4.5. Kumaş kalınlığının ekranlama etkinliğine etkisi 68

6.4.6. Gramajın ekranlama etkinliğine etkisi 70

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER 71

KAYNAKLAR DİZİNİ 75

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sayfa

2.1.Dokuma- örme kumaş yapısı. 4

3.1. Dalga yapısı ve bileşenleri……..……14

3.2. Elektromanyetik spektrum.....16

4.1. İletken bir bariyere gönderilen düzlemsel dalganın durumu……..28

4.2. Modifiye edilmiş Mil-Std-285 standardında tanımlanan ölçüm metodu.....31

4.3. ASTM D 4935- 99 standardında tanımlanan ölçüm metodunun şematik gösterimi. 33

4.4. TS EN 50147-1 standardına göre manyetik alan (elektrik alanı) ölçmesi için deney düzeneği. 34

4.5. Metal içerikli iplik yapıları 41

5.1. Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesi……...……...44

5.2. Özlü iplik üretiminde çekim bölgesi ve özlü iplik aparatı.....45

5.3. Özlü iplik aparatı ve özlü iplik görüntüsü 45

5.4. Sulzer Ruti D1 mekikçikli dokuma makinesi.....48

5.5. Hava geçirgenliği ölçümü.....49

5.6. Gramaj şablonu ve numuneler.....50

5.7. Kumaş gramaj ölçümü.....50

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Şekil Sayfa

5.8. SDL Atlas Digital Thickness Gauge cihazı 51

5.9. Ekranlı odalar, güç yükseltici, spektrum analizör ve sinyal jeneratörü 52

5.10. Verici antenin bulunduğu odanın iç duvarları, piramitler.....53

5.11. Verici anten.....53

5.12. Alıcı anten ve boşluğa takılı numune.....54

5.13. Ekranlama etkinliği ölçümü için hazırlanmış 30cm*30cm boyutunda numune 5.18.....55

6.1. Numunelerin kumaş kalınlığı test sonuçları…….....57

6.2. Numunelerin kumaş gramajı test sonuçları.....58

6.3. Numunelerin hava geçirgenliği test sonuçları.....59

6.4. Numunelerin ekranlama etkinliği test sonuçları 61

6.5. Numunelerin ekranlama etkinliği test sonuçları – devamı.....62

6.6. Numunelerin ortalama EMSE değerleri.....64

6.7. 0,05 ve 0,07 mm çaplı bakır özlü numunelerin ortalama EMSE değerleri.....65

6.8. Hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliğine etkisi.....67

6.9. Kalınlığın ekranlama etkinliğine etkisi 69

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Şekil Sayfa

6.10. Gramajın ekranlama etkinliğine etkisi 70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

2.1. Kumaş numunelerinin özellikleri.....9

3.1. Elektromanyetik frekans aralıkları…….....15

3.2. Bazı elektrikli ev aletlerinin sebep oldukları elektrik alan şiddetleri.....19

4.1. Elektromanyetik koruma etkinliği……...24

4.2. Piyasada bulunan bazı iletken tekstil malzemelerinin ekranlama etkinlikleri. 36

5.1. Özlü ipliklerin üretiminde kullanılan öz ve fitil incelikleri…….....43

5.2. Özlü ipliklerin iplik makinesindeki çalışma şartları 46

5.3. Çalışmada üretilen dokuma kumaşlara ait deney planı.....47

5.4. Dokuma makinesi çalışma şartları 48

5.5. Kumaş numunelerinin öz inceliği ve atkı sıklığına göre kodlamaları 56

6.1. Kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları……60

6.2. Frekans için tek yönlü varyans analizi sonuçları 62

6.3. Frekans'ın EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları.....63

6.4. Öz inceliği için eşleştirmeli T testi sonuçları.....64

6.5. Atkı sıklığı için tek yönlü varyans analizi sonuçları.....65

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge Sayfa

6.6. Atkı sıklığının EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları 66

6.7. Hava geçirgenliği için tek yönlü varyans analizi sonuçları 67

6.8. Hava geçirgenliğinin EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları 68

6.9. Kalınlık için tek yönlü varyans analizi sonuçları 69

6.10. Kalınlığın EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları 69

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile elektrikli ve elektronik cihazların sosyal yaşamdaki yeri ve önemi sürekli artmaktadır. Televizyonlar, bilgisayarlar, cep telefonları ve daha birçok elektrikli ve elektronik cihaz hayatımızın vazgeçilmez öğeleri haline gelmişlerdir. Özellikle cep telefonu uygulamalarındaki gelişmeler, bu cihazların hayatımızın her alanına girmesini sağlamaktadır. Fakat bu cihazların kullanımı hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte bir takım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Çünkü elektrikli ve elektronik cihazlar çalışırken etrafına elektromanyetik dalgalar yayarlar. Elektromanyetik dalgaların hem hassas elektronik cihazlar üzerinde hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir (Türksoy vd., 2015).

Elektrikli ve elektronik cihazlar çalışırken yaydıkları elektromanyetik dalgalardan oluşan elektromanyetik alan yüzünden birbirleriyle etkileşime girebilirler. Bu etkileşim belirli bir limiti aştığında hassas elektronik cihazların yanlış çalışmasına sebep olabilir (Duran and Kadoğlu, 2012). Örneğin; yüksek gerilim hatları yakınından geçen helikopterin kontrolünü kaybederek düşmesi, güçlü radar sinyallerinin olduğu havaalanı yakınlarında elektronik kumandalı ateşleme sistemine sahip otomobillerin çalışmaması ya da kilitlenmesi gibi (Okyay vd., 2011).

İnsan sağlığına etkisi açısından ise durum daha ciddidir. Eğer bir elektromanyetik dalga bir organizmaya girerse, ısı yaymak için moleküllerin titreşmesine, yani normal görevlerini yerine getirememesine neden olur. Aynı şekilde, eğer elektromanyetik dalga insan vücuduna girerse, DNA ve RNA'nın hücre yenilenmesini engelleyebilmektedir. Dahası, anormal kimyasal aktivitelerle kanser hücresi üretimine ve lösemi ve diğer kanser risklerinin artmasına sebep olabilmektedir (Su and Chern, 2004).

Bu sebeplerden dolayı, hem cihazların birbirleriyle uyum içinde çalışmaları sağlanmalı, hem de elektromanyetik dalgaların insanlar üzerindeki etkileri engellenmeye çalışılmalıdır.

Elektromanyetik radyasyondan korunmanın en basit ve etkili yolu radyasyon kaynağından uzak durmaktır. Fakat bu her zaman mümkün olamamaktadır. Bu yüzden farklı korunma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en etkili ve en çok kullanılanı ekranlama (kalkanlama) dır (Kılıç vd., 2015). Elektromanyetik ekranlama; insanları ve cihazları etkileyen elektromanyetik radyasyonun iletiminin bir materyal ile azaltılması/ engellenmesi işlemidir (Ramakrishna et al., 2001).

Bu tezde, insanların elektromanyetik radyasyonun etkilerinden korunabilmesi amaçlanarak, iletken kumaş üretimi yapılmıştır. Bakır filamentler kullanılarak özlü iplikler üretilmiş ve daha sonra 3/1 dimi yapısında farklı sıklıklarda dokunarak kumaş haline getirilmiştir. Özde kullanılan bakır filamentin kalınlığı, atkı sıklığı ve dalga frekansı gibi parametrelerin elektromanyetik ekranlama etkinliğine etkileri araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

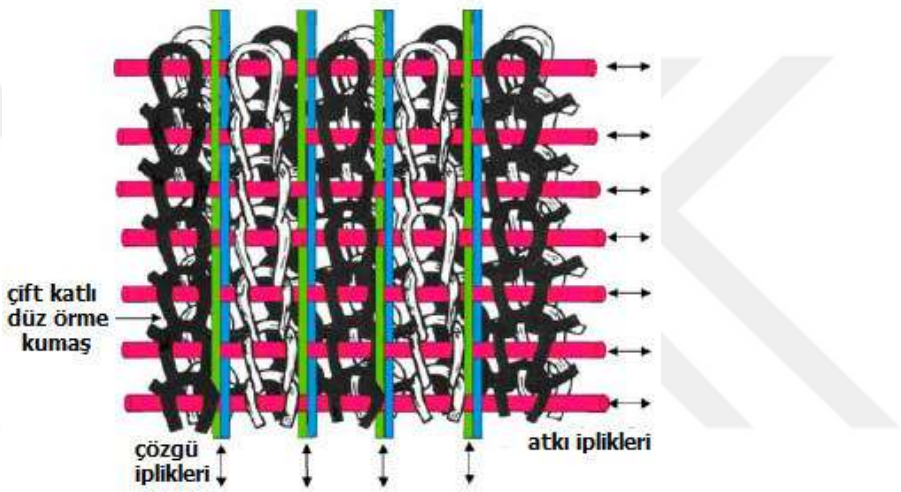
Birçok araştırmacı, canlıların elektromanyetik radyasyondan korunması gerektiğinin bilinciyle, klasik kalkanlama malzemeleri yerine daha hafif, esnek ve daha düşük maliyetli tekstil malzemelerinin kullanıldığı elektromanyetik koruyucu tekstiller konusunda araştırmalar yapmıştır.

Ramakrishna ve arkadaşları (2001), paslanmaz çelik/ poliester ipliklerden üretilen dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama uygulamalarının geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Paslanmaz çelik telin eğrilebilmesi ve malzeme giderlerinin azaltılması için paslanmaz çelik tel ve stapel poliester lifler Ring iplik makinesinde eğrilmiştir. Daha sonra bu iplikler kullanılarak farklı yapılarda dokuma kumaşlar üretilmiştir. Koaksiyel iletim hattı kullanarak, 300 kHz – 3 GHz frekans aralığında kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinliği değerleri saptanmıştır. Elektromanyetik ekranlama etkinliğinin kumaş yapısı, katman sayısı ve paslanmaz çelik ile poliesterin iplikteki karışım oranına göre varyasyonları açıklanmıştır. Üretilen tekstil materyallerinin evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazların oluşturduğu elektromanyetik alana karşı korunmada kullanılabileceği belirtilmiştir (Ramakrishna et al., 2001).

Su ve Chern (2004) çalışmalarında elektromanyetik koruyuculuk sağlamada paslanmaz çelik içerikli hibrid iplikler kullanmışlardır. Bu ipliklerin hem atkıda hem çözgüde ya da sadece atkıda kullanılmasıyla, çözgü sıklığı sabit tutularak yapısı, gözenek boyutları ve paslanmaz çelik içerikleri farklı olan bezayağı ve dimi dokuma kumaşlar üretilmiştir. Kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümleri ASTM D4935 standardına göre 9 kHz- 3 GHz frekans aralığında, bir koaksiyel iletim hattı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları ölçümler sonucunda, daha yoğun kumaş yapılarının ve kaplama veya katlı iplik kullanımına nazaran özlü iplik kullanımının daha yüksek elektromanyetik ekranlama etkinliği sağladığına ulaşmışlardır. Dokuma türünün etkisine dair analizler, bezayağının diğer dokuma türlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Su and Chern, 2004).

Chen ve arkadaşları (2004), bakır ve paslanmaz çelik liflerini yapıda kullanarak iletken hibrid iplikler üretip, bu ipliklerle ürettikleri kumaşları, kompozit takviyesinde kullanmışlardır. Daha sonra bu kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliği, yüzey direnci ve elektrostatik deşarj zayıflatma yüzdesi özelliklerini incelemişlerdir. Kumaşları, dokuma ve örme kumaş üretim prensiplerini birleştiren ve "co-weaving-knitting" olarak isimlendirdikleri farklı bir yöntemden yararlanarak üretmişlerdir.

Dokuma-örme kumaş yapısı şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. 1. Dokuma- örme kumaş yapısı (Duran, 2011).

Çalışmada, paslanmaz çelik/polipropilen, bakır/polipropilen ve bakır/paslanmaz çelik/polipropilen hibrid iplikleri üretilmiştir. İpliklerin bir grubunun üretilmesinde poliamid lifleri öz olarak kullanılıp etrafları paslanmaz çelik tel ile sarılmıştır. Diğer grup ipliklerin üretiminde, poliamid liflerinin etrafı bakır tel ile sarılmıştır. Üretilen iplikler arasında, poliamid ile bakırın özde kullanılıp, etrafının paslanmaz çelik tel ile sarıldığı hibrid iplikler de vardır. Daha sonra bu hibrid iplikler örme kumaşın üretiminde kullanılmıştır. Atkı ipliğinin üretimi ise nonwoven kumaş kenarının öz olarak kullanılarak üzerine iletken filament sarılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümleri ASTM D4935-99 standardına göre, koaksiyel iletim hattı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, paslanmaz çelik ve bakır gibi sert malzemelerin ve nonwoven kenarların iletken hibrid iplik yapısı oluşturularak örülebileceğini göstermiştir. Sonuçlara göre, tek kat olarak kullanılan kompozitlerle, 2 katlılara göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bakırın iletkenliğinin paslanmaz çeliğe göre daha yüksek olması nedeniyle, tek kat olarak kullanılan kompozitlerden bakır içerikli olanlar, çelik içerikli olanlara göre daha iyi sonuç vermiştir. Atkısında hem bakırlı hem de paslanmaz çelikli iplik bulunduran kompozitler, yalnızca bakır ve yalnızca paslanmaz çelikle üretilenlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi, iletken ağların güçlendirilerek iletkenliğin arttırılmış olmasıdır (Chen et al., 2004).

Cheng ve arkadaşları (2006) bakır içerikli 3/1 dimi kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinliğini incelemişlerdir. Atkı sıklığı, çözgü sıklığı, filamentin çapı, kumaş katmanlarının sayısı ve serilme açısının elektromanyetik ekranlama etkinliğine etkisini araştırmışlardır. Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümleri bir koaksiyel iletim hattı kullanılarak 144- 3000 MHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Atkı sıklığı, çözgü sıklığı ve iletken kumaş katmanı sayısı arttıkça ekranlama etkinliğinin de arttığı fakat bakır filament çapının artmasıyla, ekranlama etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir (Cheng, K.B. et al., 2006).

Chen ve arkadaşları (2007) iletken kumaşlarla takviye edilmiş termoplastik kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliği üzerine çalışmışlardır. Araştırmanın asıl amacı, elektromanyetik ekranlama etkinliği için istenilen özellikleri sağlayan iletken tekstil kompozitleri geliştirmektir. Çalışmada kesikli paslanmaz çelik lifleri ile PET liflerinin birlikte eğrilmesiyle üretilen dokuma kumaşlar, paslanmaz çelik tel ile PET liflerinin birlikte eğrilmesiyle üretilen dokuma kumaşlar, bakır ve başka metallerle metalize edilmiş nonwoven malzemeler ve metal içerikli dokunmuş-örülmüş (cowoven- knitted) kumaş ile takviye edilmiş kompozit yapıları incelenmiştir. Yapılarında paslanmaz çelik ve bakır tel bulunduran kumaşların üretimi sırasında, paslanmaz çelik ve bakır filamentler, örme ve dokuma sırasında sürtünmenin azaltılması ve işlemlerin

başarıyla gerçekleştirilebilmesi için poliamid filamentlerle sarılmıştır. Tüm numunelerin elektromanyetik ekranlama etkinliği değerlerinin elektriksel direnç, kumaş yapısı ve iletken madde içeriğine göre değişimi ASTM 4935 standardı ve ASTM ES7 standartlarının öngördüğü dual coaxial TEM cell ölçüm metotlarına göre belirlenen frekans aralıklarında incelenmiştir. (ASTM ES7 standardı 1988'de tedavülden kaldırılmıştır ve günümüzde nadiren kullanılmaktadır). [k4] İletken kumaş katmanı sayısı, kumaştaki metal içeriği ve kumaş kalınlığı arttıkça elektromanyetik ekranlama etkinliği değerlerinde artış gözlemlenmiştir (Chen et al., 2007).

Oxley ve arkadaşları (2007), çalışmalarında, farklı kumaş yapıları ve iplik türlerinin RF/mikrodalga özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaları özellikle milimetrik frekans bandında (30-300 GHz) gerçekleştirmişlerdir. Bu frekans aralığında, kumaşların gözenek boyutu ile elektromanyetik dalgaların dalga boyunun neredeyse aynı olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmada bezayağı dokuma, düz örme ve çözgülü örme yapılarında kumaşlar üretilerek 8GHz- 110 GHz frekans aralığındaki ekranlama etkinlikleri ölçülmüştür. Dokuma kumaşlar nikel içerikli iletken ipliklerle üretilirken diğer kumaş yapılarında gümüş içerikli iletken iplikler kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında, çok küçük gözenek yapısına sahip çözgülü örme kumaşların, metal folyolarınkine denk bir ekranlama etkinliği gösterdiği belirtilmiştir (Oxley et al., 2007).

Das ve arkadaşları (2009), bakır sülfat ve demir sülfat içerikli mordan boyalarla iletken hale getirilmiş tekstil malzemelerinin elektromanyetik ekranlama etkinliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında materyal türü, atkı sıklığı, mordan türü ve kumaş katmanlarının sayısının elektromanyetik ekranlama etkinliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ölçümler 200 MHz-3 GHz frekans aralığında bir koaksiyel iletim hattı kullanılarak, ASTM D4935 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları materyal türü, iplik numarası, kumaş katmanı sayısı ve mordanlamanın türünün ekranlama etkinliği üzerine önemli etkileri olduğunu, fakat kumaştaki açıklıkların sayısının ve iplik yoğunluğunun ise etkilerinin önemsiz bulunduğunu göstermiştir. Kumaş katmanlarının sayısındaki artış, ekranlama etkinliğini önemli ölçüde arttırmıştır. İplikler kalınlaştıkça

ekranlama etkinliğinde iyileşme gözlenmiştir. Mordanlamada kullanılan metalin türü ise önemli bir farka neden olmamıştır (Das et al., 2009).

Ramachandran ve Vigneswaran (2009) çalışmalarında, özde bakır filament, mantoda pamuk içeren özlü iletken ipliklerin tasarlanması ve geliştirilmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Özlü iplikler DREF III eğirme sistemiyle eğrilmiş olup, düzgün bir özlü iplik yapısı elde edebilmek için özel bir kılavuz kullanılmıştır. Çalışmada üretilen ipliklerin elektriksel direnç ve elektromanyetik ekranlama etkinliği özelliklerinin yanı sıra, kopma mukavemeti ve kopma uzaması özellikleri de incelenmiştir.

İplikler, ikinci çekim bölgesindeki çekim değeriyle oynanarak 3 farklı öz/manto oranında üretilmiş olup bunlar, 67/33, 80/20 ve 90/10'dur. Sonuçlar, 67/33 öz/manto oranıyla üretilen ipliklerin en yüksek kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerini verdiğini göstermiştir.

Ekranlama etkinliği ölçümleri 560MHz - 9.22 GHz frekans aralığında, ASTM D4935-99 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, 67/33 öz/manto oranına sahip ipliklerin 760-860 MHz frekans aralığında en yüksek ekranlama etkinliği değerlerini sağladığı belirtilmiştir (Ramachandran and Vigneswaran, 2009).

Perumalraj ve arkadaşları (2009) bakır özlü ipliklerden üretilen dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinliği üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, iplik numarası, atkı ve çözgü sıklığı, kumaş örtücülük faktörü, kumaş konstrüksiyonu, kumaş katmanı sayısı ve bakır tel çapının, ekranlama etkinliği üzerine etkileri incelenmiştir. Ölçümler, bir koaksiyel iletim hattı ve bir network analizör kullanılarak 20 MHz – 18GHz frekans aralığında ASTM D4935-99 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Atkı ve çözgü sıklıklarının, kumaş örtücülük faktörünün ve kumaş katmanı sayısının artmasının, ekranlama etkinliği üzerinde arttırıcı etkiye neden olduğu gözlemlenmiştir. Kumaş konstrüksiyonu olarak dimi, bezayağı yapıya göre daha iyi ekranlama sağlamıştır. İnce iplik numaralarıyla daha yüksek sonuçlar elde edilirken, bakır tel çapındaki artışın ise ekranlama etkinliğinde azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü bakır,

polimerik tekstil malzemelerine göre daha rijit bir malzeme olduğundan, dokuma işlemi sırasında eğilmeye direnç göstermektedir. İpliğin özündeki bakır filamentin çapı arttıkça, ipliğin eğilip form alması zorlaşmakta ve üretilen kumaşta açıklıklara neden olmaktadır (Perumalraj et al., 2009).

Perumalraj ve Dasaradan (2010) çalışmalarında, katlama makinesi kullanılarak 2 ve 3 katlı olarak üretilmiş olan bakır/pamuk iplikleri dokuma kumaş haline getirmişler ve elektromanyetik ekranlama etkinliğini incelemişlerdir. Ekranlama etkinliği ölçümleri bir network analizör kullanılarak 20-18000 MHz frekans aralığında ASTM D4935-99 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, ekranlama etkinliğinin kumaş yapısı, atkı ve çözgü sıklığı, örtücülük faktörü, iplik türü ve bakır filament çapı parametreleri ile değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kumaşlarda atkı sıklığı, çözgü sıklığı ve örtücülük faktörü arttıkça, ekranlama etkinliği de artış göstermiştir. 3 katlı ipliklerin 2 katlılardan, dimi yapısında üretilen kumaşın ise bezayağı yapısında üretilene göre daha yüksek ekranlama etkinliği değeri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bakır tel çapının artmasının ekranlama etkinliğinde azaltıcı etkiye neden olduğu rapor edilmiştir (Perumalraj and Dasaradan, 2010).

Palamutçu ve arkadaşları (2010) özel olarak tasarlanmış olan bir elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçüm düzeneği tanıtmış ve bu düzeneğin güvenilirliği için kendileri bu çalışmalarında kullanmışlardır. Çalışma kapsamında iletken iplikler ince bakır tel, gümüş-pamuk karışım iplikler ve %100 pamuk iplik kullanılarak oluşturulmuştur. Bu iplikler kullanılarak süprem örme ve bezayağı dokuma kumaşlar üretilmiştir. Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümleri 860-1800 MHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde farklı iletken iplikler; bakır içerikleri, kumaş yapısal özellikleri, tek-çift kat kumaş kullanımı ve referans sinyal gücü değişimleri, frekans değişimlerine göre birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, ince bakır tel kullanılarak üretilen ipliklerden elde edilen kumaşların kalın bakır tel kullanılarak yapılan ipliklerle elde edilen kumaşlara göre ve çift katlı kumaşların tek katlı kumaşlara göre daha yüksek elektromanyetik ekranlama etkinliği değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca farklı sinyal güçlerinde farklı ekranlama etkinliği değerleri elde edildiği görülmüştür (Palamutçu et al., 2010).

Okyay ve arkadaşları (2011), farklı dokuma yapılarında geliştirilen kumaşların elektromanyetik ekranlama özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında öncelikle, kontrollü şartlarda, içi oyuk iğ kaplama tekniği kullanılarak kompozit iplik üretilmiştir. Numune kumaşların üretiminde kullanılan bu kompozit iplik, içi oyuk iğli kaplama tekniği kullanılarak 35 mikron (Nm 131) (SS) paslanmaz çelik üzerine 100 denye poliester (36 filament) ipliğinin 300 Tur/m bükülmesiyle elde edilmiştir. İçi oyuk iğli kaplama tekniği ile merkezdeki mikro incelikteki metal telin zarar görmeden yüksek seviyede örtülmesi sağlanmıştır. Dokuma kumaşların üretiminde, kompozit ipliklerin yanı sıra 35 mikron (Nm 131) AISI 316 L tipi paslanmaz çelik (SS) ve 50 mikron (Nm 56) gümüş kaplı bakır iplikler de kullanılmıştır. Atkı ipliği olarak hem kompozit iplikler hem de gümüş kaplı iplikler, çözgü ipliği olarak ise sadece kompozit iplikler kullanılarak hem bezayağı hem dimi dokuma yapılarında kumaşlar üretilmiştir. Kumaş varyasyonları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. 1. Kumaş numunelerinin özellikleri

Kumaş örgü yapısı	Atkı ipliği	Atkı sıklığı (tel/cm)	Çözgü İpliği	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Kumaş Gramajı (g/m^2)	Kumaş Kalınlığı (mm)
Bezayağı	35 mikron SS/ Nm 52 Kompozit iplik	50	Nm 52 Kompozit iplik	25	1,27	0,32
Bezayağı	50 mikron Gümüş/ Nm 52 Kompozit iplik	50		25	1,54	0,37
Dimi (2/2)	Nm 52 Kompozit iplik	38		25	1,40	0,41
Dimi (3/1)	Nm 52 Kompozit iplik	38		25	1,40	0,41

Kumaş numunelerinin ekranlama etkinliği ölçümleri, ASTM-D 4935 standardını esas alan koaksiyel tutucu metodu ile yapılmıştır. Tüm kumaşların ekranlama etkinlikleri, kumaş kalınlıkları 2 mm'den az olduğu için 30 MHz-1.73 GHz aralığında değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, atkı ve çözgü sıklıkları ile örgü yapıları aynı olan fakat yapısında 35 mikron SS (paslanmaz çelik) bulunduran kumaşın, yapısında gümüş kaplı bakır tel bulunduran kumaşa göre daha fazla (SE) ekranlama etkinliği özelliği kazandığı görülmüştür. Ayrıca, çözgü ve atkı sıklıkları aynı olan, örgü yapıları sırasıyla 2/2 dimi ve 3/1 dimi olan kumaşların benzer ekranlama etkinliği gösterdiği bulunmuştur. Kumaş konstrüksiyonunda, aynı çözgü ve atkı sıklığı kullanımı durumunda farklı örgü yapılarının SE değeri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir (Okyay vd., 2011).

Duran ve Kadoğlu (2012) çalışmalarında, bakır özlü pamuk ipliklerle elektromanyetik koruyucu tekstil malzemelerinin üretilebilme olanaklarını araştırmış ve bu ipliklerle üretilen dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama özelliklerinin incelemişlerdir. İplik numarası, öz inceliği, atkı sıklığı ve dalga frekansının bu kumaşların ekranlama etkinliğine etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, ipliğin özünde 0.05, 0.07 ve 0.1 mm olmak üzere 3 farklı çapta bakır filament kullanılmış ve her bir öz ile Ne 5, Ne 10 ve Ne15 olmak üzere 3 farklı incelikte iplikler üretilmiştir. Ayrıca kıyaslama yapabilmek için 3 iplik numarasında da %100 pamuk iplikler üretilmiştir. Bu iplikler 3/1 dimi dokuma kumaş yapısında atkı ipliği olarak kullanılmıştır. 8, 16 ve 24 atkı/cm olmak üzere 3 sıklıkta kumaş üretilmiştir. Ekranlama etkinliği ölçümleri 200MHz – 5.8 GHz frekans aralığında, EN50147-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, hem iplik ve kumaş parametreleri hem de dalga frekansının, kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinliğine önemli etkileri olduğunu göstermiştir. En yüksek ekranlama etkinliği değeri, özünde 0.07mm çapında bakır filament bulunan Ne 5 numaralı iplikten üretilen dokuma kumaştan elde edilmiş olup, kumaşların askeri ve medikal alanlarda elektromanyetik dalgalardan korunmada kullanılabileceği belirtilmiştir (Duran and Kadoğlu, 2012).

Özdemir ve Özkurt (2013) paslanmaz çelikten özlü iplikler ile farklı atkı sıklıklarında dokunan iletken 3/1 dimi ve hücreli örgülü kumaşların

elektromanyetik ekranlama etkinliğini “free space measurement” tekniği ile yatay anten polarizasyonunda ölçmüşlerdir. Atkı iplikleri anten polarizasyonuna paralel olacak şekilde yerleştirilen dokuma kumaş numunelerinin endüstriyel, bilimsel ve tıbbi band olan yüksek frekans bandında (800- 3000MHz) iyi elektromanyetik ekranlama performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca çelik özlü atkı ipliklerin sıklığı arttırıldığında aynı konumda yerleştirilen kumaş numunelerinin ekranlama etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Atkı iplikleri anten polarizasyonuna dik olacak biçimde yerleştirilen kumaş numunelerinin ise elektromanyetik ekranlama etkinliği, efektif yüzey iletkenliğinin artmasına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu kumaşların Wi-Fi, telsiz telefonlar, bebek telsizi ve elektronik güvenlik sistemleri için ekranlama materyali olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Özdemir and Özkurt, 2013).

Balkış ve Kadoğlu (2014) ‘nun çalışmalarında, elektromanyetik koruyuculuk sağlamak amacıyla bakır ve gümüş filamentler kullanılarak özlü iplikler üretilmiştir. Bakır özlü iplikler ve pamuk iplikler makineye farklı oranlarda beslenerek süprem kumaşlar örülmüştür. Gümüş özlü ipliklerle ise süprem, ribana ve 2 iplik futter örgü yapılarında kumaşlar örülmüştür. Bakır ve gümüş özlü ipliklerin test sonuçlarını kıyaslayabilmek için %100 pamuk iplikler de üretilmiş olup, 3 farklı örme yapısında da örülmüştür. Kumaşların elektromanyetik koruyuculuk özellikleri, 100 MHz-1GHz frekans aralığında EMC test cihazı sistemi ile test edilmiştir. Kullanılan hammadde ve üretim yöntemi parametrelerinin elektromanyetik koruyuculuğa etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçları, öz inceliğinin ve frekansın ekranlama etkinliği derecesini önemli bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca, futter örgü yapısındaki kumaşların, süprem ve ribana kumaşlara göre çok daha iyi ekranlama etkinliği derecelerine sahip olduğu belirtilmiştir (Balkış, 2014).

Safarova ve Militky (2014) çok fonksiyonlu yüksek performanslı metal/m-aramid hibrid kumaşların elektromanyetik koruyuculuğu üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, yüksek performanslı meta-aramid lifler ve stapel paslanmaz çelik lifleri farklı içeriklerde kullanarak hibrid iplik üretmişlerdir. Polipropilen lifler ise iletken olmayan materyal olarak seçilip, kıyaslama yapabilmek amacıyla paslanmaz çelik ile polipropilen karışımı iplik üretilmiştir. Daha sonra bu iplikler

kullanılarak 2/2 dimi yapısında dokuma kumaş oluşturulmuştur. Kumaşların ekranlama etkinlikleri 30- 1500 MHz frekans aralığında koaksiyal iletim hattı kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, iletken bileşen miktarı arttıkça ekranlama etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek oranda iletken bileşen içeren numunenin 1.5 GHz frekansta 35dB'den fazla ekranlama etkinliği yapabildiği belirtilmiştir. Bunun anlamı, yüksek performanslı iletken kumaşlarla elektromanyetik dalgaların %99.9'dan fazlası ekranlanabilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen numune kumaşların, koruyucu giysiler için tatmin edici ekranlama etkinliği değerlerinin yanı sıra, çok iyi mekanik özellikler de gösterdiği belirtilmiştir (Safarova and Militky, 2014).

Duran ve Kadoğlu (2015) gümüş içerikli özlü iplikler ve gümüş içerikli karışım iplikler olmak üzere iki farklı tip iplikten üretilen dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, iplik numarası, özdeki filametin inceliği, karışım oranı, atkı sıklığı, elektriksel direnç, iplik tipi ve frekans gibi birçok iplik ve kumaş özelliklerinin elektromanyetik ekranlama etkinliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Kumaşların ekranlama özellikleri 200MHz – 5.8 GHz frekans aralığında, EN50147-1 standardına göre ölçülmüştür. Farklı iplik gruplarından üretilen kumaşların farklı elektromanyetik ekranlama etkinliği değerleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Tüm kumaş tipleri ve tüm frekans değerleri için, atkı sıklığı arttıkça elektromanyetik ekranlama etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Özlü ipliklerde, daha kalın öz materyali ve daha ince iplik numaralarında daha iyi elektromanyetik ekranlama etkinliği değerlerine ulaşılabildiği saptanmıştır. Karışım ipliklerde ise, iletken liflerin karışımdaki oranı ve iplik kalınlığı arttıkça, ekranlama etkinliği arttığı sonucuna varılmıştır (Duran and Kadoğlu, 2015).

3. ELEKTROMANYETİK ALANLAR

Elektromanyetik alan doğada kendiliğinden oluşabileceği gibi, insan yapımı kaynaklarla da oluşabilir. Doğal elektromanyetik alan, yer küre etrafında kuzey- güney doğrultusunda mevcut olup, kuşlar ve balıklar gibi canlıların yön bulmalarına yardımcı olan, ancak gözle görülemeyen dalgalardan oluşmaktadır. İnsan yapımı kaynaklar ise, X ışınlarının kaynağı olan röntgen cihazları, düşük frekanslı elektromanyetik dalga kaynağı olan elektrik soketleri, yüksek frekanslı radyo dalgaları yayan TV anteni, radyo ve mobil telefon istasyonları gibi veri iletim hatlarıdır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

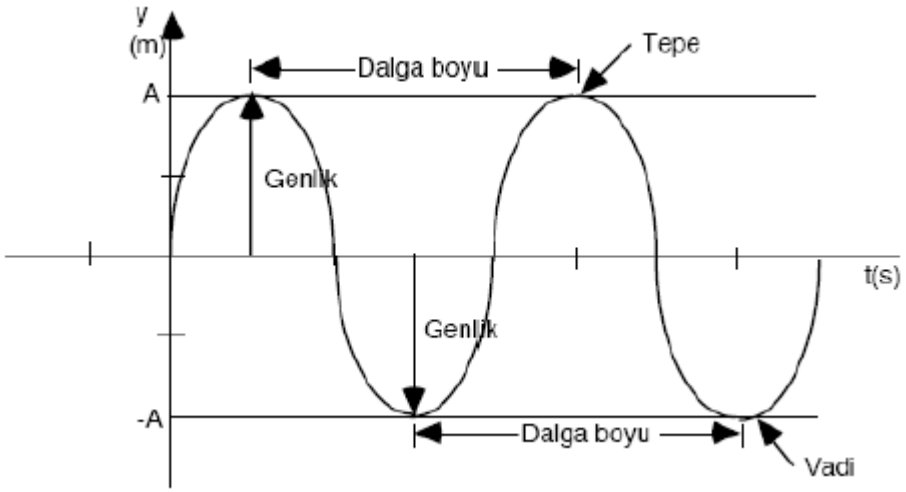
Bir iletken üzerinden geçen akım şiddeti ve gerilim seviyesine bağlı olarak, bu iletkenin bulunduğu ortama elektrik ve manyetik alan yayılmaktadır. Ev ve iş yerlerinde yaşamı kolaylaştırıcı olarak kullanılan elektrikli ve elektronik cihazların tümü birer elektromanyetik alan kaynağıdır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

3.1. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalgalar boşlukta ve madde içinde yayılabilen ritmik bir olaydır ve dalga boyu, dalganın frekansı ve hızı ile tanımlanır. Bir tepeden bir tepeye ya da bir vadiden bir vadiye olan toplam mesafeye bir dalga boyu denir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Genlik; bir dalganın normal konumundan yükselme ve alçalma mesafesi olarak tanımlanır. Genlik, dalgayı ortaya çıkaran enerjinin miktarına bağlı olarak, doğru orantılı değişir. Ayrıca, tüm dalgalar belli bir frekansa sahiptir. Frekans; bir saniyede belli bir noktadan geçen dalgaların sayısıdır. Titreşimin frekansı, Hertz birimi ile ölçülür. Bir Hertz (Hz), bir dalganın her saniyede bir devir ya da bir titreşim yapmasıdır. Bir dalganın frekansı ve dalga boyu arasında ters orantı vardır. Dalga boyu arttığında frekans azalmaktadır. Örneğin; uzun dalgalar düşük frekansa, kısa dalgalar ise yüksek frekansa sahiptir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Dalga yapısı ve bileşenleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. Dalga yapısı ve bileşenleri (Palamutçu ve Dağ, 2009).

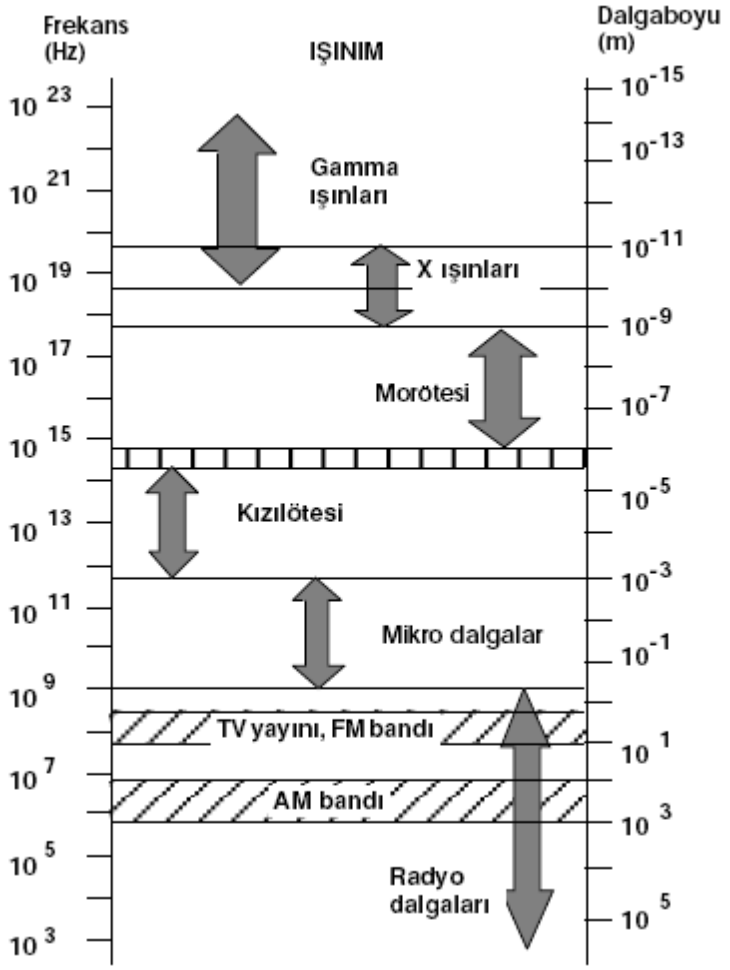
3.2. Elektromanyetik Spektrum

Geniş bir frekans ya da dalga boyu aralığını kapsayan elektromanyetik dalgaların kaynaklarına göre sınıflandırılmasına "elektromanyetik spektrum" denir. Elektromanyetik spektrum, "elektrik ve manyetik alanlar" olarak adlandırılan düşük frekanslı dalgalardan genelde "elektromanyetik radyasyon" olarak adlandırılan yüksek frekanstaki dalgalara doğru uzanmaktadır (Duran, 2011). Elektromanyetik spektrum, dalga boyları 10^{10} ile 10^{-16} metre arasında değişen, bilinen tüm elektromanyetik dalgaları içeren dizilimdir' şeklinde de tanımlanabilir. Bu dizilimde, en yüksek frekanslı dalgalar, en büyük enerjiye sahiptirler (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Çizelge 3.1'de elektromanyetik frekans aralıkları ve Şekil 3.2'de Elektromanyetik Spektrum gösterilmektedir.

Çizelge 3. 1. Elektromanyetik frekans aralıkları (Göral, 2014)

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)



Şekil 3. 2. Elektromanyetik spektrum (Duran, 2011).

Spektrum üzerinde yer alan ışınların tanımları aşağıda verilmektedir.

Radyo Dalgaları: Birkaç km'den 0,3 m'ye kadar dalga boylarına ve birkaç Hz'den 10^9Hz'e kadar frekanslara sahip dalgalardır (Duran, 2011). En uzun dalga boyuna sahip oldukları için, en düşük enerji ve sıcaklığa sahip dalgalardır. Radyo dalgalarının kaynakları elektrik titreşimleridir ve telefon, televizyon, radyo gibi cihazlarda bağlantı kablosu gerektirmeden kullanım sağlarlar. Her yerde bulunabilirler (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Mikrodalgalar: 0,3 m'den 10^{-3} m'ye kadar dalga boylarına ve 10^{9} Hz'den 3.10^{11} Hz'e kadar frekanslara sahip olabilirler (Duran, 2011). Bu dalgalar da elektronik cihazlar tarafından üretilmektedir ve kablo gerektirmeyen uzak mesafe iletişimlerde kullanılırlar (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Kızılötesi Dalgalar: 10^{-3} m'den $7{,}8.10^{-7}$ m'ye kadar dalga boylarına ve 3.10^{11} Hz'den 4.10^{14} Hz'e kadar frekanslara sahip dalgalardır. Bu dalgalar, moleküller ve sıcak cisimler tarafından üretilmekte olup, endüstri, tıp, astronomi v.b. alanlarda kullanılırlar (Duran, 2011).

Görünür Işık Dalgaları: $7{,}8.10^{-7}$ m'den $3{,}8.10^{-7}$ m'ye kadar dalga boylarına ve 4.10^{14} Hz'den 8.10^{14} Hz'e kadar frekanslara sahip dalgalardır (Duran, 2011). Elektromanyetik spektrumun bu kısmı insan gözü ile görülebilir. Bu kısımda mor ile başlayan ve kırmızıyla biten renkler vardır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Morötesi Dalgalar (UV radyasyon): $3{,}8.10^{-7}$ m'den 6.10^{-10} m'ye kadar dalga boylarına ve 8.10^{14} Hz'den 3.10^{17} Hz'e kadar frekanslara sahip dalgalardır. Güneş, güçlü bir morötesi kaynağıdır (Duran, 2011). Kısa dalga boylu morötesi ışınlar zararlı olabilir (Palamutçu ve Dağ, 2009). Ayrıca, mikro organizmalar morötesi ışınları soğurduklarında parçalandıkları için, morötesi ışınlar tıpta sterilizasyon işleminde kullanılmaktadır.

X Işınları: 10^{-9} m'den 6.10^{-12} m'ye kadar dalga boylarına ve 3.10^{17} Hz'den 5.10^{19} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınlardır. Elektromanyetik spektrumun bu bölgesi 1895'de W. Roentgen tarafından keşfedilmiştir. X-ışınları tıpta ve kanser tedavisinde bir tanı aracı olarak kullanılmaktadır. Canlı dokulara zarar verdiği için, x ışınlarına gereksiz yere hedef olmamak gerekmektedir (Duran, 2011).

Gamma Işınları: Radyoaktif çekirdekler tarafından nükleer tepkimelerde ortaya çıkarlar. 10^{-10} m'den 10^{-14} m'ye kadar dalga boylarına ve 3.10^{18} Hz'den 3.10^{22} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınlardır. Bu ışınlar, elektromanyetik spektrum içinde en yüksek enerjili ve frekanslı bölgede yer alırlar. Çok nüfuz edici oldukları için, canlı dokular tarafından soğurulunca zarar verirler.

Bu yüzden bu ışınlarla çalışanlar, kurşun tabaka ve benzeri soğurucularla korunmalıdırlar (Duran, 2011).

3.3. Elektromanyetik Kirlilik

İnsanlar, günlük ve mesleki yaşantılarında sürekli elektromanyetik alanlara maruz kalmaktadırlar. Mesleki maruziyete örnek olarak; elektrik ve elektronik sanayii, kaynak yapımı, elektrikli motorların kullanımı ve tamiri, radyoloji cihazları kullanımı verilebilir. Düşük frekans alanlarına çevresel maruziyet olarak ise, yerleşim alanlarında elektrik iletim hatlarına yakın olunması, elektrikli ev ve mutfak aletlerin kullanımı, cep telefonu ve bilgisayar kullanımı örnek olarak verilebilir. Günlük hayat içerisinde bu şekilde çevremizde mevcut olan elektromanyetik dalgaların yoğunluğu ile oluşan ortama "elektromanyetik kirlilik" adı verilmektedir. Bu dalgaların varlığı, hem hassas elektrikli ve elektronik cihazlara, hem de yüksek iletkenlik özelliğine sahip insan bedenine önemli ölçüde zarar vermektedir. Elektromanyetik alanların kullanımının ve dolayısıyla elektromanyetik kirliliğin gelecekte daha da artacağı dikkate alındığında, konunun önemi de artmaktadır (Duran, 2011).

Bazı elektrikli ev aletlerinin sebep oldukları elektrik alan şiddetleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. 2. Bazı elektrikli ev aletlerinin sebep oldukları elektrik alan şiddetleri (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Elektrikli Cihaz	**Elektrik Alan Şiddeti (V/m)**
Stereo Radyo	180
Ütü	120
Buzdolabı	120
Mikser	100
Tost Makinesi	80
Saç Kurutma Makinesi	80
Renkli TV	60
Kahve Makinesi	60
Elektrikli Süpürge	50
Elektrikli Fırın	8
Ampul	5

EMC (Electromagnetic Compability) ve BEM (Bio Electro Magnetic) elektromanyetik dalgaların etkisinden korunmak amacıyla araştırılan iki ayrı konudur. EMC, elektromanyetik dalga yayan cihazların birbirleriyle etkileşimini incelerken; BEM, elektromanyetik dalga yayan cihaz ile canlı doku arasındaki etkileşimi incelemektedir (Balkış, 2014).

3.4. Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığına Etkileri ve BEM (Bio Electro Magnetic)

Elektronik teknolojisinin geniş kapsamlı uygulamalarıyla çeşitli frekanslardaki elektromanyetik dalgalar bütün evrene yayılmaktadır. Bu dalgaların varlığı, yüksek iletkenlik özelliğine sahip insan bedenine önemli ölçüde zarar vermektedir. Dalga boyu olarak, insan vücut kalınlığı içine düşen mikro dalgalar ve altındaki ışınların (infrared radyasyon, görünür ışınlar ve lazer ısınları, ultraviyole ısınları) insan vücuduna verdiği zararlar, yapılan araştırmalar ile kanıtlanmıştır. Mikro dalgaların pişirme özelliği, infrared ışınlarının göz merceğine, görünür ışınların göz dibine, ultraviyole ışınlarının deriye verdiği

zararlar kesin olarak kanıtlanmış zararlardır. Birleşmiş Milletler, elektromanyetik kirliliği, su kirliliği, hava kirliliği ve ses kirliliğinden sonra dördüncü önemli kirlilik olarak görmektedir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Elektrik ve manyetik dalgalardan oluşan elektromanyetik dalga, hücre zarına işleyerek Na/K gibi iyon dağılımlarını değiştirmekte ve melatonin salgısının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum ise, vücut ısısının yükselmesine ve biyolojik ritmin bozulmasına sebep olmaktadır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Elektromanyetik enerji canlı bir dokuya geldiğinde, o dokunun elektriksel özelliklerine bağlı olarak yutulur. Elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğrulma hızı ‘‘Spesifik/Özgül Soğurma Oranı’’ (Specific Absorption Rate SAR) olarak adlandırılır ve birimi W/kg’dır. SAR değeri dokudan dokuya değiştiği gibi, doku içerisinde noktadan noktaya da (farklı noktalara farklı elektromanyetik enerji nüfuz edebileceğinden) değişir. Temel standart olarak “ortalama insan vücut sıcaklığını 1°C arttıran elektromanyetik enerji yutulmasının zararlı olduğu” kabul edilmiştir. Bu standarda göre kg başına dokuların yutabileceği maksimum güç 4 Watt olarak saptanmıştır. Bu değer çalışan insanlar için ise 0,4 W/kg SAR, genel halk için 0,08 W/kg SAR değerine, yani güvenlik sınırlarına çekilmiştir (Balkış, 2014).

Radyo frekans (RF) alanlar bir çeşit düşük enerjili elektromanyetik alanlardır, yani enerjileri, atomları ve molekülleri iyonlaştıracak düzeyde değildir. Elektromanyetik radyasyonun göreceli olarak düşük frekanslı biçimleri olan görünen ışık, kızılötesi radyasyon ve RF dalgalar iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örneklerdir. Ortamdaki iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgaların etkisinde kalma sonucunda canlılarda, ısıl etkiler ve ısıl olmayan etkiler olarak iki tür etki oluşabilir. Isıl etkiler, vücut tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanabilir. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımıyla atılarak dengelenmesine dek sürer. Cep telefonları gibi RF kaynaklarının sebep olabileceği sıcaklık artışı gerçekte çok düşüktür ve büyük olasılıkla vücudun normal mekanizmaları ile kolaylıkla

etkisizleştirilebilir. Cep telefonu ile beyinde oluşabilecek sıcaklık artışı ortalama 0,1 ^{0}C dolaylarındadır (Balkış, 2014).

Isıl olmayan etkilere bağlı olarak RF dalgaların etkili olduğu iddia edilen bozukluk ve hastalıklar arasında beyin aktivitelerinde değişiklikler, uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları ve baş ağrıları bulunmaktadır. Ancak bu riskler çok yüksek deneysel dozlar ve sürelerde geçerli olup, cep telefonları gibi kullanımlar için geçerli değildir (Balkış, 2014).

Yüksek enerjili iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar, DNA ve genetik malzemeyi kapsayan biyolojik dokuda hasara yol açabilen moleküler değişikliklere yol açabilirler. Bu etkinin olabilmesi için dokunun x-ışınları ve gama ışınları gibi yüksek enerjili dalgalarla etkileşmesi gerekir (Balkış, 2014).

Yani genel olarak, Elektromanyetik dalgalara maruz kalan insanlarda baş ağrısı, halsizlik, kusma, konsantrasyon bozukluğu, hafıza kaybı, reflekslerde zayıflama, kas ve eklemlerde ağrı gibi nörolojik etkiler, göğüs ağrısı, düşük veya yüksek tansiyon, kalp atışında hızlanma veya yavaşlama, nefes alma sıklığında değişim gibi kardiyolojik etkiler, sinüzit, bronşit, astım gibi solunum yolu sorunları, ciltte tahriş, kaşıntı, yanma, yüzde kızarıklık gibi dermatolojik etkiler, göz yanması, görme bozukluğu gibi etkiler ve sindirim sorunları, ağrı, burun kanamaları, bağışıklık sisteminde zayıflama, saç dökülmesi, kulak çınlaması, koku alma duyusunda bozulma gibi olumsuzluklar ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca uzun dönemde kanser, normal hücre bölünmesi, sinirlerde hasar, beyin hasarları ve hamilelikte düşüklere neden olabilecek olumsuz etkiler görülebilmektedir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

BEM ile ilgili uluslararası kuruluş International Radiation Protection Agency (IRPA)'dir. IRPA 1974 yılında NIR (Non-Ionizing Radiation) İyonlaştırmayan Radyasyon çalışma grubunu oluşturmuş ve 0 Hz- 300 GHz frekans bölgesinde BEM konusunu incelemekle görevlendirmiştir. Bu çalışma grubu 1977 yılında Paris'te yapılan bir IRPA kongresinde INIRC (International Non-Ionizing Radiaiton Committe) Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyon Komitesine dönüştürülmüştür (Balkış, 2014).

3.5. Elektromanyetik Dalgaların Elektrikli ve Elektronik Cihazlar Üzerindeki Etkileri ve EMC (Electromagnetic Compability)

Radyo, TV gibi tek yönlü haberleşme sistemleri ile telefon, radar gibi iki yönlü sistemler haber işaretlerinin bir yerden bir başka yere elektromanyetik (EM) dalgalarla iletilmesi ile gerçekleşir. Haber taşıyan EM işaretlerin başka EM işaretlere karışmasına EM girişim (EMI, electromagnetic interference) denir (Cengiz, 2009). Başka bir deyişle, elektrik enerjisiyle çalışan bütün cihazlar, yaydıkları alanlardan dolayı diğer elektronik cihazlarla etkileşime neden olmaktadır. Eğer bu etkileşim belli sınırları aşarsa, cihazlar bazı fonksiyonlarını sağlıklı olarak yerine getirememeye başlayabilir ve hatta geçici veya kalıcı hasarlara uğrayabilmektedir. Cep telefonlarının radyo yayınlarını bozması gibi günlük hayatımızda sıklıkla karşılaştığımız olaylar "Elektromanyetik Etkileşim (EMIElectromagnetic Interference)" olaylarına örnektir (Duran, 2011).

Bir aygıt, donanım veya sistemin, bulunduğu elektromanyetik çevre içinde, bu çevreyi veya diğer donanımları rahatsız edecek düzeylerde elektromanyetik gürültü oluşturmadan ve ortamdaki diğer sistemlerin oluşturduğu girişimden etkilenmeden, kendisinden beklenen işlevleri yerine getirme yeteneğine elektromanyetik uyumluluk (EMC, electromagnetic compability) denir (Balkış, 2014).

EMC, elektronik cihazların bir arada, birbirini rahatsız etmeden ve birbirinden en az etkilenerek çalışabilmesi için gerekli düzenlemeler ile ilgilenir. Örneğin, buzdolabı ve çamaşır makinesi gibi şehir şebekesinden yüksek akım çeken cihazlar çalışırken şehir şebekesine gürültü aktarmaması için üreticinin alması gereken önlemleri ayrıntılı olarak sıralar. Ya da, televizyon üreticisine ürününün hangi tür etkilere karşı dayanıklı olması gerektiğini belirtir. Veya kişisel bir bilgisayardan çevreye istenmeyen sızıntının frekansa ve uzaklığa göre en fazla ne olması gerektiğini belirler. Bütün bunlar standartlar halinde yayınlanır ve standartları belirleyen başlıca üç uluslararası kuruluş vardır. Bunlar; IEC (International Electrotechnical Committe), CISPR (Comite International Special des Perturbations RadioElectriques) kuruluşları ile Avrupa Birliğinin (AB) CENELEC (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique) kuruluşudur.

Bu kuruluşlar ve onların belirlediği teknik uzman kadrolar bilimsel ve teknolojik çalışmaları yürütür, izler, inceler ve değişik standartlar olarak belgelere dökerler (Balkış, 2014).

4. ELEKTROMANYETİK DALGALARDAN KORUNMA

Elektromanyetik dalgalar hayatımızın her alanında bulunmakta ve vücudumuzu etkilemeye devam etmektedirler. Elektromanyetik dalgalardan korunmanın en basit yolu dalga kaynağından uzak durmaktır. Çünkü elektromanyetik alanlar genellikle kendilerini oluşturan kaynaktan uzaklaştıkça zayıflamaktadır (Balkış, 2014). Fakat bu günlük yaşam içersinde pekte mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, bu etkilerden vücudumuzun korunabilmesi amacıyla çeşitli ürünler kullanılmaktadır. 1960 yılında kurulmuş olan Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından geliştirilmiş olan Anti radyasyon Standardına bağlı olarak çeşitli iletken tel ve tekstil yüzeyleri; metal lif-kimyasal lif; kaplanmış kumaş, çelik lif–bitkisel lif ve diğer güncel polimer teknolojilerinin kullanımı ile oluşturulmuş tekstil yapıları geliştirilmektedir. Özel tekstil yapıları sayesinde farklı frekans aralıklarında farklı koruma etkinlik alanlarında (dB) %99'dan daha yüksek seviyelerde koruma sağlanabilmektedir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Çizelge 4. 1. 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%

4.1. Elektromanyetik Ekranlama

Ekranlamayı basit olarak; bir elektronik ürünün tamamının veya bir kısmının metalik bir muhafaza ile tamamen kapatılması şeklinde tanımlamak mümkündür. Ekranlama için kullanılan malzemeye "ekran" denir. Bir ekranın

görevi; dâhili bozucuları içeride, harici bozucuları dışarıda tutarak ışıma yollu girişimi önlemektir (Kılıç vd., 2015).

Başka bir deyişle, Elekromanyetik ekranlama; insanları ve cihazları etkileyen elektromanyetik radyasyonun iletiminin (transmisyonun) bir materyal (ekran) ile engellendiği bir prosestir (Das et al., 2009).

Ekranlama temelde şu iki amaç için kullanılmaktadır;

1. Bir alanın (oda, bina vb..), cihazın veya devrenin, dışarıdaki elektromanyetik dalga kaynaklarından izole edilmesi,

2. Bir kaynak tarafından yayınlanan elektromanyetik enerjinin istenmeyen bir şekilde ortamdan dışarı sızmasının engellenmesi (Duran, 2011).

Yani ekranlama, bir cihazdan içeri (ya da dışarı) doğru giren (çıkan) kaçak alanların azaltılması amacıyla kullanılmaktadır (Yılmaz, 2014).

Elektromanyetik dalgalar boş uzayda ve madde içinde yayılabilen, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerine sahip olan, genlikleri kaynaktan uzaklaştıkça azalan enine dalgalardır. Uzayda elektromanyetik dalgaların yayılması ışık hızıyla ($c = 3\times108$ m/s) gerçekleşmektedir (Türksoy vd., 2015).

Elektromanyetik dalga yayılımında iki tip girişim kaynağı söz konusudur. Bunlar; elektrik dipolü gibi davranan kaynaklar ve manyetik dipol gibi davranan kaynaklardır. İçinden akım akan iletken tel parçaları elektrik dipol gibi, içinden akım akan halka şeklindeki parçalar manyetik dipol gibi davranır. Elektrik dipol yakınında güçlü elektrik alan, manyetik dipol yakınında güçlü manyetik alan oluşur. Uzak alanda iki kaynağın etkileri açısından fark yoktur. Elektrik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında elektriksel ekranlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında ise manyetik ekranlama gereklidir. Manyetik ekranlama pratikte düşük frekanslarda ($f < 30$ MHz) önemlidir. Manyetik ekranlama frekans arttıkça zayıflamaktadır. Ekran içindeki direnç mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Delikler, açıklıklar daha az önemlidir. Elektriksel alan ekranlama ise yüksek frekanslarda ($f > 30$ MHz) daha önemlidir. Değişik

parçalar arasındaki kontak direncinin kalitesi önemlidir (izole edilmiş parçalar anten gibi davranır). Delikler ve açıklıklar ise frekansa bağlı olarak önemlidir. Elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılır. Manyetik ekranlama ise ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır. Bazen alüminyum folyodan oluşan ince metal perdeler bile yeterli elektriksel ekranlama sağlayabilir (Balkış, 2014).

4.2. Ekranlama Etkinliği

Ekranlama alanında kullanılacak malzemeler için en çok kullanılan temel parametre, frekansın bir fonksiyonu olan Ekranlama Etkinliği (Shielding Effectiveness, SE)'dir. Hangi yapıda, türde olursa olsun, bir ekranlama materyali ekranlama etkinliği ile karakterize edilir (Duran, 2011).

Ekranlama etkinliği, ekranlama materyalinin varlığı sayesinde alan şiddetinde yol açtığı azalmanın desibel (dB) cinsinden değeri olarak tanımlanabilir. Ekranlama etkinliği yalnızca materyalin türüne ve kalınlığına bağlı değildir. Aynı zamanda elektromanyetik dalganın frekansına, dalga kaynağı ile ekranlama malzemesi arasındaki mesafeye ve ekranlama malzemesindeki açıklıkların boyutuna ve çokluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bir malzemenin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin yüksek olması, elektromanyetik dalgalara karşı koruyuculuğunun iyi olması anlamına gelir. Ekranlama etkinliği (SE) değeri (dB) ne kadar yüksek olursa, numune karşı tarafına o kadar az enerji geçirir (Duran, 2011).

Ekranlama etkinliğinin ölçütü, ekranlama materyaline nüfuz ettikten sonra elektrik veya manyetik alanın şiddetindeki azalmayı tarif eden zayıflatmadır. Ekranlama etkinliği, test materyali olmadan yapılan ölçümlerden elde edilen elektromanyetik alan şiddeti (E1), manyetik alan şiddeti (H1) ve güç (P1) değerlerinin, alan kaynağı ile alıcı arasına bir test materyali yerleştirilerek yapılan ölçümlerden elde edilen değerlere (E2, H2, P2) oranı olarak da tanımlanabilmektedir (Duran, 2011).

Ekranlama etkinliği aşağıdaki formüllerle ifade edilir:

SE (dB) = 10 log (P1/P2)

SE (dB) = 10 log (E1/E2)

SE (dB) = 10 log (H1/H2)

P1, ekranlama materyali olmadan ölçülen güç değeri

P2, ekranlama materyali olduğunda ölçülen güç değeri,

E1, ekranlama materyali olmadan ölçülen elektriksel alan şiddeti

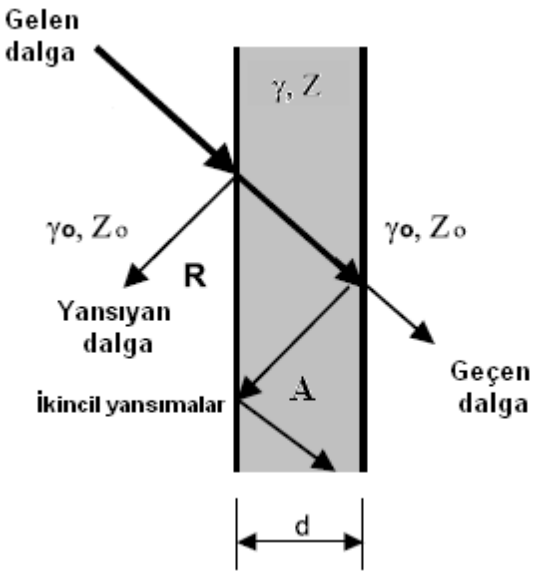
E2, ekranlama materyali olduğunda ölçülen elektriksel alan şiddeti

H1, ekranlama materyali olmadan ölçülen manyetik alan şiddeti

H2, ekranlama materyali olduğunda ölçülen manyetik alan şiddeti (Duran, 2011).

4.3. Elektromanyetik Ekranlama Mekanizması

Bir materyalin üzerine gönderilen elektromanyetik dalga, ortamın elektriksel ve manyetik özelliklerine bağlı olarak, yüzeyden yansıtılarak, materyal tarafından soğurularak ya da materyalin içinde meydana gelen çoklu yansımalarla ya da bunların kombinasyonlarıyla kısmen zayıflatılmaktadır. Dalganın kalan kısmı ise, materyalin karşı tarafına geçirilmektedir (Duran, 2011).



Şekil 4. 1. İletken bir bariyere gönderilen düzlemsel dalganın durumu (Duran, 2011).

γ, $\gamma_0$yayılma sabitleri

Z , Z_0 ortamın karakteristik empedansı

d, ekranlama malzemesinin kalınlığı

Elektromanyetik dalganın ekranlama materyali tarafından zayıflatılması, yansıma (R), soğurulma (A) ve çoklu yansımalar olmak üzere 3 mekanizma ile gerçekleşir. Malzemenin toplam ekranlama etkinliği, bu 3 mekanizma ile gerçekleşen zayıflatmaların toplamına eşittir ve şu şekilde formüle edilir;

SE= R+ A+ Rr

SE: Ekranlama etkinliği

R: Yansımadan kaynaklanan zayıflatmalar

A: Soğurulmadan (Absorbsiyon) kaynaklanan zayıflatmalar

Rr: Çoklu yansımalardan kaynaklanan zayıflatmalar

Burada R, A ve Rr değerleri desibel (dB) cinsinden ifade edilmektedir (Duran, 2011).

Yansıma; elektromanyetik ekranlamanın en önemli mekanizmasıdır. Yansıma, ölçüm yapılan frekans aralığında hava ile numune arasındaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanır. Frekans yükseldikçe yansıma azalma eğilimi gösterir. İletkenliği yüksek olan materyallerin empedansı düşük olduğunda, materyal ile hava arasındaki empedans farkı yüksek olur. Empedans farkının büyümesi ise yansıma etkisinin artmasına neden olur. Empedanslar arasındaki fark azaldığında, yansıma etkisi de azalır (Duran, 2011).

Gönderilen dalga, hava-metal sınırında oluşan empedans farkından dolayı ekranlama materyalinin yüzeyi tarafından yansıtılır. Bu mekanizmanın işlemesi için gerekli olan faktör belli bir materyal kalınlığı değil, empedans farkıdır (Duran, 2011).

Metaller gibi elektriksel iletkenliği yüksek malzemelerde ekranlama, yansıma mekanizmasıyla sağlanmaktadır. Bu mekanizma, metallerin yapısındaki elektronlar gibi serbest yük taşıyıcıları tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple, yansıma mekanizması için elektriksel iletkenlik bir gereklilik olsa da, bu bütün ekranlama mekanizmaları için genellenemez. Yansıma kaybı, malzemenin bakıra göre relatif iletkenliğinin (σ_r), bakıra göre relatif geçirgenliğine (μ_r) oranının (σ_r/ μ_r) bir fonksiyonudur (Duran, 2011).

Soğurulma: Elektromanyetik ekranlamanın gerçekleşmesine imkân sağlayan ikinci mekanizma soğurulmadır. Ekranlama materyalinin yüzeyi ile temas eden dalga yansıtılmayıp, materyalin karşı tarafına geçerken absorbe edilerek zayıflatılır. Dalgaların ekranlama malzemesi tarafından soğurulması, malzeme yapısındaki elektriksel ya da manyetik dipollerin varlığına bağlıdır. Soğurma yoluyla zayıflatma, ekranlama materyalinin kalınlığı ile doğru orantılı olup, malzemenin bakıra göre relatif iletkenliği ile bakıra göre relatif geçirgenliğinin çarpımının ($\sigma_r * \mu_r$) bir fonksiyonudur (Duran, 2011).

Uzay ve havacılık uygulamaları gibi birçok uygulama için kalınlığın arttırılması tercih edilmeyen bir durumdur. Frekans arttıkça absorbsiyon azalma eğilimi göstermektedir. Soğurulma, elektromanyetik dalga numune ile etkileşime girdiği sırada oluşan enerji dağılmasından kaynaklanmaktadır. (Duran, 2011).

Çoklu yansımalar: Ekranlamadaki 3. mekanizmadır. Ekranlama materyalinden geçen dalga, materyalin arka yüzünde metal-hava sınırı ile karşılaşınca empedans farkından dolayı materyale geri yansıtılır. Çoklu yansımalar, numunenin içindeki homojen olmayan kısımlardan dolayı ortaya çıkmaktadır. Dalganın çoklu yansıması, ekranlama malzemesinin yüzeylerinde veya ara yüzlerinde gerçekleşmektedir. Bu mekanizma, geniş yüzey alanlı olan ya da geniş ara yüzleri bulunan malzemelerde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla bu mekanizma malzemenin özelliklerinden ziyade geometrisiyle ilgilidir. Geniş yüzey alanlı takviye malzemesi içeren kompozitler, gözenekli ve köpük yapısındaki malzemeler böyle malzemelere örnek olarak verilebilir (Duran, 2011).

4.4. Elektromanyetik Ekranlama Etkinliğini Değerlendirmede Kullanılan Ölçüm Yöntemleri ve Standartlar

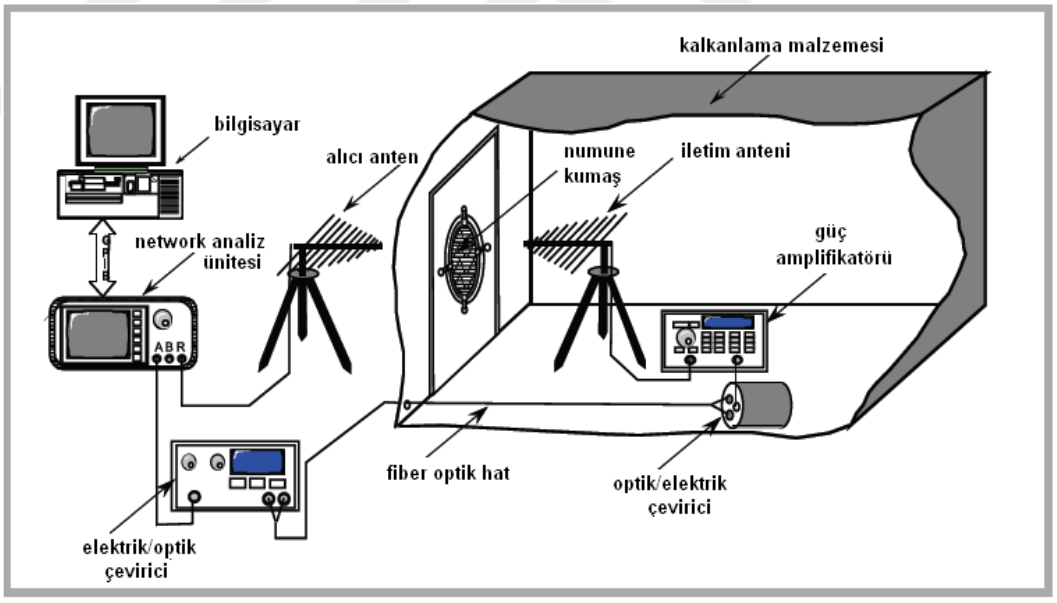
IEEE Std 299-1997, Mil-Std-285, NSA 65-6, EN50147-1 standartları tekstil yüzeyleri gibi düzlemsel materyallerin elektromanyetik ekranlama etkiliği ölçümlerinde kullanılmaktadır (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Mil-Std-285, ekranlama etkinliğini ölçmek için Amerika'da askeri amaçlı olarak 1956'da yayınlanmış olup, 100kHz-10GHz frekans aralığında ekranlanmış duvarlarda elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümü için en çok tercih edilen yöntemdi. Bu standartta teste tabi tutulan elektromanyetik alan bileşenleri ve frekanslar tanımlanmakta, gerekli olan cihazlar ve anten konfigürasyonları belirtilmektedir. Bu yönteme göre dalga kaynağı odanın içine, ölçüm cihazları odanın dışına yerleştirilmektedir (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Mil-Std-285 standardının modifiye edilmiş halinde ise ekranlama etkinliği değerlendirilecek olan materyal, tamamen ekranlanmış bir odanın içindeki açıklığa yerleştirilerek ölçüm yapılmaktadır. Bu standarda göre yapılan

ölçümlerde elektriksel alan şiddeti (E), manyetik alan şiddeti (H), güç (P) değerleri açıklığa numune yerleştirerek ve açıklığı boş bırakarak ölçülerek, bir önceki bölümde verilen formüller yardımıyla ekranlama etkinliği hesaplanır. Bu yöntemde iki ayrı yalıtımlı odacık (ya da bir yalıtımlı odacık) içine alıcı ve verici antenler yerleştirilmekte ve ölçüm yapılacak olan numune iki odacık arasındaki bir pencereye yerleştirilmektedir (Duran, 2011).

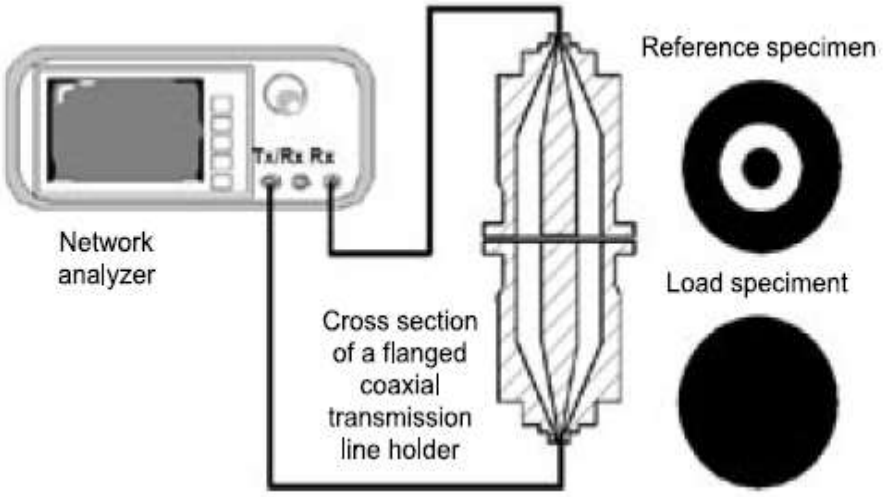
Test standardına göre, bir sinyal kaynağında üretilen sinyal verici anten ile atmosfere yayılmakta ve alıcı anten tarafından alınan sinyalin büyüklüğü ölçülmektedir. Sinyal üretimi için bir sinyal jeneratörü ve amplifikatör, alınan sinyalin büyüklüğünü ölçmek için ise bir spektrum analiz cihazı kullanılmaktadır. Yalıtımlı odalar sayesinde yalnızca sinyal jeneratörünün ürettiği sinyaller ölçülmekte, böylece ortamda bulunan diğer cihazlardan kaynaklanan sinyallerin (cep telefonları, bilgisayarlar, radyo dalgaları, vb.) ölçüm sonuçlarını etkilemesi engellenmektedir (Palamutçu ve Dağ, 2009).



Şekil 4. 2. Modifiye edilmiş Mil-Std-285 standardında tanımlanan ölçüm metodu (Palamutçu ve Dağ, 2009).

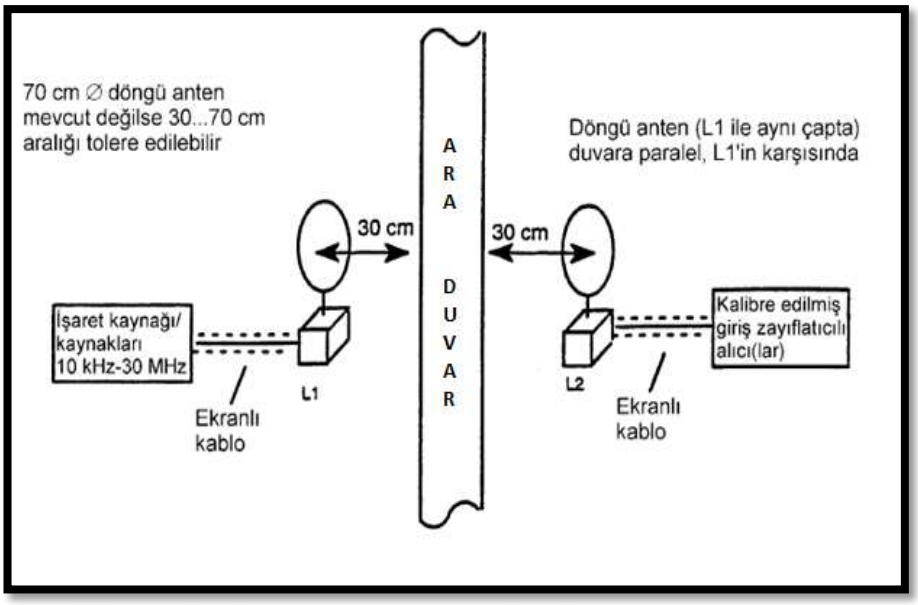
Mil-Std-285 standardında tanımlanan metotlar yerine daha sonra IEEE STD- 299 standardı geliştirilmiştir. Bu dokümanda kenar uzunluğu en az 2 m olan ekranlı odalardaki ekranlama etkinliği ölçüm yöntemleri tanımlanmaktadır. Bu standarda göre ölçümler, manyetik alan bileşeninin belirlenmesi için 9 kHz-20 MHz, elektriksel alan bileşeninin belirlenmesi için 20 MHz- 300 MHz, düz dalga gücünün belirlenmesi için 300 MHz- 18 GHz olmak üzere 3 aralıkta gerçekleştirilmektedir. 2005 yılında yapılan son düzenlemelerle IEEE-STD-299-2005 haline getirilen standartta ölçüm yöntemleri değiştirilmeyip, yalnızca belirsizlik ölçümleriyle ilgili bir bölüm ilave edilmiştir (Duran, 2011).

1989 yılında, tekstil malzemeleri gibi düzlemsel malzemelerin elektromanyetik ekranlama etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan ölçüm yöntemlerini tanımlayan ASTM D4935 standardı yayınlanmıştır. Bu standart en son 1999 yılında revize edilmiştir. ASTM D 4935- 99 standardı 2005 yılının eylül ayında ASTM D09.12 komitesi tarafından iptal edilmiş, fakat yerine yenisi önerilmemiştir. Bu doküman artık ASTM tarafından desteklenmiyor olsa da pek çok çalışmada bilgi amacıyla yer verilmekte ve standartta tanımlanan ölçüm yöntemi çalışmalarda hala düzlemsel materyallerin düz dalgaya karşı elektromanyetik ekranlama etkinliğinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu standarda göre ölçümler dış çapı 76 mm, iç çapı 33 mm olan 50 ohm'luk bir koaksiyel tutucu yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ölçümler 30 MHz- 1.5 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmektedir. Kullanılan network analizörlerden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle bu aralığın altındaki ve 1.7 GHz'in üstündeki frekanslarda ölçümlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır (Duran, 2011).



Şekil 4. 3. ASTM D 4935- 99 standardında tanımlanan ölçüm metodunun şematik gösterimi (Palamutçu ve Dağ, 2009).

Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümlerinde kullanılan bir diğer standart 1996'da yayınlanmış olan EN 50147-1 standardıdır. EN50147-1 standardı TSE tarafından 2005 yılında onaylanarak TS EN 50147-1 (Yankısız odalar) standardı getirilmiştir. Bu standartta elektrik alan ve manyetik alan zayıflatma deneyleri (referans ölçmeler) tanımlanmaktadır. Standart, 9 kHz - 40 GHz frekans aralığında ekranlı odaların ekranlama zayıflatmasının ölçmelerini kapsar (Duran, 2011). Ölçümler, antenler tam olarak birbirlerinin karşısına yerleştirilerek ve birbirlerinden Şekil 4.4'te gösterilen mesafelere duvar kalınlığı da eklenerek elde edilen bir mesafeyle ayrılmışken yapılmalıdır. Manyetik alanlar bir duvar paneline paralel şekilde ve doğrudan birbirlerinin karşısındaki döngü antenlerle ölçülmelidir. Manyetik alanlar için tavsiye edilen deney frekansları ise 10 KHz, 100 KHz, 1 MHz, 10 MHz ve 20 MHz'dir (Palamutçu ve Dağ, 2009).



Şekil 4. 4. TS EN 50147-1 standardına göre manyetik alan (Elektrik Alanı) ölçmesi için deney düzeneği (Palamutçu ve Dağ, 2009).

4.5. Elektromanyetik Ekranlamada Kullanılan Malzemeler

Ekranlama amacı ile kullanılacak malzeme, dalgaların malzemeye nüfuzunu minimize etmek için iyi elektrik iletkenliğine ve manyetik enerjiyi ısıya çevirmek için yüksek manyetik geçirgenliğe sahip olmalıdır. Yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemeler, yüksek frekans aralığında (>300 MHz) elektromanyetik ekran olarak davranabilirler. İyi iletkenler elektrik bileşeni E ve manyetik bileşeni H'yi eşit olarak azaltırlar. Fakat frekansın 30 MHz'den düşük olduğu durumlarda manyetik bileşen H'nin azaltılması çok zordur ve sadece ferro-manyetik malzemelerle mümkündür (Yılmaz, 2014). Metaller elektromanyetik koruyuculuk istenen durumlarda en çok kullanılan materyallerdir (Balkış, 2014).

Ekranlama yöntemi ve ekranlama malzemesinin seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler;

- Ekranlamanın türü ve karakteri
- Uygulama alanı
- Cihazın teknik ve fiziksel parametreleri ve

- Kurulumun bulunduğu yer (açık alan/kapalı oda) olarak özetlenebilir (Duran, 2011).

Ekranlama amacıyla seçilecek malzemeler ekranlama etkinliklerine göre üç gruba ayrılabilir;

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

b. Standart performanslı malzemeler: İletken metal tabakalar veya Metal parçacıklı plastikler (20-40 dB ekranlama etkinliği).

c. Zayıf performanslı malzemeler: Metalleştirilmiş kumaş yapılar ve iletken kâğıt malzemeler (iletken polimerler), (15-30 dB ekranlama etkinliği) (Balkış, 2014).

Elektromanyetik ekranlamada kullanılan klasik malzemeler; metal levha, metal ağ ve metal köpüğüdür. Ekrandaki ya da ağdaki delikler dışarıda tutulan radyasyonun dalga boyundan kayda değer şekilde küçük olmalıdır ki aksi takdirde etkin bir koruma sağlanamaz. Bu tip malzemeler radyo dalgaları, görünür ışık, elektromanyetik ve elektrostatik alanların etkisini azaltmaktadırlar (Yılmaz, 2014).

Bu azaltmadaki miktar:

- Kullanılan malzeme cinsine

- Ekranı oluşturan parçaların birleştirme şekline ve

- Elektromanyetik dalgaların frekansına bağlıdır (Yılmaz, 2014).

Elektromanyetik radyasyona karşı elektriksel olarak iletken tekstiller de iyi ekranlama malzemesi olarak kullanılabilirler. Tekstil malzemelerinin yüzey dirençleri genelde $10^{12}\Omega/cm^{2}$' den yüksektir. Bu da tekstil malzemelerinin

yalıtkan olduğu anlamına gelmektedir. Ekranlama işlemi için tekstil malzemesinin yüzey direncinin 10^5 Ω/cm^2'den düşük olması gerekir (Balkış, 2014).

Tekstil malzemeleri, yapılarına yeterli derecede iletkenlik özelliği kazandırıldığında, gözeneklilik, tutum, esneklik gibi konvansiyonel özelliklerinin yanı sıra yüksek elektromanyetik ekranlama etkinliği performansı da sergileyebilmektedir. Çizelge 4.2'de piyasada bulunan elektriksel iletkenlik özelliği kazandırılmış tekstil malzemelerinin elektromanyetik ekranlama etkinlikleri gösterilmektedir (Duran, 2011).

Çizelge 4. 2. Piyasada bulunan bazı iletken tekstil malzemelerinin ekranlama etkinlikleri (Duran, 2011).

Tekstil Materyali	**Ekranlama Etkinliği (dB)**
İletken karbon lifi	50-60
Gümüş lifleriyle ağ yapısında örülmüş kumaş	45-60
Kesiksiz karbon lifleriyle takviye edilmiş epoksi matriksli kompozit	35-45
Phantom (Bakır ve nikel kaplı poliester kumaş)	35-45
Flectron (Gümüş kaplı poliamid kumaş)	35-40
Filosano (Paslanmaz çelik tel ile dokunmuş pamuklu kumaş)	28-35
Sıvı kristal yapısındaki polimerler	20-30

Tekstil ürünlerine elektriksel iletkenlik özelliği kazandırma yöntemleri 3 başlıkta toplanabilir;

1. İletken özellikli kompozitler
2. İletken maddelerle yapılan kaplama ve bitim işlemleri
3. Yapıda iletken malzemelerin kullanılması

a) Elektriksel iletkenlik özelliğine sahip polimerlerle üretim

b) Karbon veya metallerin elyaf, filament, tel gibi farklı formlarda yapıya eklenmesi

4.5.1. Elektriksel olarak iletken kompozit malzemeler

Birbirlerinin zayıf yönlerini dengeleyerek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş farklı tür malzemelerden ya da fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denilmektedir (Yılmaz, 2014). Metal alaşımların aksine kompozit malzemelerde bileşenler, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini kaybetmezler. Kompozit malzemeler reçine (Matrix) ve takviye elemanı (Reinforcement) bileşenlerinden oluşur. Kompozitler temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli ya da kırpılmış elyaflardan oluşmaktadır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözünmezler ya da birbirlerine karışmazlar (Balkış, 2014).

Metallere göre sağladıkları üstün özellikler nedeni ile kompozit malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, bu malzemelerin hafif yapılarda kullanımında büyük avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında lif takviyeli kompozit malzemelerin korozyon dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için üstünlük sağlamaktadır (Yılmaz, 2014).

Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaflar;

1. Doğal elyaflar

2. Sentetik, organik elyaflar; Naylon, aramid (düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır)

3. Sentetik inorganik elyaflar; Cam, karbon vb. dir (Balkış, 2014).

Elektromanyetik ekranlamada kompozitlerin kullanımı oldukça yaygındır. Bu kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılan iki metot; plastik yüzeyini iletken bir malzeme ile kaplamak ve polimeri iletken bir dolgu malzemesi ile birleştirmek şeklinde özetlenebilir (Yılmaz, 2014).

4.5.2. İletken maddelerle yapılan kaplama ve bitim işlemleri

a) İletken Malzeme ile Kaplama

Elektriksel iletkenlik ya da elektromanyetik ekranlama özelliği göstermeyen konvansiyonel tekstil yüzeyleri (dokuma, örme, dokusuz yüzey) bazı kaplama metotlarıyla metalize de edilebilmekte ve böylece elektromanyetik ekranlama özelliği kazanabilmektedir. Kaplama kumaş; dokuma, dokusuz yüzey ve örme yüzeyden oluşmuş bir taban kumaşın bir yüzünü ya da her iki yüzünü kimyasal madde ile kaplamak (sürme, püskürtme, aktarma vb.) suretiyle oluşturulan kumaştır. Kaplanacak tekstil malzemelerinin üzerine (kağıt kumaşlar ve taftingler) sıvı ya da plastik maddeler sürülür. Sürülen bu tabaka, fiziksel veya kimyasal yöntemlerle sabitleştirilir ve bu kaplama sonucunda, yeni özelliklere sahip bir malzeme oluşur (Yılmaz, 2014).

Tekstil kaplamacılığı sayesinde kumaşı oluşturan lifler ile kazandırılmayacak özellikler, iletken malzeme olarak metal ve bir iletken polimerin mamule aktarılmasıyla kazandırılır (Yılmaz, 2014).

Kaplama işleminde her iki bileşenin de (yüzey ve polimer) birbiri ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, seçilen her iki bileşen de, kullanılan aplikasyon prosedürünü ve işlem sonucunu etkiler (Yılmaz, 2014).

b) Elektro-İletken Boyaların Kullanımı

Elektro- iletken boyalar nikel, bakır, gümüş ya da grafit tozu gibi elektriksel olarak iletken dolgu maddesiyle karıştırılmış akrilik, akrilik-üretan reçine gibi yapıştırıcılardan oluşan katı madde içeriğine sahiptir. Elektro- iletken boyanın ekranlama kapasitesi boyanın kalınlığıyla ilişkilidir. Bu sebeple fonksiyonel amaçlar için ve yeterli bir sonuç alabilmek için boyayı kalın ve üniform uygulamak önemlidir. Bu boyalar doğru şekilde kullanıldığında elektromanyetik alanlara karşı etkin bir ekranlama sağlamaktadır (Yılmaz, 2014).

4.5.3. Yapıda iletken malzemelerin kullanılması

4.5.3.1. Elektriksel iletkenlik özelliğine sahip polimerlerle üretim

Tekstil malzemelerinin iletken hale getirilmesinde polianilin, polivinilalkol, poliamid 11 gibi kendiliğinden iletkenlik özelliğine sahip polimerlerin kullanılması mümkündür. İletken polimerler hala gelişmekte olan bir alandır. İletken polimerler konvansiyonel polimerlerle çeşitli yöntemler kullanılarak karıştırılabilirler. Ayrıca lif, iplik ve kumaş yapılarının iletken polimerlerle kaplanması ya da bu polimerlerin bu yapılara ilave edilmesi de mümkündür (Duran, 2011).

İletken polimerlerle kaplı en yaygın materyaller polyester, naylon, cam ve poliüretan tekstillerdir. Buna ek olarak, kuvars, aramid ve akrilik te kaplanabilmektedir En yaygın kullanılan iletken polimerler ise politiyofen (PTh), Polianilin (PANI), polipirol (PPy)'dir. Bu tip polimerler, yüksek iletkenlik, esneklik ve hafiflik sağlamakta, ayrıca yapışma özellikleri de daha iyi olup aşınma problemine neden olmamaktadırlar. Bunun yanında, bilinen yöntemleri kullanarak polimer kaplamanın yapılması zordur. Araştırmacılar tarafından, Polianilin ve polipirol gibi polimerlerin daha fazla çalışılmasının sebebi, bu malzemelerin çevresel şartlara dayanıklılığı, yüksek elektriksel iletkenliği ve termal ve kimyasal olarak kararlılıklarıdır (Yılmaz, 2014).

İletken polimerlerin askeri uygulamalarda, elektrik ve bilgisayar teknolojisi gibi alanlarda kullanımları vardır. Çok düşük akımlar üretmeleri ve uzun ömürlü olmaları sebebiyle kalp pillerinde elektrot olarak kullanılabilirler. Radyo frekansı ya da kızılötesi dalgalar gibi gönderilen bütün radyasyonu emebildikleri için bu polimerler görünmez cihazların yapımında kullanılmışlardır (Balkış, 2014).

4.5.3.2. Karbon veya metallerin elyaf, filament, tel gibi farklı formlarda yapıya eklenmesi

Tekstil yapısına karbon veya bakır, gümüş, çelik gibi metallerin tel veya elyaf gibi farklı formlarda eklenmesiyle iletken özellikli tekstil malzemelerinin

elde edilmesi mümkündür. Karbon lifleri veya karbon ile doldurulmuş lifler iyi iletkenlik özelliği sergilemekte, fakat estetik bakımından problemler yaratmaktadır. Metal elyaf ve filamentler, ağırlık, maliyet, üretim sırasında makinelere zarar verme gibi bazı dezavantajları olsa da, yüksek iletkenlik özellikleri sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. İletken materyaller kumaş yapısına lif ya da iplik formunda eklendiğinde birbirlerine yakın olarak yerleştiklerinden iletken ağlar kolaylıkla kurulabilmektedir (Duran, 2011).

Yapısında iletken lif bulunduran kumaşlar dokuma, örme ya da dokusuz yüzey olarak üretilebilmektedir. Dokuma ve örme kumaşlarda iletken lif ve filamentler kumaşa genellikle iplik yapısından entegre edilmektedir. Kumaş yapısında genellikle gümüş, bakır, çelik gibi elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik ekranlama etkinliği değerleri iyi olan metaller tercih edilmektedir. Metal içerikli bu ipliklerin üretiminde ring eğirme sistemi, open-end eğirme sistemi ve bunların modifiye edilmiş versiyonları, sürtünmeli eğirme sistemleri, katlama ve büküm makineleri kullanılabilmektedir. Metal içerikli hibrid iplik yapıları, üretim yöntemlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilmektedir;

- İçinde metal filament bulunduran özlü iplikler
- Kesikli metal liflerinin başka liflerle karıştırılarak eğrilmesi ile elde edilen karışımlı iplikler
- Metal filamentin kesikli liflerin üzerine sarılmasıyla elde edilen sarımlı iplikler

- İletken iplik ya da filamentin başka iplik ya da filamentlerle birlikte bükülmesiyle elde edilen iplik yapıları (Duran, 2011).



Şekil 4. 5. Metal içerikli iplik yapıları (Duran, 2011)

4.6. Elektromanyetik Koruyuculuk Sağlayan Tekstil Malzemelerinin Kullanım Alanları

Hem tekstil malzemelerinin konvansiyonel özelliklerini, hem de iletkenlik fonksiyonunu bünyelerinde birleştiren iletken tekstiller; tıbbi ve askeri uygulamalar, mimari tekstiller, ev tekstilleri, spor ve serbest zaman gibi pek çok konuda uygulama alanı bulmaktadır (Duran, 2011).

Tekstil malzemelerinin elektromanyetik koruyucu malzemeler olarak kullanıldıkları yerler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yüksek frekanslı elektromanyetik alanlara karşı koruma

- Özel binalardaki (askeriye, bankalar vb.) elektromanyetik dalgalara karşı korumalı odalarda güvenliği sağlamak için kullanılan perdeler, duvar kağıtları

- Radyoloji ve fizyoterapi alanında çalışan personel için kıyafetler

- Fizyoterapi odalarının duvar kaplanması

- Hassas elektronik cihaz ve sistemlerin çevredeki elektromanyetik alana karşı korunması

- Evde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazların ya da cep telefonları, bilgisayarlar ve çeşitli elektronik cihazların ekranlanması

- Uçakların elektronik kontrol sistemlerinin ekranlanması

- Kalp pillerinin dış etkilere karşı korunması

- Uyku konforu sağlamaya yarayan cibinlik, çarşaf ve yatak örtüleri (Duran, 2011).

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

Bu çalışmada bakır özlü ipliklerin eğrilmesinde 0,05 mm ve 0,07 mm çaplarında emaye bakır filament ile Ne 0,79 inceliğinde pamuk fitilleri kullanılmıştır.

Bakır özlü ipliklerin üretiminde manto materyali olarak kullanılan karde pamuk lifleri fitil formunda Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği iplik işletmesinden temin edilmiştir. Özde kullanılan bakır filamentlerden ise 0,05mm çapında olan bakır tel, Emelsan – Gürcan Putiş A.Ş.-İzmir'den, 0,07 mm çapında olan bakır tel ise Erbakır A.Ş.- Denizli'den temin edilmiştir.

Özlü ipliklerin üretiminde kullanılan hammaddeler ve özellikleri sırasıyla Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5. 1. Özlü ipliklerin üretiminde kullanılan öz ve fitil incelikleri

Öz Türü	Öz inceliği	İplik Türü ve İnceliği	Pamuk Fitil No
Emaye Bakır Monofilament	0,05 mm	Ne 8 Bakır Özlü Ring	Ne 0,79 Karde
Emaye Bakır Monofilament	0,07 mm	Ne 8 Bakır Özlü Ring	Ne 0,79 Karde

5.2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmada, bakır özlü ring iplikleri üretilerek daha sonra bu iplikler atkı ipliği olarak dokuma kumaş yapısına entegre edilmiştir.

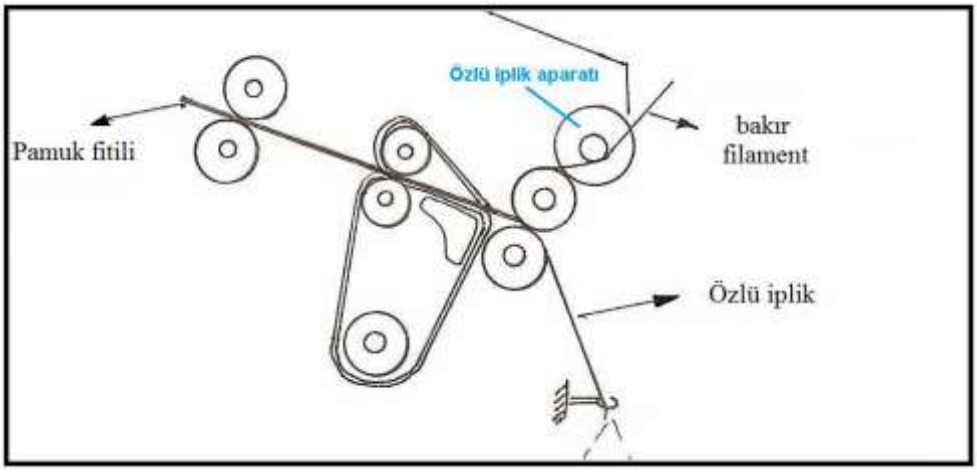
5.2.1. İplik üretimi

Çalışmada bakır filamentlerle özlü ring ipliği üretilmiştir. Özlü iplik üretimi, temin edilen bakır filamentler ve karde pamuk fitilleri kullanılarak, Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesinde (Şekil5.1) gerçekleştirilmiştir.

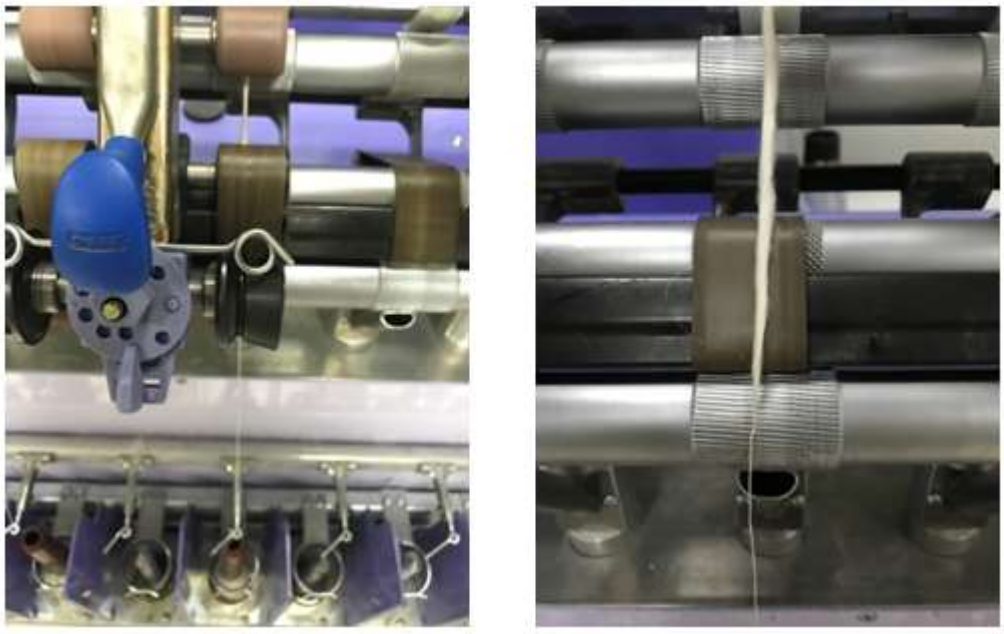


Şekil 5. 1. Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesi

Özlü ipliklerin üretimi için bu makinede bir özlü iplik aparatı kullanılmıştır. (Şekil 5.2 ve 5.3) Çıkış silindirlerinin üzerine yerleştirilmiş olan bu aparat sayesinde filamentin ipliğin özüne, bükümden önce eğirme üçgeninin tam ortasına beslenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 5. 2. Özlü iplik üretiminde çekim bölgesi ve özlü iplik aparatı (Balkış, 2014)



Şekil 5. 3. Özlü iplik aparatı ve özlü iplik görüntüsü

İplik üretimi Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü İplik İşletmesi'nde bulunan Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesinde yapılmıştır. Çizelge 5.2.'de iplik üretimindeki makine çalışma şartları verilmiştir.

Çizelge 5. 2. Özlü ipliklerin iplik makinesindeki çalışma şartları

Bakır Çapı	0,05 mm	0,07 mm
Pamuk Fitil Numarası	Ne 0,79 Karde	Ne 0,79 Karde
İplik Numarası	Ne 8	Ne 8
Makine Türü	Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesi (özlü iplik aparatı ile birlikte)	Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesi (özlü iplik aparatı ile birlikte)
İğ Devri	5000 d/dak	5000 d/dak
Bilezik Çapı	40 mm	40 mm
α_e	4,2	4,2
Çekim	14.3	18
T/m	550	550
Kopça	10 C tipi	10 C tipi

0,05 mm çaplı bakır filament iplik özünde kullanılarak 4272 gram iplik üretilmiştir.

0,07 mm çaplı bakır filament iplik özünde kullanılarak 3974 gram iplik üretilmiştir.

5.2.2. Kumaş üretimi

Çalışma kapsamında üretilen iplikler 3/1 Dimi dokuma yapısında atkı ipliği olarak kullanılmıştır. Çözgü ipliği olarak tüm kumaşlarda Ne 20/2 pamuk ipliği kullanılmış olup çözgü sıklığı cm de 12 olarak sabit tutulmuştur. Çalışmada üretilen kumaşlar Çizelge 5.3'te görülmektedir.

Çizelge 5. 3. Çalışmada üretilen dokuma kumaşlara ait deney planı

Atkı İpliği	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	Çözgü İpliği	Çözgü Sıklığı (çözgü/cm)	Dokuma Kumaş Yapısı
Bakır (0,05 mm) özlü, Ne 8, ring	8	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,05 mm) özlü, Ne 8, ring	13	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,05 mm) özlü, Ne 8, ring	18	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,05 mm) özlü, Ne 8, ring	23	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,05 mm) özlü, Ne 8, ring	28	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,07 mm) özlü, Ne 8, ring	8	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,07 mm) özlü, Ne 8, ring	13	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,07 mm) özlü, Ne 8, ring	18	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,07 mm) özlü, Ne 8, ring	23	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi
Bakır (0,07 mm) özlü, Ne 8, ring	28	%100 Pamuk, Ne 20/2, ring	12	3/1 Dimi

Dokuma kumaş üretimi Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği dokuma işletmesinde bulunan Sulzer Ruti D1 mekikçikli dokuma makinesinde (Şekil 5.4) yapılmıştır. Makine ayarları Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 4. Dokuma makinesi çalışma şartları

Makine Türü	Sulzer Ruti D1 dokuma makinesi
Makine Devri	320 d/dak
Atkı Atma Mekanizması	Mekikçikli
Ağızlık Açma Mekanizması	Eksantrikli
Tezgah Eni	1,68 m
Çözgü Tel Sayısı	2047



Şekil 5. 4. Sulzer Ruti D1 mekikçikli dokuma makinesi

5.3. Hammadde Özelliklerinin Belirlenmesi

Özlü ipliklerin üretiminde manto materyali olarak kullanmak üzere Ne 0,79 inceliğinde pamuk fitili kullanılmıştır. Özlü ipliklerin üretiminde öz materyali olarak kullanılan bakır tellerin incelik değerleri olarak firmaların belirtmiş olduğu değerler alınmıştır.

5.4. İplik Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada üretilen ipliklerin iplik numarası ölçülmeden önce 24 saat 20°C±2 ve %65±5 relatif nem koşullarında kondisyonlanmıştır.

5.4.1. İplik numarası ölçümü

İplik numaraları, otomatik metrik çıkrık ile 10 kopstan 100'er metrelik iplik çileleri hazırlanıp hassas terazide tartılarak belirlenmiştir.

5.5. Kumaş Özelliklerinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında bakır özlü iplikler ile üretilen dokuma kumaşlara Hava Geçirgenliği, Gramaj, Kalınlık ve Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği testleri uygulanmıştır. Testler Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Fiziksel Tekstil Muayeneleri Laboratuarı'nda yapılmıştır.

5.5.1. Hava geçirgenliği ölçümü

Hava geçirgenliği ölçüm cihazı olarak TEXTEST FX- 3300 (Şekil 5.5) kullanılmıştır. Test her numune için 10 kez tekrarlanmış olup, 20cm^2 deney alanında, 100Pascal basınç altında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları l/m^2/s cinsinden elde edilmiştir.



Şekil 5. 5. Hava geçirgenliği ölçümü

5.5.2. Kumaş gramajı ölçümü

Gramaj ölçümü, gramaj şablonu (Şekil 5.6) yardımıyla her kumaştan 100cm^2 alanlı 5'er numune alınıp, hassas terazide tartılarak yapılmıştır. (Şekil 5.7) Sonuçlar g/m^2 cinsinden elde edilmiştir.



Şekil 5. 6. Gramaj şablonu ve numuneler



Şekil 5. 7. Kumaş gramaj ölçümü

5.5.3. Kumaş kalınlığı ölçümü

Her numunenin atkı ve çözgü dizisi içeren 10 farklı yerinden ölçüm yapılmıştır. Ölçümler SDL Atlas Digital Thickness Gauge cihazında (Şekil 5.8), 20cm^2 ölçüm alanı ve 200 gr yük ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. 8. SDL Atlas Digital Thickness Gauge cihazı

5.5.4. Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümü

Elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümleri, Consept Test ve Teknoloji Merkezi tarafından geliştirilen Elektromanyetik Alan test sistemi kullanılarak yapılmıştır. Elektromanyetik ekranlama test sisteminin bileşenleri aşağıda verilmektedir;

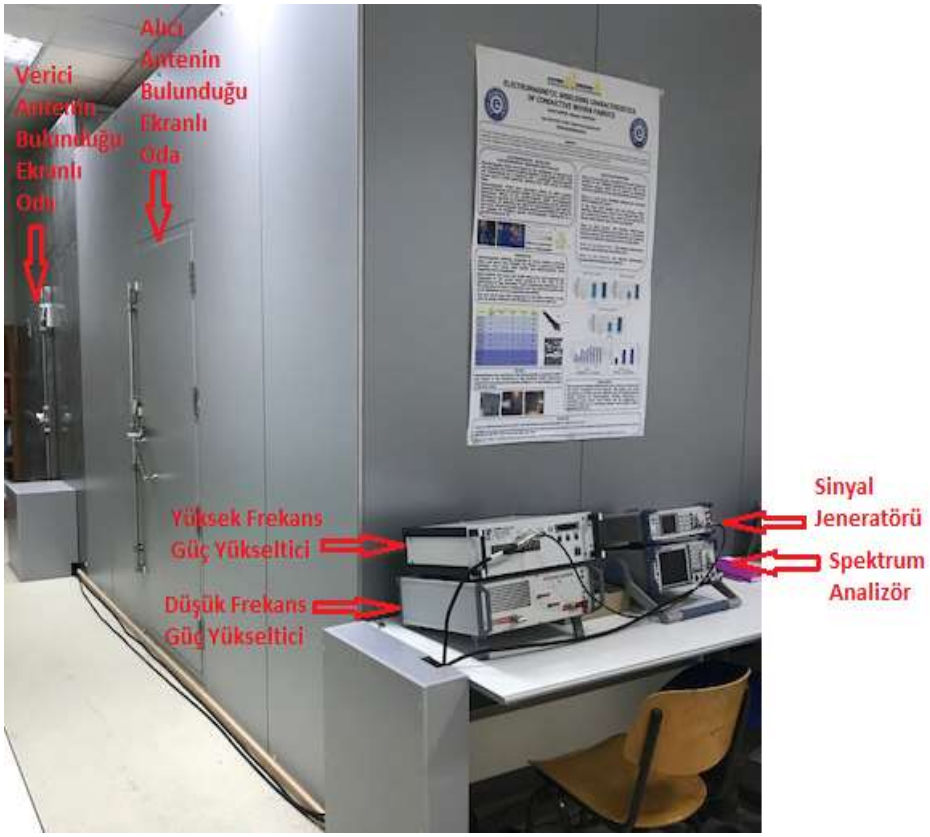
- Elektromanyetik dalgaları geçirmeyerek hem deney sistemini dışarıdaki elektromanyetik etkilerden koruyan, hem de dış ortamı ölçümler sırasında üretilen elektromanyetik dalgalardan yalıtan 2 adet ekranlı oda,

- Sinyalleri üreten bir Sinyal jeneratörü,

- İki RF ve Mikrodalga güç yükselticisi,

- Sinyallerin seviyelerinin ölçüldüğü bir Spektrum Analizör,

- Biri sinyal jeneratörüne bağlı 1.odada bulunan, diğeri spektrum analizöre bağlı 2.odada bulunan, alıcı ve verici olarak çalışan 2 adet anten (Şekil 5.9).



Şekil 5. 9. Ekranlı odalar, güç yükseltici, spektrum analizör ve sinyal jeneratörü

Sinyal jeneratörüne bağlı verici antenin bulunduğu odanın iç duvarlarında, ortamı dışarıdaki elektromanyetik dalgalardan izole etmeye ve ölçüm sırasında oluşabilecek dalga yansımalarını engellemeye yarayan piramitler (Şekil 5.10) bulunmaktadır.



Şekil 5. 10. Verici antenin bulunduğu odanın iç duvarları, piramitler

Şekil 5.11'de verici anten gösterilmektedir.



Şekil 5. 11. Verici anten

Ölçümler EN50147-1 standardına göre 1GHz- 6GHz frekans aralığında, her kumaştan 3'er ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde gönderilen sinyal değeri olarak 100 dBμV kullanılmıştır. Ölçümler sırasında kumaşlar iki oda arasındaki açıklığa, atkı iplikleri dikey eksene paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir.

İki ekranlı oda arasındaki açıklığa yerleştirilmiş olan numune kumaş ve verici anten Şekil 5.12'de gösterilmektedir.



Şekil 5. 12. Alıcı anten ve boşluğa takılı numune

Sistemin çalışma prensibine göre; sinyal jeneratöründe üretilen sinyaller yükselticide yükseltildikten sonra verici anten vasıtasıyla ekranlı odaların arasındaki duvardaki boşluğa yerleştirilmiş olan kumaşın üzerine gönderilmektedir.

Alıcı ve verici anten arasında yerleştirilmiş olan kumaş tarafından diğer tarafa geçirilen sinyallerin değeri ölçülerek, numune tarafından bloke edilen elektromanyetik alanın değeri hesaplanmaktadır. Spektrum analizörde, her ölçüm için bir frekans spektrumu oluşmaktadır. Elektromanyetik ekranlama etkinliği, her frekans değeri için kumaşa gönderilen sinyal değeri ile spektrum analizördeki frekans spektrumundan okunan sinyal değeri arasındaki farkın hesaplanmasıyla bulunmaktadır.

Ölçümler sırasında herhangi bir kayıp yaşanmadığından emin olmak için boş ölçüm de yapılır (kumaşsız). Esas elektromanyetik ekranlama etkinliği, boş ölçüm sonuçlarından numuneli ölçüm sonuçları çıkartılarak bulunur.

Bu çalışmada, yüksek frekanslı elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerde verici anten-duvar mesafesi 165 cm, alıcı anten-duvar mesafesi 185 cm alınmıştır.

5.5.4.1. Yüksek frekanslı elektromanyetik ekranlama etkinliği ölçümü

Bu ölçümler 1 GHz-6 GHz aralığını kapsamakta olup, "yüksek frekanslı ölçümler" olarak adlandırılmaktadır. Bu gruptaki ölçümler 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 GHz frekans değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm numunesinin boyutları 30cm*30cm'dir. (Şekil 5.13)



Şekil 5. 13. Ekranlama etkinliği ölçümü için hazırlanmış 30cm*30cm boyutunda numune 5.18

Kumaş numunelerinin öz inceliği ve atkı sıklığına göre kodlamaları Çizelge 5.5'te açıklanmıştır.

Çizelge 5. 5. Kumaş numunelerinin öz inceliği ve atkı sıklığına göre kodlamaları

Kumaş Kodu	Öz İnceliği (mm)	Atkı Sıklığı (atkı/cm)	İplik Numarası	Kumaş Yapısı
5.28.	0,05	28	Ne 8 Bakır Özlü Ring	3/1 Dimi
7.28.	0,07	28		
5.23.	0,05	23		
7.23.	0,07	23		
5.18.	0,05	18		
7.18.	0,07	18		
5.13.	0,05	13		
7.13.	0,07	13		
5.8.	0,05	8		
7.8.	0,07	8		

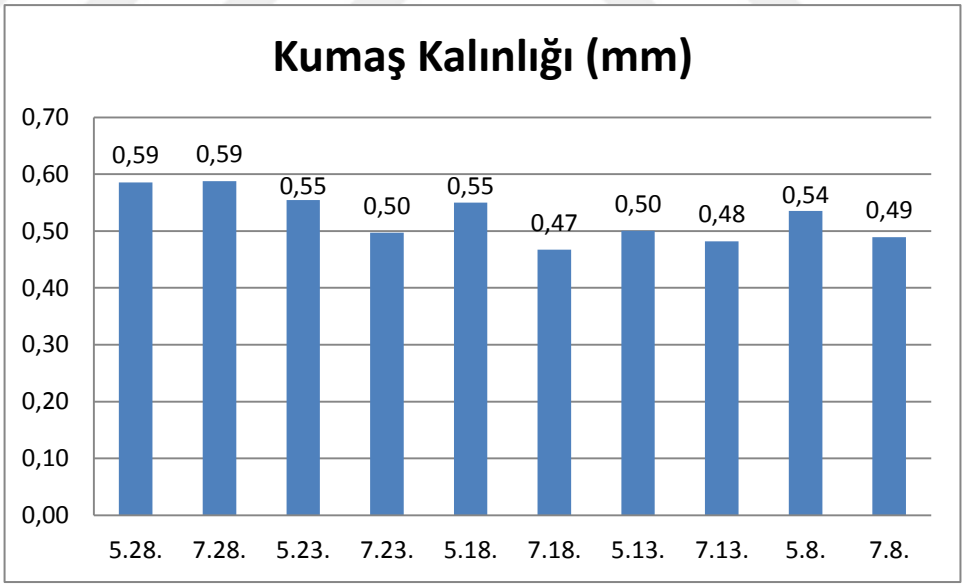
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, yapılan testlerin sonuçları kullanılarak, kullanılan hammadde, üretim yöntemi, kumaş yapısı gibi etkenlerin elektromanyetik ekranlamaya etkisi incelenmiştir.

Kumaşlardaki atkı sıklığı, hava geçirgenliği, kumaşın kalınlığı ve kumaşlara uygulanan frekansın elektromanyetik ekranlama etkinliği (EMSE) üzerine etkisini incelemek için SPSS istatistik programı yardımıyla varyans analizi yapılmıştır. Alt gruplar arasında farklılık olup olmadığını görmek için SNK (Student-Newman-Kleus) ve T testi uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Varyans analizlerinden elde edilen F değerleri ve bunların α =0,05 (%95 güvenilirlik) seviyesine göre önemliliği çizelgeler halinde verilmiştir.

6.1. Kalınlık Testi Sonuçları

Kalınlık testi sonuçları Şekil 6.1'de gösterilmektedir.

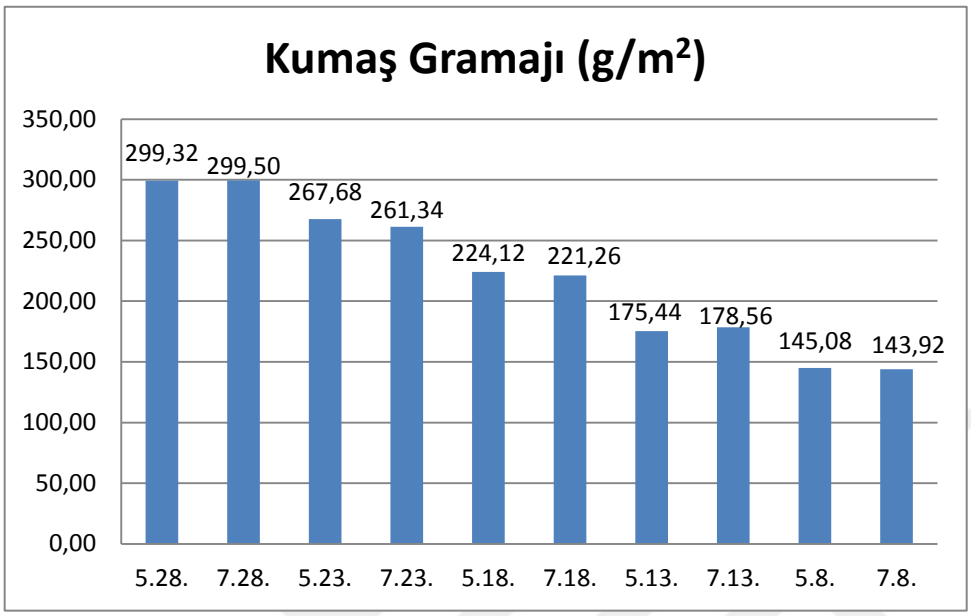


Şekil 6. 1. Numunelerin kumaş kalınlığı test sonuçları

Yapılan kalınlık testi sonuçlarına göre, öz inceliği ve atkı sıklığının kumaş kalınlığı üzerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır. Bunun, tez kapsamında üretilen bütün ipliklerin aynı numara olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.2. Gramaj Testi Sonuçları

Gramaj testi sonuçları Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



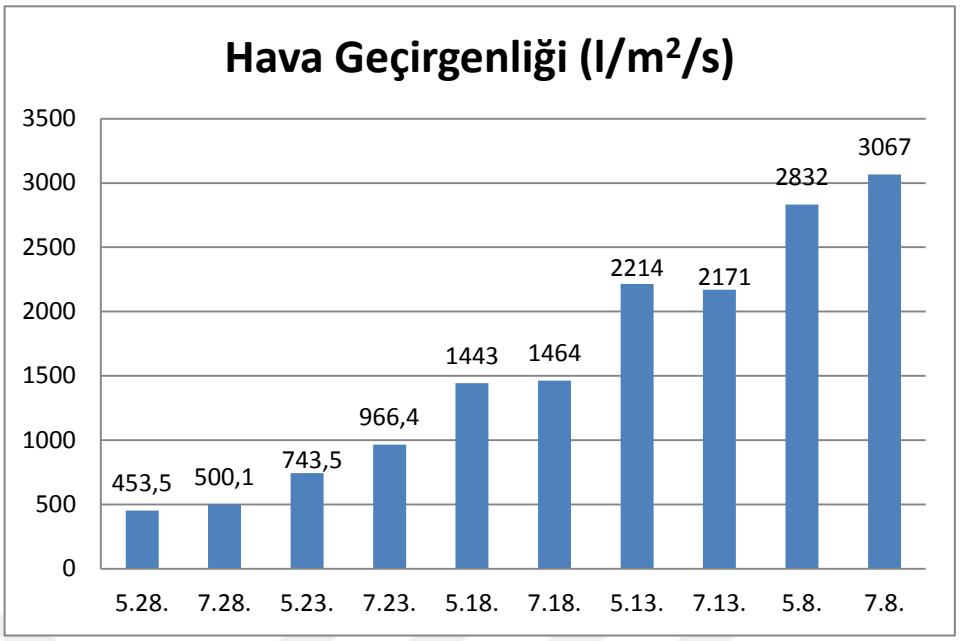
Şekil 6. 2. Numunelerin kumaş gramajı test sonuçları

Gramaj testinin sonuçlarına göre, öz inceliği kumaş gramajını önemli bir oranda etkilememiştir. Bunun, 0,05 mm çaplı bakır telin etrafına, 0,07 mm çaplı bakır tel ile aynı numarada iplik yapabilmek için daha fazla pamuk sarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak aynı grama tekabül etmektedirler.

Ancak atkı sıklığı azaldıkça kumaşın gramajının azaldığı görülmektedir. Çünkü atkı sıklığının azalması, cm'ye düşen tel (iplik) sayısının azalması demektir.

6.3. Hava Geçirgenliği Test Sonuçları

Hava geçirgenliği test sonuçları Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6. 3. Numunelerin hava geçirgenliği test sonuçları

Hava geçirgenliği test sonuçlarına göre, öz inceliği ve atkı sıklığının hava geçirgenliği üzerine etkilerinin olduğu söylenebilir. Şekil 6.3'e bakıldığında, öz inceliği arttıkça (filamentin çapı kalınlaştıkça) hava geçirgenliğinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebinin bakır filamentin rijiditesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Bununla ilgili daha detaylı bilgi '6.4.2. Öz İnceliğinin Ekranlama Etkinliği'ne Etkisi' bölümünde verilecektir.

Atkı sıklığı azaldıkça hava geçirgenliğinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, atkı sıklığı azaldıkça kumaşın gözenekliliğinin artmasıdır.

6.4. Ekranlama Etkinliği Test Sonuçları

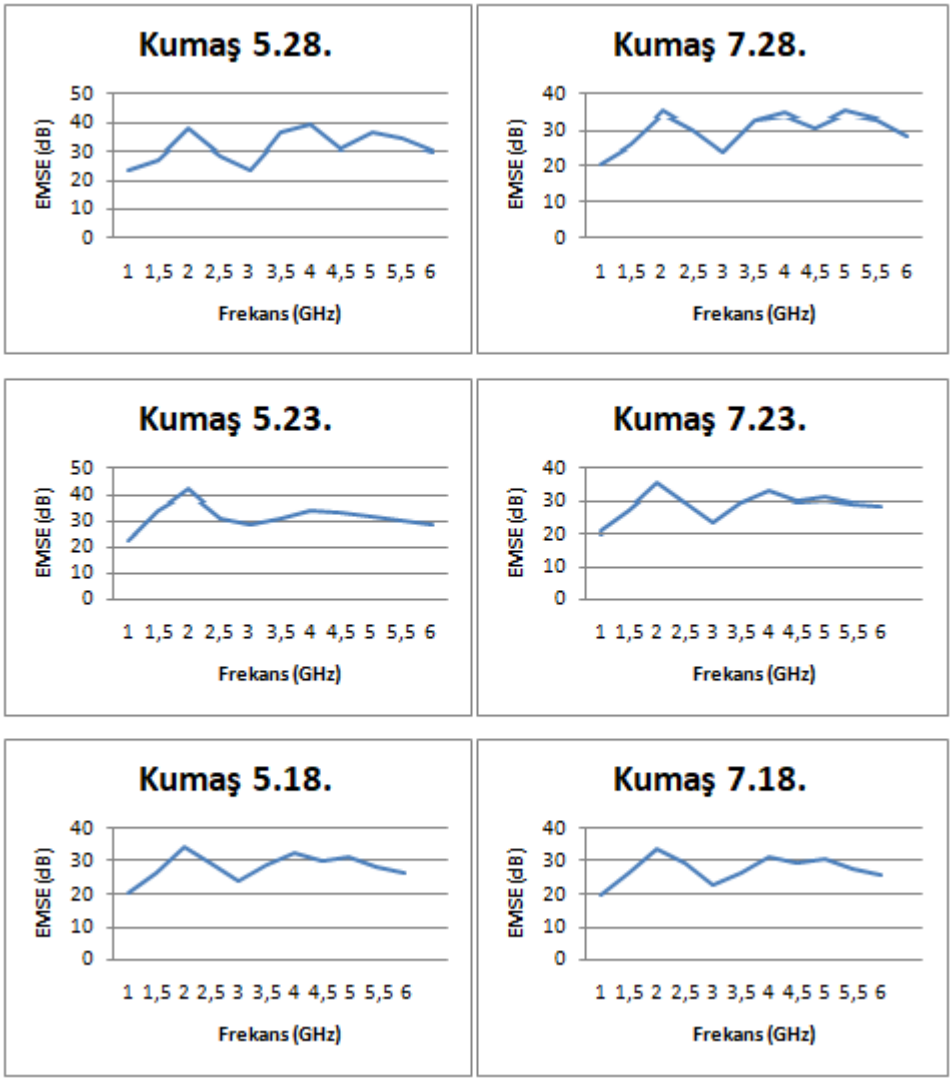
6.4.1. Frekansın ekranlama etkinliğine etkisi

Kumaşların ekranlama etkinliği değerleri desibel cinsinden Çizelge 6.1'de verilmektedir.

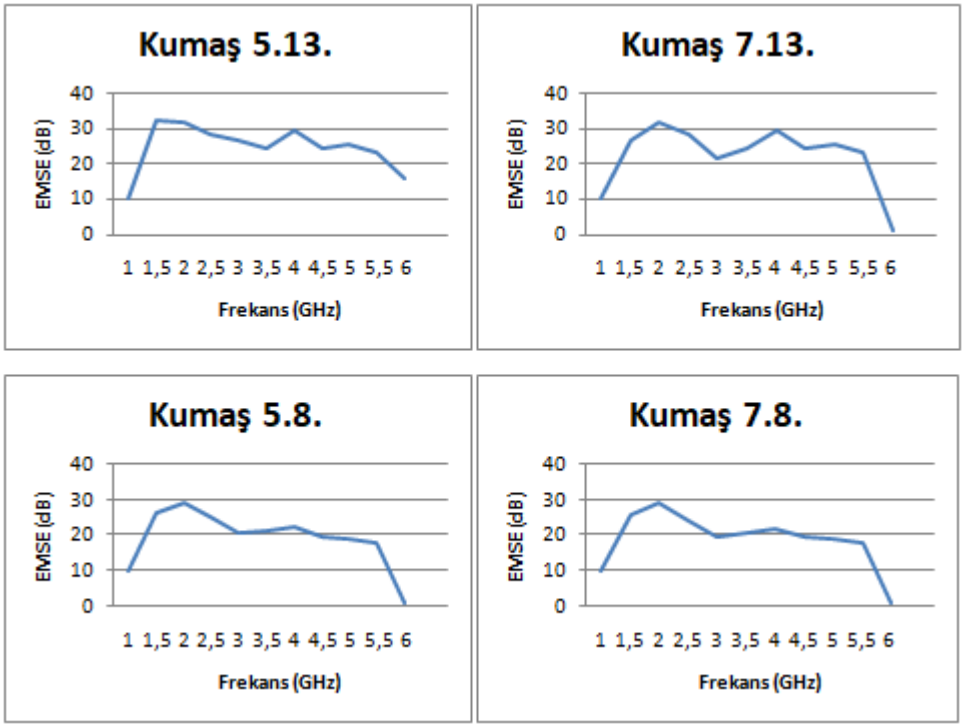
Çizelge 6. 1. Kumaşların ekranlama etkinliği test sonuçları (dB)

	1 GHz	1,5 GHz	2 GHz	2,5 GHz	3 GHz	3,5 GHz	4 GHz	4,5 GHz	5 GHz	5,5 GHz	6 GHz
5.28.	23,68	27,42	38,02	28,89	23,49	36,99	39,74	31,27	36,96	34,93	30,44
7.28.	20,52	26,15	35,49	30,51	24,26	33,09	35,34	30,97	35,68	33,30	28,93
5.23.	22,42	34,37	42,47	31,37	28,65	31,43	34,17	33,50	31,71	30,34	28,58
7.23.	20,96	27,54	35,82	29,82	23,80	29,77	33,56	30,06	31,61	29,43	28,94
5.18.	20,15	26,55	34,70	29,82	23,79	29,22	32,85	30,00	31,28	28,19	26,26
7.18.	19,72	26,55	33,95	29,59	22,96	26,74	31,34	29,44	30,68	27,97	25,71
5.13.	10,06	32,37	31,80	28,16	26,70	24,24	29,48	24,21	25,32	23,10	15,72
7.13.	10,06	26,39	31,77	28,14	21,66	24,18	29,48	24,21	25,32	23,10	1,02
5.8.	10,06	26,39	29,37	25,62	20,85	21,57	22,42	19,82	19,33	18,12	0,94
7.8.	10,06	25,82	29,37	24,46	19,58	21,12	21,97	19,64	19,33	18,08	0,94

Numunelerin frekans ile değişen ekranlama etkinliği grafikleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterilmektedir.



Şekil 6. 4. Numunelerin ekranlama etkinliği test sonuçları



Şekil 6. 5. Numunelerin ekranlama etkinliği test sonuçları – devamı

Çizelge 6. 2. Frekans için tek yönlü varyans analizi sonuçları

Kaynak	F	Önemlilik
Frekans	20,942	,000

α = 0,05 seviyesinde önemlidir.

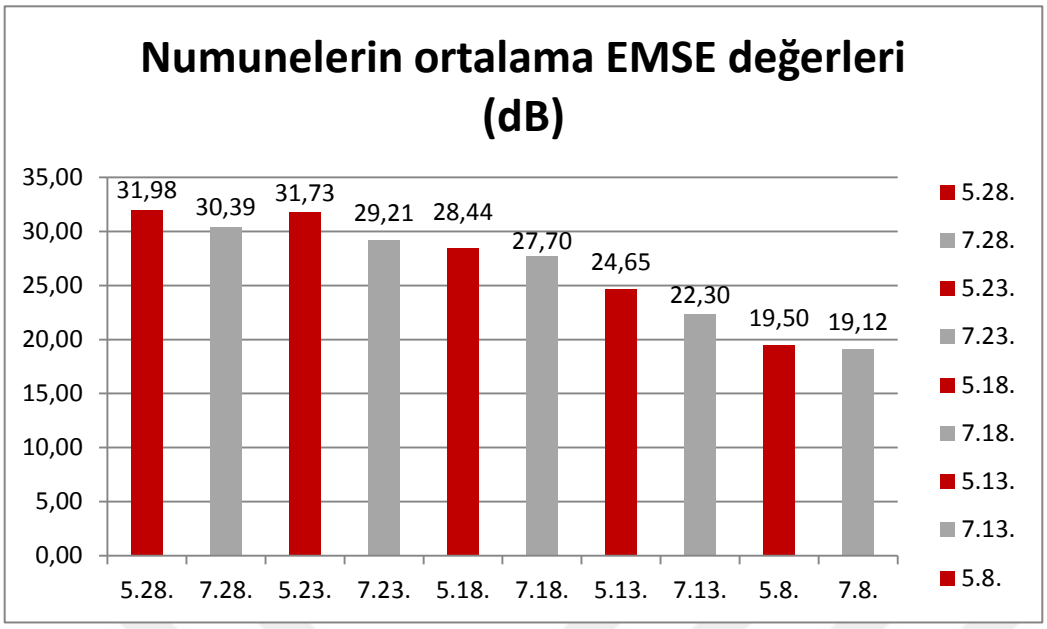
Çizelge 6. 3. Frekans'ın EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları

Frekans	N	Alt Gruplar			
		1	2	3	4
1,0	30	16,7680			
6,0	30	18,7480			
3,0	30		23,5743		
5,5	30		26,6567	26,6567	
4,5	30			27,3120	
3,5	30			27,8357	
1,5	30			27,9560	
2,5	30			28,6373	
5,0	30			28,7213	
4,0	30			31,0353	
2,0	30				34,2767
Önemlilik		,209	,051	,081	1,000

Varyans analizine göre, %95 güven aralığında frekans değişiminin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Şekil 6.4 ve 6.5'te her numunenin frekanslara göre ekranlama etkinliği değişimleri görülmektedir. Dalga frekansı arttıkça, arada sapmalar olsa da ekranlama etkinliği, atkı sıklığı 28, 23 ve 18 tel/cm olan numunelerde hafif bir artma, atkı sıklığı 13 ve 8 tel/cm olan numunelerde ise bir azalma eğilimi göstermektedir.

6.4.2. Öz İnceliğinin ekranlama etkinliğine etkisi

Şekil 6.6'da 2 farklı öz ve 5 farklı atkı sıklığında dokunan kumaşların ortalama ekranlama etkinliği değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6. 6. Numunelerin ortalama EMSE değerleri

Çizelge 6. 4. Öz inceliği için eşleştirmeli T testi sonuçları

Eşleştirilmiş Örnekler	Ort.	%95 güven aralığı		Önemlilik (çift yönlü)
		Alt limit	Üst limit	
0,05 mm ve 0,07mm çaplı öz incelikleri	1,51636	,92627	2,10646	,000

α = 0,05 seviyesinde önemlidir.

%95 güven aralığında öz inceliğinin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Şekil 6.6'ya bakılarak, aynı kumaş sıklığındaki iki farklı öz inceliğinde kumaş karşılaştırıldığında, öz inceliğinin ekranlama etkinliği değeri üzerine etkisinin değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

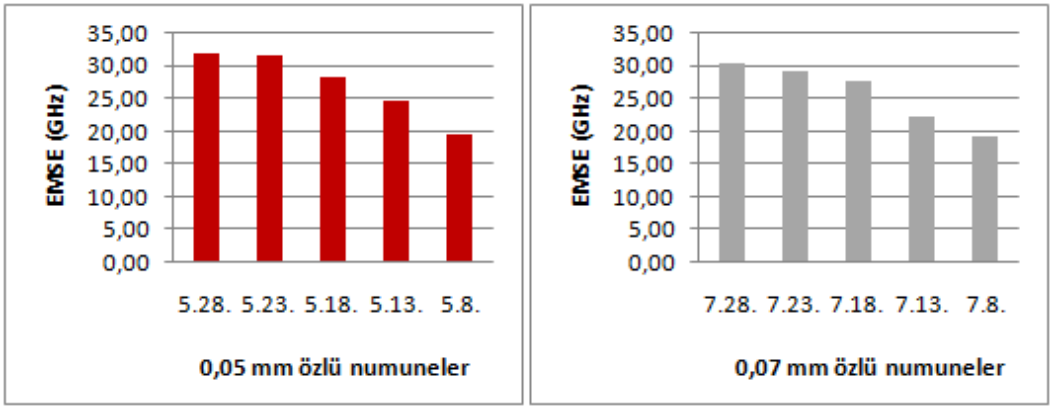
Öz inceliği arttıkça, yani özde kullanılan bakır telin çapı kalınlaştıkça, kumaşların ekranlama etkinliği değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi literatürde, bakır filamentin fiziksel özellikleri ile açıklanmaktadır. Bakır, polimerik tekstil malzemelerine göre daha rijit bir malzeme olduğundan, dokuma işlemi sırasında eğilmeye direnç göstermektedir. Çap kalınlaştıkça bakır

monofilamentin rijiditesi artmaktadır. İpliğin özündeki bakır filamentin çapı arttıkça, ipliğin eğilip form alması zorlaşmakta ve üretilen kumaşta açıklıklara neden olmaktadır (Perumalraj et al., 2009; Duran, 2011).

İletken filament çapının artmasıyla ekranlama etkinliğinin azalmasına literatürde başka çalışmalarda da rastlanmıştır (Cheng, K.B. et al., 2006; Perumalraj et al., 2009; Palamutçu vd.,2010 ; Duran, 2011).

6.4.3. Atkı sıklığının ekranlama etkinliğine etkisi

Atkı sıklığının ekranlama etkinliğine etkisi Şekil 6.7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. 7. 0,05 ve 0,07 mm çaplı bakır özlü numunelerin ortalama EMSE değerleri

Çizelge 6. 5. Atkı sıklığı için tek yönlü varyans analizi sonuçları

Kaynak	F	Önemlilik
Atkı Sıklığı	41,953	,000

α = 0,05 seviyesinde önemlidir.

Çizelge 6. 6. Atkı sıklığının EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları

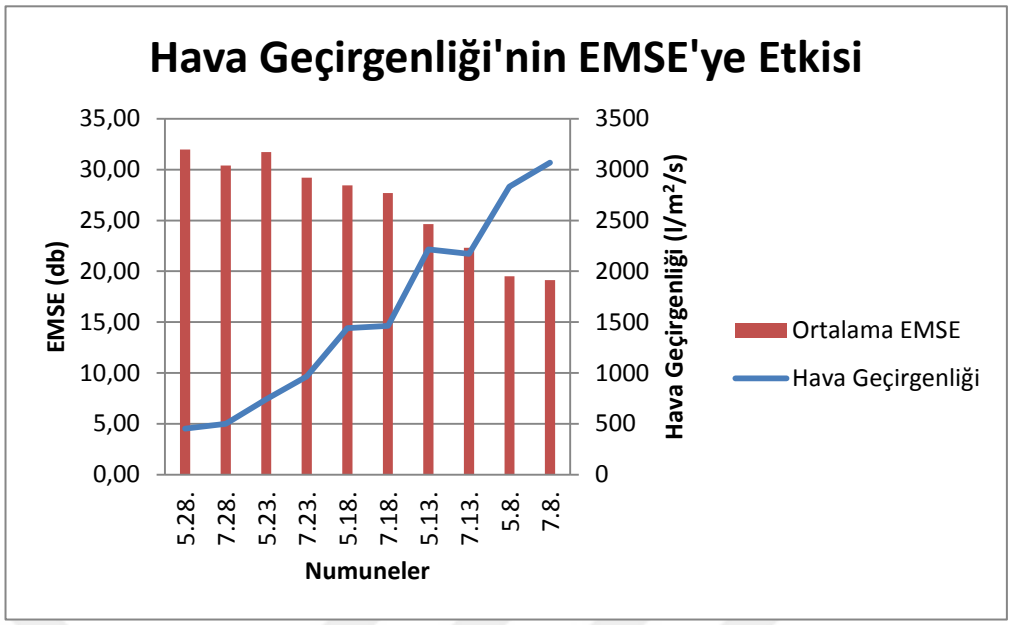
Atkı Sıklığı	N	Alt Gruplar			
		1	2	3	4
8	66	19,3123			
13	66		23,4768		
18	66			28,0668	
23	66				30,4686
28	66				31,1852
Önemlilik		1,000	1,000	1,000	,514

İki farklı öz ve 5 farklı atkı sıklığında dokunan kumaşların varyans analizi sonuçlarına göre, %95 güven aralığında atkı sıklığının elektromanyetik ekranlama etkinliğinin üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Şekil 6.7'ye göre, atkı sıklığı arttıkça, ekranlama etkinliğinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, atkı sıklığının artmasıyla metal yoğunluğunun yani iletken tel sayısının da artması ve filamentler arasındaki mesafenin azalarak iletken ağın güçlenmesidir. En yüksek ekranlama etkinliği değeri, atkı sıklığı 28 tel/cm olan numune 5.28.'te sağlanmış olup, değeri 31,98 dB'dir (Bu bölümde tüm frekansların ortalaması incelendiği için numune 5.28.'in ortalama ekranlama etkinliği değeri verilmiştir).

6.4.4. Hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliğine etkisi

Hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliğine etkisi Şekil 6.8. de gösterilmektedir.



Şekil 6. 8. Hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliğine etkisi

Çizelge 6. 7. Hava geçirgenliği için tek yönlü varyans analizi sonuçları

Kaynak	F	Önemlilik
Hava Geçirgenliği	19,420	,000

α = 0,05 seviyesinde önemlidir.

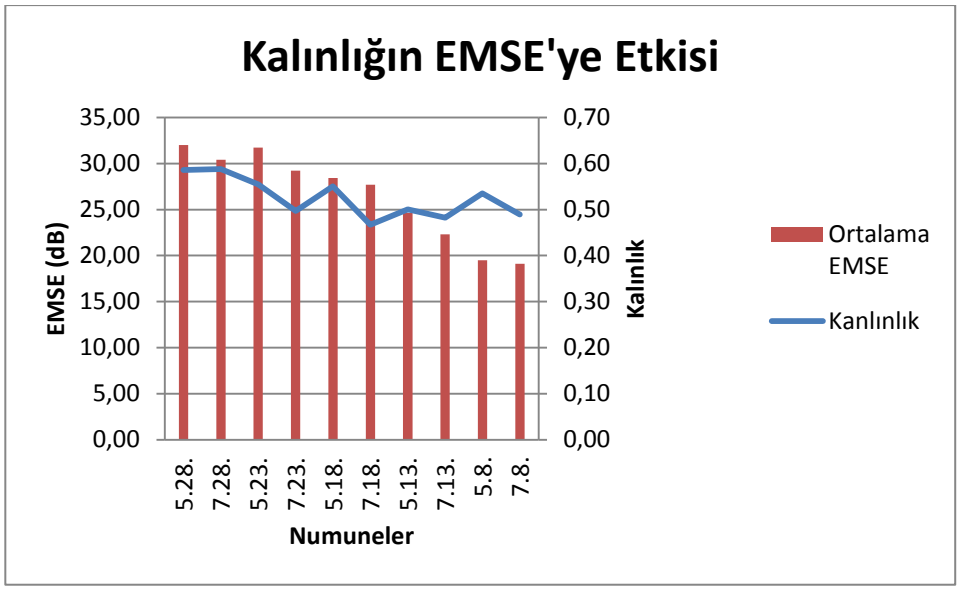
Çizelge 6. 8. Hava geçirgenliğinin EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları

Hava Geçirgenliği	N	Alt Gruplar			
		1	2	3	4
3067,0	33	19,1245			
2832,0	33	19,5000			
2171,0	33	22,3024	22,3024		
2214,0	33		24,6512	24,6512	
1464,0	33			27,6955	27,6955
1443,0	33				28,4382
966,4	33				29,2100
500,1	33				30,3864
743,5	33				31,7273
453,5	33				31,9839
Önemlilik		,102	,130	,050	,065

%95 güven aralığında hava geçirgenliğinin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Şekil 6.8'de, hava geçirgenliği azaldıkça, ekranlama etkinliğinin artığı görülmektedir. Bunun sebebinin kumaşın sıklığı, dolayısıyla iletken maddeleri daha çok içermesi olduğu söylenebilir. Tam tersi, hava geçirgenliği arttıkça, yani kumaşın gözenekliliği arttıkça, kumaşın elektromanyetik dalgaları da geçirme oranı artacağından, ekranlama etkinliği değeri azalacaktır.

6.4.5. Kumaş kalınlığının ekranlama etkinliğine etkisi

Kalınlığın ekranlama etkinliğine etkisi Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6. 9. Kalınlığın ekranlama etkinliğine etkisi

Çizelge 6. 9. Kalınlık için tek yönlü varyans analizi sonuçları

Kaynak	F	Önemlilik
Kalınlık	19,420	,000

α = 0,05 seviyesinde önemlidir.

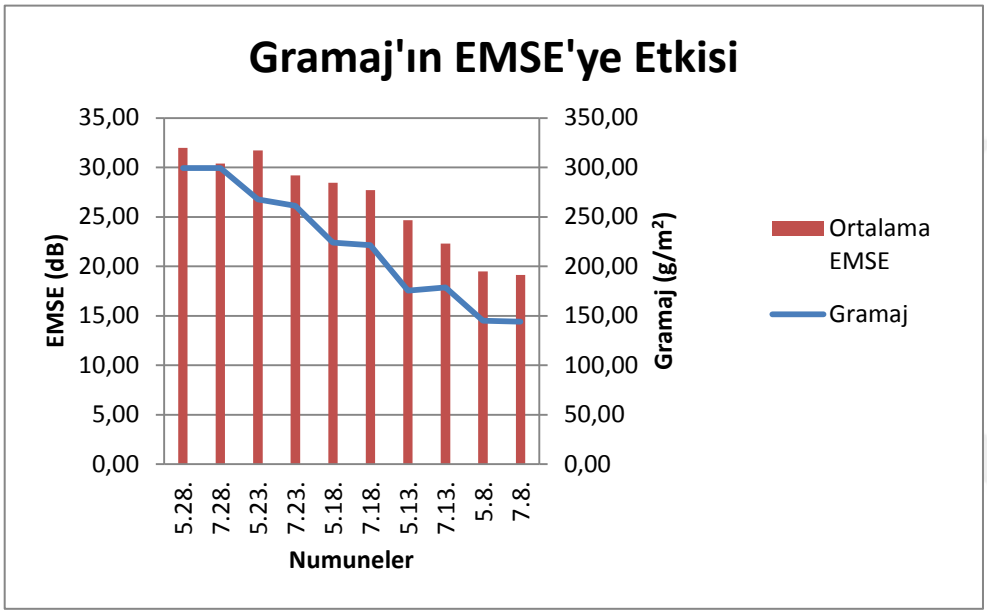
Çizelge 6. 10. Kalınlığın EMSE'ye etkisi için SNK testi sonuçları

Kalınlık	N	Alt Gruplar			
		1	2	3	4
,496	33	19,1245			
,526	33	19,5000			
,475	33	22,3024	22,3024		
,504	33		24,6512	24,6512	
,470	33			27,6955	27,6955
,542	33				28,4382
,489	33				29,2100
,584	33				30,3864
,563	33				31,7273
,589	33				31,9839
Önemlilik		,102	,130	,050	,065

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, %95 güven aralığında kalınlığın elektromanyetik ekranlama etkinliğinin üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir. Şekil 6.9'a göre kumaş kalınlığı arttıkça ekranlama etkinliğinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

6.4.6. Gramajın ekranlama etkinliğine etkisi

Gramajın ekranlama etkinliğine etkisi Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6. 10. Gramajın ekranlama etkinliğine etkisi

İki farklı öz ve 5 farklı atkı sıklığında dokunan kumaşlardan elde edilen sonuçlar için Şekil 6.10'a bakıldığında, kumaş gramajı arttıkça ekranlama etkinliği değerinin arttığı görülmektedir.

7. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, elektromanyetik dalgalara karşı koruma sağlayabilecek tekstil materyalleri geliştirilip, çeşitli kullanım alanları araştırılmıştır.

Tez kapsamında, iletken özlü iplikler üretilmiştir. Elektromanyetik koruyuculuk sağlayabilmek amacıyla iletken malzeme olarak bakır kullanılmıştır. Özlü ipliklerde, öz materyali olarak bakır teller 0,05 mm ve 0,07 mm çaplarında olmak üzere 2 farklı kalınlıkta, manto materyali olarak ise tek tip karde pamuk lifleri fitil formunda kullanılmıştır. Özlü iplik üretimi, temin edilen bakır filamentler ve karde pamuk fitilleri kullanılarak, Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Pamuk İpliği İşletmesi'ndeki Pinter S.A. Merlin numune ring iplik makinesinde gerçekleştirilmiştir. İki farklı öz inceliği kullanılmış, fakat tüm iletken özlü ring iplikler Ne 8 numara olarak üretilmiştir.

Çalışma kapsamında üretilen iplikler 3/1 Dimi dokuma yapısında atkı ipliği olarak kullanılmıştır. Çözgü ipliği olarak tüm kumaşlarda Ne 20/2 pamuk ipliği kullanılmış olup çözgü sıklığı cm de 12 olarak sabit tutulmuştur. Atkı ipliği olarak üretilen iletken iplikler ise 8, 13, 18, 23 ve 28 atkı/cm olmak üzere 5 ayrı sıklıkta, dokuma kumaş yapısına entegre edilmiştir. Dokuma kumaş üretimi Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Dokuma İşletmesi'nde bulunan Sulzer Ruti D1 mekikçikli dokuma makinesinde yapılmıştır.

2 farklı öz inceliği ve 5 ayrı kumaş sıklığı ile üretilen dokuma kumaşlara Hava Geçirgenliği, Gramaj, Kalınlık ve Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği testleri uygulanmıştır. Testler Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Fiziksel Tekstil Muayeneleri Laboratuarı'nda yapılmıştır. Ekranlama etkinliği ölçümleri, yankısız oda ölçüm prensibine göre 1 GHz- 6 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında asıl ulaşılmak istenen frekans, öz inceliği, atkı sıklığı, gramaj, kalınlık ve hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliği üzerine etkileri, gerekli Excel tabloları, grafikleri ve SPSS istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Frekansın ekranlama etkinliğine etkisi istatistiksel olarak (α=0,05 seviyesi için) önemli bulunmuştur. Frekans arttıkça, arada sapmalar olsa da ekranlama etkinliği, atkı sıklığı 28, 23 ve 18 tel/cm olan numunelerde hafif artma, atkı sıklığı 13 ve 8 tel/cm olan numunelerde ise azalma eğilimi göstermiştir. En yüksek ekranlama etkinliği değeri 2 GHz frekansta 42,47 dB olarak gözlemlenmiştir.

Öz inceliğinin ekranlama etkinliğine etkisi istatistiksel olarak (α=0,05 seviyesi için) önemli bulunmuştur. Öz inceliği arttıkça, yani özde kullanılan bakır telin çapı kalınlaştıkça, kumaşların ekranlama etkinliği değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun, bakırın tekstil malzemelerine göre daha rijit bir malzeme olması ve çapı kalınlaştıkça rijiditesinin artması, dolayısı ile dokuma işlemi sırasında eğilmeye direnç göstermesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Perumalraj et al., 2009; Duran, 2011). Başka bir deyişle, ipliğin özündeki bakır filamentin çapı arttıkça, ipliğin eğilip form alması zorlaşmakta ve üretilen kumaşta açıklıklara neden olmaktadır. Bu durum da ekranlama etkinliğini azaltmaktadır. Sonuç olarak 0,05 mm çaplı bakır filamentin kullanıldığı numunelerin ekranlama etkinliği değerleri, 0,07 mm çaplı bakır filamentin kullanıldığı numunelere göre daha yüksektir.

Atkı sıklığının ekranlama etkinliğine etkisi istatistiksel olarak (α=0,05 seviyesi için) önemli bulunmuştur. Atkı sıklığı arttıkça, ekranlama etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin, atkı sıklığının artmasıyla metal yoğunluğunun da artması ve filamentler arasındaki mesafenin azalarak iletken ağın güçlenmesi olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak en yüksek ekranlama etkinliği değerleri atkı sıklığının 28 ve 23 tel/cm olduğu numunelerde gözlenmiştir.

Hava geçirgenliğinin ekranlama etkinliğine etkisi % 95 güven aralığında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Hava geçirgenliği azaldıkça, ekranlama etkinliğinin artığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin kumaşın sıklığının artması, dolayısıyla iletken maddeleri daha çok içermesi olduğu düşünülmektedir.

Kumaş kalınlığının ekranlama etkinliğine etkisi % 95 güven aralığında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kumaş kalınlığı arttıkça ekranlama etkinliğinin az da olsa bir artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

Gramajın ekranlama etkinliğine etkisi incelendiğinde ise, kumaş gramajı arttıkça ekranlama etkinliği değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde, en yüksek ekranlama etkinliğine 0,05 mm çaplı bakır filament içeren iplikler ile 23 tel/cm atkı sıklığında dokunmuş (numune 5.23.) kumaşlar ile, 2 GHz frekans'ta ulaşılmıştır ve değeri 42,47 dB'dir.

Bu çalışma kapsamında üretilmiş olan kumaşların bir kısmıyla elde edilen koruma verimliliği 30 dB'nin üstünde olduğundan, bu kumaşlar ile gerek günlük gerekse profesyonel alanda elektromanyetik koruyuculuk sağlanabileceği düşünülmektedir.

İletken ipliklerin ekranlama etkinliği bakımından farklı kumaş yapılarında farklı özellikler sergiledikleri ve farklı sonuçlara yol açtıkları literatür çalışması sırasında görülmüştür. Bu nedenle, farklı kumaş yapılarının elektromanyetik ekranlama etkinliklerinin de araştırılması faydalı olacaktır (Duran, 2011).

Elektromanyetik alanların özellikle kullanımı her gün hızla artan cep telefonları kanalıyla toplumun büyük bir kesimi için risk oluşturduğu bilinmektedir. 1GHz - 3 GHz frekans aralığında iyi sonuç veren kumaşlarla cep telefonlarının zararlı etkilerinden koruyan ürünlerin geliştirilmesi ve özelliklerinin incelenmesi faydalı olacaktır (Duran, 2011).

Özellikle iş hayatında yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalara maruz kalan ve bu nedenle konfor bakımından zayıf, ağır kurşunlu giysilerle çalışan sağlık personelinin giysileri, ele alınması gereken konuların başında gelmektedir (Duran, 2011).

Bu çalışmada, üretilen kumaşların frekans aralığı bakımından yüksek frekanslı (1GHz- 6GHz) ekranlama etkinliği değerleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen kumaşlar bu frekans aralığında tatmin edici sonuçlar

vermeleri sebebiyle, özellikle bazı elektrikli ve elektronik ev aletleri, cep telefonları, bilgisayarlar gibi devamlı maruz kaldığımız elektromanyetik alan kaynaklarından korunmada kullanılabilirler. Bu amaçla, üretilen kumaşların günlük hayatta kalın perde, cibinlik, önlük, koruyucu giysiler, cep telefonunun muhafaza edildiği bir ceket cebi ya da hazne, radyo frekans girişimlerine karşı güvenlik amaçlı askeri çadır ve branda gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir oldukları düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Balkış, M., 2014, Elektromanyetik Koruyucu Fonksiyonel Örme Kumaş Ve Giysi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 79s.

Cengiz, S., 2009, Elektromanyetik Girişimden Korunmada Ekranlama Etkinliği ve Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 63s.

Chen, H.C., Lee, K.C., and Lin, J.H., 2004, Electromagnetic and Electrostatic Shielding Properties of Co-weaving-knitting Fabrics Reinforced Composites, *Composites*: Part A 35, 1249-1256p.

Chen, H.C., Lee, K.C., Lin, J.H., and Koch, M., 2007, Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness Properties of Diverse Conductive Textiles via Various Measurement Techniques, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193 pp, 549-554p.

Cheng, K.B., Lee, M.L., Ramakrishna, S., and Ueng, T.H., 2001, Electromagnetic Shielding Effectiveness of Stainless Steel/Polyester Woven Fabrics, *Textile Research Journal*, 71(1), 42–49p.

Cheng, K.B., Cheng, T.W., Nadaraj, R.N., GiriDev, V.R. and Neelakandan, R., 2006, Electromagnetic Shielding Effectiveness of the Twill Copper Woven Fabrics, Journal of Reinforced Pylastics and Composites, Vol 25, No.7, 699-709p.

Das, A., Kothari, V.K., Kothari, A., and Kumar, A., 2009, Effect Of Various Parameters On Electromagnetic Shielding Effectiveness Of Textile Fabrics, *Indian Journal of Fibre&Textile Research*, Vol 34, 144-148p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Duran, D., 2011, Tekstillerin Elektromanyetik Korumada Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 259s.

Duran, D., Kadoğlu, H., 2012, A Research On Electromagnetic Shielding WithCopper Core Yarns, *Journal of Textiles and Engineer*, 4, 354-359p.

Duran, D., Kadoğlu, H., 2015, Electromagnetic Shielding Characterization of Conductive Woven Fabrics Produced With Silver-Containing Yarns, *Textile Research Journal*, Vol. 85(10), 1009–1021p.

Göral, V., 2014, İletken Filamentli İpliklerden Farklı Yapısal Özellikli Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, El Sanatları Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, 163s.

Kılıç, G., Örtlek, H., G., Saraçoğlu, Ö., G., 2015, Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstillerin Ekranlama Etkinliği (SE) Ölçüm Yöntemleri, *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, 72, 7-15s.

Okyay, G., Bilgin, S., Akgül, E., Örtlek, H., G., 2011, Farklı Yapılardaki Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1) 1-10s.

Oxley, C.H., Williams, J., Hopper, R., Flora, H., Eibeck, D., and Alabaster, C., 2007, Measurement of the Reflection and Transmission Properties of Conducting Fabrics at Mili-metric Wave Frequencies, IET Sci. Meas. Technol., 1, (3), 166-169p.

Özdemir, H., Özkurt, A., 2013, The Effects Of Weave And Conductive Yarn Density On The Electromagnetic Shielding Effectiveness Of Cellular Woven Fabrics, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 23(2), 124-135p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Palamutçu, S., ve Dağ, N., 2009, Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1)87-101s.

Palamutçu, S., Özek, A., Karpuz, C. and Dağ, N., 2010, Electrically Conductive Textile Surfaces and Their Electromagnetic Shielding Efficiency Measurement, *Journal of Textile and Apparel*, Vol. 3, 199-207p.

Perumalraj, R., Dasaradan, B., S., Anbarasu, R., Arokiaraj, P. and Harish, S., L., 2009, Elctromagnetic shielding effectiveness of copper core-woven fabrics, *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 100, No. 6, 512-524p.

Perumalraj R., and Dasaradan B. S., 2010, Electromagnetic Shielding Effectiveness of Doubled Copper Cotton Yarn Woven Materials, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Vol. 18, No. 3 (80), 74-80p.

Ramachandran, T. and Vigneswaran, C., 2009, Design And Development of Copper Core Conductive Fabrics for Smart Textiles, *Journal of Industrial Textiles*, Vol.39 No. 1, 81-93p.

Safarova, V., Militky, J., 2014, Electromagnetic Shielding Properties of Woven Fabrics Made From High-Performance Fibers, *Textile Research Journal*, Vol. 84(12) 1255–1267p.

Su, C.I, and Chern, J.T., 2004, Effect of Stainless Steel Containing Fabrics on Electromagnetic Shielding Effectiveness, *Textile Research Journal*, Vol. 74, 51-54p.

Türksoy, E.S., Saraçoğlu, Ö.G., Üstüntağ, S., Sarıtaş, Ö., 2015, Tekstil Malzemelerinin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Ölçümünde Yenilikçi Bir Test Aparatı, *Tekstil ve Mühendis*, 22(99), 15-26s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yılmaz, R., 2014, Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler, *Electronic Journal of Vocational Colleges,* 136-150s.

ÖZGEÇMİŞ

13.03.1992 yılında İzmir'de dünyaya gelen İrem YEŞİLDAĞ, lise öğrenimini İzmir Çiğli Milli Piyango Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2010 yılında üniversite sınavında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünü kazanmıştır. 2014 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nden mezun olarak Tekstil Mühendisi unvanını almaya hak kazanmıştır.

Şu anda, 2015 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde başlamış olduğu Yüksek Lisans programına devam etmektedir.