

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR APLİKE EDİLMİŞ DOKUMA KUMAŞLARIN ELEKTROMANYETİK
ALAN EKLANLAMASININ İNCELENMESİ**

Mehmet ZIRAPLI

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet DAYIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2013**

© 2013 [Mehmet ZIRAPLI]

TEZ ONAYI

Mehmet ZIRAPLI tarafından hazırlanan “Bor Aplike Edilmiş Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Alan Ekranlamasının İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Mehmet DAYIK
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Yavuz CENGİZ
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. M. Fatih ÇAĞLAR
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mehmet ZIRAPLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Elektrik Alan ve Elektro Manyetik Alan.....	5
2.1.1. Elektromanyetik spektrum.....	7
2.1.2. Elektromanyetik kirlilik.....	8
2.1.3. Elektromanyetik dalgaların insan vücudu üzerindeki etkileri	10
2.2. Elektromanyetik Alanlardan Korunma	12
2.2.1. Ekranlama	12
2.2.2. Faraday kafesi.....	18
2.2.2.1. Faraday kafesi çalışma prensibi	18
2.3. Elektromanyetik Alanlardan Korunmada Kullanılan Malzemeler.....	19
2.3.1. Klasik malzemeler	20
2.3.2. Kompozit malzemeler ve iletken polimerler	21
2.3.3. Elektro-iletken boyalar	23
2.3.4. İletken iplikler ve kumaşlar	24
2.2. Bor Madeni.....	34
2.2.1. Bor madeninin tarihçesi.....	36
2.2.2. Bor madeninin anadolu'daki tarihçesi.....	36
2.2.3. Bor madencilğinde önemli tarihler	38
2.2.4. Bor elementinin özellikleri	40
2.2.4.1. Atomik yapısı.....	41
2.2.5. Bor madeni rezervleri	43
2.2.5.1. Dünya'daki bor madeni rezervlerinin oluşumu	43
2.2.5.2. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı.....	44
2.2.5.3. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı.....	45
2.2.6. Bor üretimi.....	45
2.2.6.1. Dünya bor üretimi	45
2.2.6.2. Türkiye bor üretimi	46
2.2.7. Bor madeninin kullanım alanları	49
2.2.7.1. Cam sanayi.....	51
2.2.7.2. Seramik sanayi.....	52
2.2.7.3. Temizleme ve beyazlatma sanayi	52
2.2.7.4. Alev geciktiriciler	52
2.2.7.5. Tarım.....	53
2.2.7.6. Metalurji.....	54
2.2.7.7. Nükleer uygulamalar.....	55
2.2.7.8. Bor fiberleri.....	55
2.2.7.9. Uzay ve havacılık.....	55
2.2.7.10. Enerji.....	56
2.2.7.11. Sağlık	56

2.2.7.12. Çimento.....	57
2.3. Bor Karbür.....	58
2.3.1. Bor karbür nedir?.....	58
2.3.2 Bor karbürün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	58
2.3.2.1 Sertlik.....	58
2.3.2.2 Aşınma direnci.....	59
2.3.2.3 Yoğunluk.....	59
2.3.2.4 Elektriksel direnç.....	59
2.3.2.5 Mekanik özellikler.....	59
2.3.2.6 Kimyasal Özellikler.....	61
2.3.3 Bor karbürün yapısı.....	62
2.3.4 Kullanım alanları.....	64
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	66
3.1. Materyal.....	66
3.1.1. Ekranlama malzemesi seçimi.....	66
3.1.2. Pamuklu kumaş.....	67
3.1.3. Bor karbür.....	67
3.1.4. Ölçüm düzeneği.....	67
3.2. Metot.....	69
3.2.1. Mil-STD-285.....	70
3.2.2. Mil-g-83528.....	71
3.2.3. Tem hücre metodu.....	72
3.2.4. Astm ES7-83 standardına bağlı çift oda test düzeneği.....	74
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	75
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	81
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOR APLİKE EDİLMİŞ DOKUMA KUMAŞLARIN ELEKROMANYETİK ALAN EKLANLAMASININ İNCELENMESİ

Mehmet ZIRAPLI

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Mehmet DAYIK

Bu tez çalışmasında elektromanyetik uyumluluk ve elektromanyetik girişimin tarihsel gelişimi ve teorik temelleri incelenerek elektromanyetik uyumluluk için kullanılan yöntemlerden biri olan ekranlama konusu detaylı olarak ele alınmıştır. Elektromanyetik ekranlama çeşitleri ve seviyeleri üzerinde durulmuştur.

Bor elementinin kullanım alanı ve öneminden bahsedilmiştir. Bor karbür bileşiği hakkında bilgiler verilmiş, ekranlama malzemesi olarak bor aplike edilmiş kumaş kullanılmıştır.

Yansımali oda mantığını minimize ederek bir test düzeneği kurulmuş ve ölçümlerde bu düzenek kullanılmıştır. Kurulan bu düzende birbirinden izolesi kumaşla sağlanabilen iki oda simüle edilmeye çalışılmıştır.

Son olarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik ekranlama, yansımali oda, bor, bor karbür

2013, 85 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING OF WOVEN FABRICS WITH APPLICATION OF BORON

Mehmet ZIRAPLI

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Textile Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet DAYIK

In this thesis; historical development and theoretical foundations of electromagnetic compatibility and electromagnetic interference are investigated. Shielding, which is one of the methods used for electromagnetic compatibility are discussed in detail. Focused on the types and levels of electromagnetic shielding.

Use of space and the importance of the element boron is described. Given information about the boron compound of boron carbide applied to the fabric used as a shielding material.

A test system established by minimizing chamber room logic and used for the measurements. In this set up, try to simulate two room which is isolated with fabric.

Finally the results obtained are analyzed.

Keywords:Electromagnetic radiation, electromagnetic shielding, chamber room, boron, boron carbide

2013, 85 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan, alışmalarım sresince maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Mehmet DAYIK'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Literatür çalışmalarında desteklerini esirgemeyen Mevlde Akkaya'ya deneysel çalışmalarımda yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Yavuz CENGİZ hocama ve Burak Karakaş'a teşekkür ederim.

Araştırmalarım süresince desteklerini esirgemeyen İBM ÖZEL İSTİHDAM VE İNSAN KAYNAKLARI şirketi yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma teőekkürlerimi bildiriyorum.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mehmet ZIRAPLI
ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrumun paylaşımı	2
Şekil 1.2. CST programında hazırlanan simülasyonunda cep telefonu antenin ışması.....	3
Şekil 2.1. Dalga yapısı ve özellikleri	6
Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum	7
Şekil 2.3. Kalınlığı t olan duvarın ekranlama etkinliği	14
Şekil 2.4. Ekranlama etkinliğinin tanımı.....	15
Şekil 2.5. Faraday kafesinin çalışma prensibi	19
Şekil 2.6. Ekranlama amacı ile kullanılan koruma boyası uygulaması.....	24
Şekil 2.7. Gümüş Kaplı Bakır Tel İçerikli Metal İplik Örnekleri	26
Şekil 2.8. Elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan kumaş örnekleri.....	28
Şekil 2.9. Elektromanyetik radyasyondan koruyucu ürünlerinin çeşitli kullanım alanları	29
Şekil 2.10. Ekranlamadan önce ve sonra fizyoterapi odasının içinde ve dışında elektromanyetik alan dağılımı	32
Şekil 2.11. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta	34
Şekil.2.12. Bor ürünlerinin toplam satışlarının sektörel (%) dağılımı	48
Şekil.2.13. Bor ürünlerinin yurt içi satışlarının sektörel (%) dağılımı.....	49
Şekil 2.14. Bor karbür yapısının şematik gösterimi	62
Şekil 2.15. İcosahedral ve rombohedral yapılar	63
Şekil 2.16. Zırhın darbe durumundaki şematik gösterimi.....	65
Şekil 3.1. Ölçüm düzeneği	68
Şekil 3.2. Ölçümlerde kullanılan anten	69
Şekil 3.3. Mil-Std-285 standardın göre ekranlama etkinliğinin ölçülmesi	71
Şekil 3.4. Mil-G 83528 ölçüm metodu	72
Şekil 3.5. Çift Tem Hücresi Kullanımıyla Ekranlama Etkinliğinin Ölçülmesi.....	73
Şekil 4.1. 800-1000 MHz için dB değerlerinin karşılaştırılması	76
Şekil 4.2. 1,7 ile 1,9 GHz için dB değerlerinin karşılaştırılması	78
Şekil 4.3. 1,9 ile 2,9 GHz için dB değerlerinin karşılaştırılması	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. CST programında hazırlanan cep telefonu anteninin ışınması için hesaplanan değerler.....	3
Çizelge 2.1. Elektrik alan ve elektro manyetik alan karşılaştırılması.....	5
Çizelge 2.2. Bazı elektrikli ev aletlerinin elektrik alan şiddetleri.....	9
Çizelge 2.3. Tipik SE ve % azalma değerleri.....	17
Çizelge 2.4. Bor mineralinin atomik yapısı.....	41
Çizelge 2.5. Bor mineralinin kimyasal özellikleri.....	42
Çizelge 2.6. Bor mineralinin fiziksel özellikleri.....	42
Çizelge 2.6. Bor mineralinin fiziksel özellikleri (Devamı).....	43
Çizelge 2.7. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı.....	44
Çizelge 2.8. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı.....	45
Çizelge 2.9. 2008 yılı dünya bor üretiminin bölgesel dağılımı.....	46
Çizelge 2.10. Eti maden tarafından üretilen ürünlerin dağılımı.....	47
Çizelge 2.11. Eti maden işletmeleri tarafından üretilen rafine ürünler.....	47
Çizelge 2.12. Eti maden işletmeleri tarafından ihraç edilen bor ürünleri.....	48
Çizelge 2.13. Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları.....	49
Çizelge 2.14. Sıcak preslenmiş ve sinterlenmiş B4C'nin özellikleri.....	61
Çizelge 2.15. Bor karbürün genel özellikleri.....	64
Çizelge 3.1. Bazı ekranlama malzemelerinin bağlı iletkenlik ve bağlı permeabilitesi.....	66
Çizelge 4.1. 800 ile 1000 MHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri.....	76
Çizelge 4.2. 1,7 ile 1,9 GHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri.....	77
Çizelge 4.3. 1,9 ile 2,9 GHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

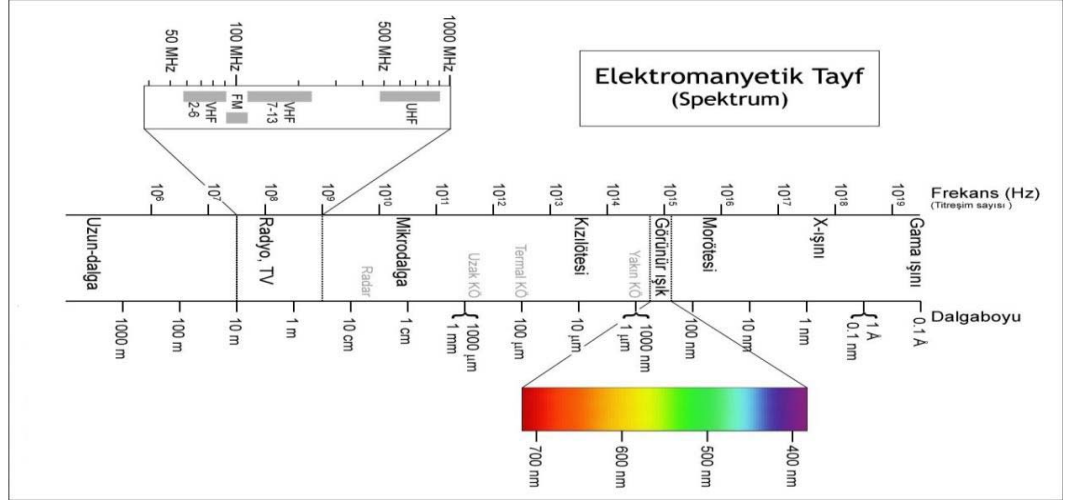
B	Manyetik akı yoğunluğu
c	Işık hızı
e	Logaritmik sabit
d	Açıklığın genişliği
dB	Desibel
D	Elektriksel akı yoğunluğu
E	Elektrik alan
EM	Elektromanyetik
EMG	Elektromanyetik girişim
EMU	Elektromanyetik uyumluluk
f	Frekans
h	Açıklıklar arasındaki mesafe
H	Manyetik alan
I	Akım
IGC	Asal gaz yoğunlaştırması
IR	Kızıl ötesi
J	Akım yoğunluğu
J_s	Yüzeydeki akım yoğunluğu
MRI	Manyetik rezonans görüntüleme
nm	Nanometre
P	Güç
r	Kaynak ile ekran arasındaki mesafe
SE	Ekranlama etkinliği (dB)
SR	Yansıma kaybı (dB)
SA	Soğrulma kaybı (dB)
S_{MR}	Malzeme içerisindeki tekrarlı yansıma kaybı (dB)
t	Açıklığın derinliği
T	İletim katsayısı
TEM	Transverse Electromagnetic
UV	Ultraviyole
V	Gerilim
Z	Empedans
ρ_v	Hacimsel yük yoğunluğu
δ	Deri kalınlığı
γ	Yayılm sabiti
α	Zayıflama sabiti
ϵ	Dielektrik sabiti
ϵ_0	Serbest uzayın dielektrik sabiti
ϵ_r	Bağıl dielektrik sabiti
ρ	Özdirenç
ρ_e	Elektron yük yoğunluğu
λ	Dalga boyu
λ_0	Serbest uzaydaki dalga boyu
μ	Permeabilite (manyetik geçirgenlik), mikro
μ_0	Serbest uzayın manyetik geçirgenliği
μ_r	Bağıl permeabilite
π	3,14

σ	İletkenlik
σ_r	Bağıl iletkenlik
ω	Açısal frekans

1. GİRİŞ

Elektrik ve elektromanyetik alanlar teknolojiye bağılı kalmaksızın doğada kendiliğinden ortaya çıkmaktadırlar. Doğal elektromanyetik alan, yer küre etrafında kuzey-güney doğrultusunda mevcut olup kuşlar ve balıkların yön bulmalarına yardımcı olan ancak gözle görülemeyen dalgalardan oluşmaktadır. Doğal elektrik alan ise atmosferde meydana gelen yıldırım, şimşek oluşumları ile lokal olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal elektrik ve elektromanyetik alanların yanı sıra insan yapımı kaynaklardan yayılan elektrik ve elektromanyetik alanlar günlük hayatımızda tüm çevremizi kaplamış bulunmaktadır. İnsan yapısı kaynaklar arasında X ışınlarının kaynağı olan röntgen cihazları, düşük frekanslı elektromanyetik dalga kaynağı olan elektrik soketleri, yüksek frekanslı radyo dalgaları yayan TV anteni, radyo istasyonu veya mobil telefon istasyonları gibi veri iletim hatları yer almaktadır. Bir iletken üzerinden geçen akım şiddeti ve gerilim seviyesine bağılı olarak, bu iletkenin bulunduğu ortama elektrik alan ve manyetik alan yayılmaktadır. Ev ve işyerlerinde yaşamı kolaylaştırıcı olarak kullanılan elektrikli cihazların tümü birer elektromanyetik (EM) alan kaynağıdır. EM alanlar hassas elektronik cihazlar üzerinde etki yaparak bu cihazların doğru çalışmasını engellemekte, parazit oluşturup göstergeleri bozarak hatalı değer okunmasına neden olabilmektedir (Kılıç vd 2009).

Kullanımlarının bu kadar hayatlarımızla iç içe olması; beraberinde getirdiği avantajlar kadar dezavantajlara da sahip olan elektronik cihazların sayıları arttıkça, karşılıklı etkileşim olasılığı da artmaktadır. Şekil 1.1’de gösterilen elektromanyetik spektrumun (tayf) paylaşımı, bu problemlerin ortaya çıkmasıyla gittikçe önem kazanmaktadır. Gündelik yaşantımızdan bunun en güzel örneğini; “bir cep telefonunun bir televizyona veya bilgisayar ekranına yaklaştırıldığında, ekranda oluşan kırışımlar” şeklinde verebiliriz.

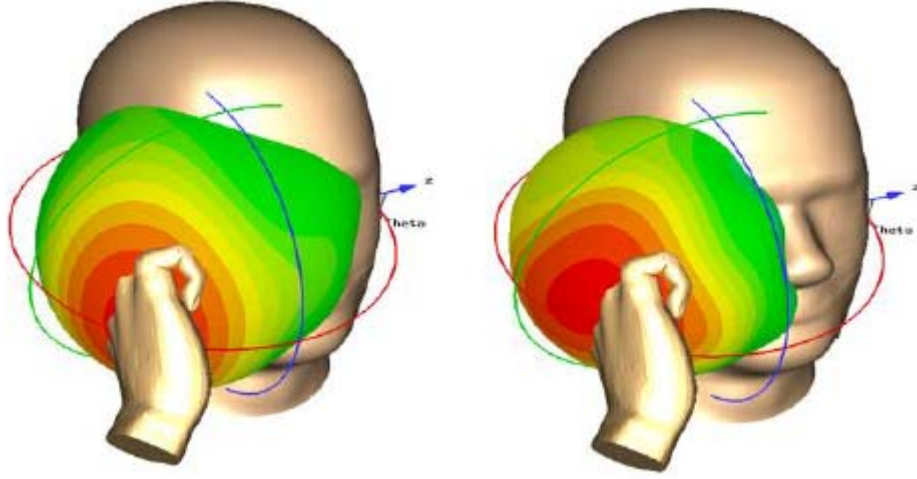


Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrumun paylaşımı

Elektronik cihazların çevre koşulları altında sadece birbirleriyle değil, kendi iç elemanlarının da birbirleriyle uyumsuzluklar yaşaması, tasarımcıların ve üreticilerin önlerine yeni bir problem ve kısıtlama sahası getirmiştir. Yakın tarihten bir örnek verilecek olursa; Apple firmasının çıkarmış olduğu ilk seri iPhone-4 model telefonlarındaki anten problemleri satışlarını olumsuz yönde etkileyerek, rakiplerini avantajlı duruma geçirmiştir. Çevre koşullarından etkilenmeme ve kendi iç dizaynında tutarlı yapılarda olabilme, üreticileri Ar-Ge konusunda büyük yatırımlara zorlamaktadır.

Zamanla elde edilen tüm tecrübelerden ve ihtiyaçlardan doğan sonuç ise, elektromanyetik uyumluluğun teknoloji ve insan sağlığı için çok önemli olduğudur. Elektromanyetik uyumluluk, yukarıda bahsedilen çevreden etkilenmeme olduğu kadar, çevreyi minimum etkileme anlamına da gelmektedir. Bu durum özellikle de insan sağlığı açısından kritik öneme haizdir.

CST Programının yardım menüsünde örnek olarak simüle edilmiş bir cep telefonu ışımaya diyagramı Şekil 1.2’de ve bu ışımaya ait iki GSM bandı için hesaplanan ışımaya değerleri de Çizelge 1.1’de gösterilmiştir (Karakaş, 2012).



Şekil 1.2. CST programında hazırlanan simülasyonunda cep telefonu anteninın ışması (Karakaş, 2012)

Çizelge 1.1. CST programında hazırlanan cep telefonu anteninın ışması için hesaplanan değerler (Karakaş, 2012)

Frequency	Phone	Phone head	Phone head hand
897,4 MHz	100%	23%(-6,3dB)	6%(-12,2dB)
1747,6 MHz	100%	48%(-3,2dB)	7%(-11,5dB)

Elektromanyetik çevre kirliliği 20. yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren insanoğlunun yaşamının bir parçası haline gelmiştir. Teknolojideki ilerlemelerle birlikte, elektrik ve elektromanyetik enerji çok geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur. Günlük hayatımızda kullandığımız elektrikli ve elektronik aletler bir yandan hayatımızı kolaylaştırırken diğer yandan da çok önemli bir sorun olan elektromanyetik çevre kirliliğini beraberinde getirmiştir (Kılıç vd 2009).

Günümüzde elektromanyetik çevre kirliliğini tanımlamak için "elektrosmog" isimli yeni bir kavram türetilmiştir. Değişen yaşam biçimi ve beraberinde ortaya çıkan yeni kavramlarla, insanların tekstil ürünlerinden beklentileri de değişmekte ve çeşitlenmektedir (Kılıç vd 2009).

Medeniyetin ilerlemesi ile elektrikli ve elektronik aletlerin günlük hayatımızdaki yeri ve önemi sürekli artmıştır. Elektronik haberleşme ağları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri hava savunma sistemleri, radarlar, otomobil ateşleme sistemleri, iş makineleri, evlerde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazlar, tıbbi cihazlar, cep telefonları, baz istasyonları, bilgisayarlar ve tüm elektrik-elektronik cihazlar ve sistemler çalışırken kasıtlı veya kasıtsız olarak çevreye elektromanyetik radyasyon yayarlar. Yaşamımızın her safhasına girmiş olan bu cihazların kullanımı hayatımızı kolaylaştırmakla birlikte elektromog olarak adlandırılan elektromanyetik çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmiştir. (Kılıç vd 2009).

Değişen yaşam koşulları ile birlikte tüketicilerin tekstil ürünlerinden beklentileri de değişmektedir. Statik elektriklenmeyi önleyici, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte kumaşlara olan talep giderek artmaktadır. Ayrıca farklı amaçlarla çeşitli elektronik devreleri ve optik kabloları yapısında ihtiva eden kumaşların kullanımının da giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Kılıç vd 2009).

Bu çalışmada elektromanyetik ekranlama amaçlı farklı bir yöntem izlenmiş ve radyasyon soğurma özelliği bilinen bor karbür kullanılmıştır. Bor karbür ayrıca yapısında bulunan karbon atomları sayesinde iletken özelliğe de sahip olabilmektedir. Yapısındaki karbon miktarına bağlı olarak bu özelliği değişebilmektedir.

Çalışmada ilk bölümde temel kavramlar üzerinde durulmuş elektrik alan ve elektromanyetik alanla ilgili bilgiler açıklanmıştır. Elektromanyetik ekranlama teorisi detaylı şekilde anlatılmıştır.

Sonraki bölümde bor elementi hakkında bilgiler verilmiş önemine ve kullanım alanlarına değinilmiştir. Bor karbür bileşiği hakkında toplanan derlenen bilgiler sunulmuştur.

Son bölümde deneyin yapılışı ve sonuçların değerlendirilmesi ile çalışma bitirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

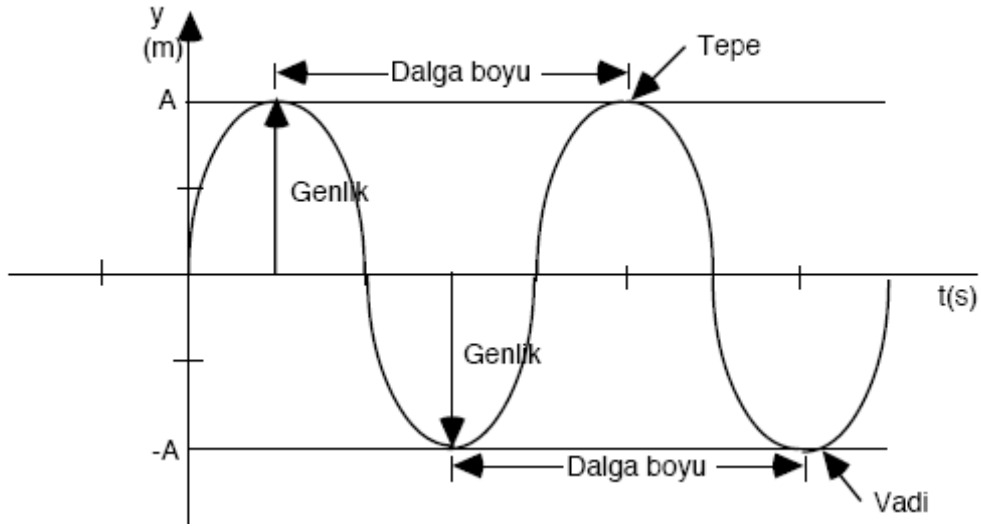
2.1 Elektrik Alan ve Elektro Manyetik Alan

Elektrik enerjisi çağımızın en önemli enerji kaynaklarından birisini oluşturmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve ekonomik kalkınmışlık düzeyine bağlı olarak, elektrikli araç ve gereçlerden yararlanma da her gün biraz daha artmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanması amacı ile yaşam alanlarındaki elektrik ve elektromanyetik alan yoğunlukları da artmaktadır. Elektrik alan ortamdaki voltaj farklılıklarının sonucunda ortaya çıkmakta ve voltaj yüksekliğine bağlı olarak artmaktadır. Manyetik alan ise ortamdaki elektrik akımının varlığına bağlı olarak ortaya çıkmakta ve akım değerine bağlı olarak artmaktadır. Ortamda elektrik akımı olmaksızın voltaj varlığı elektrik alan oluşumu için yeterli olup akımın varlığı ile elektrik alanın büyüklüğü değişmezken ortamdaki manyetik alanın büyüklüğü güç harcamasına bağlı olarak artmaktadır. Başvuru kaynağı bulunamadı. Çizelge 2.1’de elektrik alan ile elektromanyetik alan özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Palamutcu ve Dağ, 2009).

Çizelge 2.1. Elektrik alan ve elektro manyetik alan karşılaştırılması (Palamutcu ve Dağ, 2009)

Elektrik Alan	Elektromanyetik Alan
Elektrik alan şiddeti voltaja bağlı olarak artar Ölçü birimi V/m’dir. Cihazların açma kapama düğmeleri kapalı konumda olduğunda elektrik alan oluşur. Elektrik alan şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalır. Bina yapı malzemelerinin büyük çoğunluğu elektrik alan için yalıtım etkisi yapabilir.	Manyetik alan şiddeti akım arttıkça artar. Ölçü birimi A/m’dir. Ayrıca mikrottesla (μ T) veya militesla (mT) birimleri de kullanılır. Manyetik alan oluşumu için ortamda elektrik akımı oluşması gerekir. Yani cihazın açık konumda olması gereklidir. Manyetik alan şiddeti mesafe arttıkça azalır. Manyetik alan şiddetini azaltan malzeme sayısı son derece sınırlıdır.

Elektromanyetik dalgaların; dalga boyu, frekansı ve hızı ile tanımlanır. Dalga boşlukta ve madde içinde yayılabilen ritmik bir olaydır. Bir ip ile yaratılan dalga, bir tepe ve bir vadiye sahiptir. Her dalga belli bir dalga boyuna sahiptir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi bir tepeden bir tepeye veya bir vadiden bir vadiye olan toplam mesafeye bir dalga boyu adı verilir.

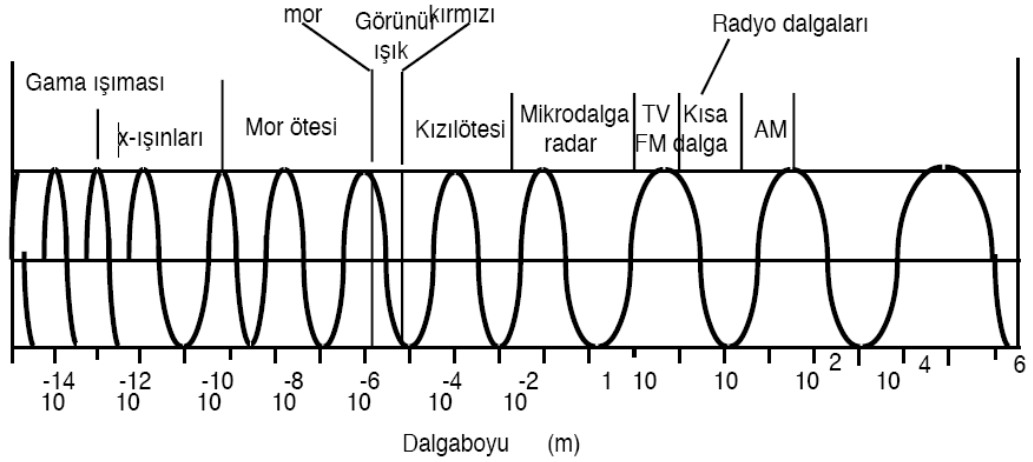


Şekil 2.1. Dalga yapısı ve özellikleri (Palamutcu ve Dağ, 2009)

Genlik, bir dalganın normal konumundan yükselme ve alçalma mesafesidir. Uzanımın en büyük ve en küçük olduğu konumlar diye de tarif edilebilir. Genlik, dalgayı ortaya çıkaran enerjinin miktarına bağlıdır. Dalganın enerjisi arttığında genliği de artmaktadır. Tüm dalgalar belli bir frekansa sahiptir. Frekans, bir saniyede belli bir noktadan geçen dalgaların sayısı olarak tanımlanır. Maddenin ileri geri hareketine titreşim hareketi denir. Bir titreşimin frekansı, hertz birimi ile ölçülür. Bir hertz (Hz), bir dalganın her saniyede bir devir veya bir titreşim yapmasıdır. Bir dalganın frekansı ve dalga boyu arasında bir ilişki vardır. Bir dalganın boyu arttığında frekansı azalmaktadır. Uzun dalgalar düşük frekansa, kısa dalgalar ise yüksek frekansa sahiptir. (Palamutcu ve Dağ, 2009)

2.1.1. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar bilinen tüm elektromanyetik dalgaları içeren dizilimdir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi elektromanyetik spektrum içinde dalga boyları 10¹⁰ ile (elektrik dalgaları) 10⁻¹⁶ metre (kozmetik ışınlar) arasında değişmektedir. Bundan dolayı, çok düşük elektromanyetik dalga frekansları ile çok yüksek kozmik ışınların frekansları arasında frekanslar değişme gösterirler. En yüksek frekanslı dalgalar, en büyük enerjiye sahiptirler.



Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum

Spektrum üzerinde yer alan ışınlar ait genel tanımlar aşağıda verilmektedir. Gamma ışınları: 0,01 nanometreden daha küçük dalga boylu ışınlar olup bir atom çekirdeğinin çapından daha küçük dalga boylu dalgalar içerirler. Elektromanyetik spektrum içinde en yüksek enerjili ve frekanslı bölgede yer alırlar.

X ışınları: 0.01 ile 10 nanometre arasında dalga boyuna sahip ışınlardır (bir atomun boyu kadar).

Morötesi (UV) radyasyon: 10 ile 310 nanometre arasında dalga boyuna sahip ışınlardır (yaklaşık olarak bir virüs boyutunda). A, B ve C olmak üzere üç kısımda incelenirler. Kısa dalga boylu morötesi ışınlar zararlı olabilirler.

Görünür ışık: 400 ile 700 nanometre dalga boyları arasındaki ışınları kapsar (bir molekül ile tek hücreli arası boydadırlar). Işık olarak tanımlanmakta olan

elektromanyetik spektrumun bu küçük bölümü insan gözü ile görülebilir. Bu bölümde mor ile başlayan ve kırmızıyla biten renkler vardır.

Kızılötesi (IR) radyasyon: 710 nanometreden 1 milimetre arası dalga boylarına sahip ışınları kapsar (iğne ucu ile küçük bir tohum kadar boyları vardır).

Mikrodalga radyasyonu: 1 mm ile 1 metre arası dalga boylarına sahip ışınları kapsar. Radarlarda kullanılan çok kısa dalga boyuna sahip radyo dalgalarıdır. Aynı zamanda mikrodalga fırınlarda ve kablo gerektirmeyen uzak mesafe iletişimlerde kullanılır.

Radyo dalgaları: 1 milimetreden uzun dalgalarıdır. En uzun dalga boyuna sahip olduklarından en düşük enerjiye ve sıcaklığa da sahipler. Radyo dalgaları her yerde bulunabilir: Bu dalgaların kaynakları elektrik titreşimleridir. Telefon, televizyon ve radyoda bağlantı kablosu gerektirmeden kullanımı sağlar. (Anonim, 2012)

2.1.2. Elektromanyetik kirlilik

Elektromanyetik kirlilik günlük hayat içerisinde çevremizde mevcut olan elektromanyetik dalgaların yoğunluğu ile oluşan bir kirlilik olarak kabul edilmektedir. Elektromanyetik kirlilik olarak tanımlanan bu çevrenin oluşmasının nedenleri;

1. TV ve radyo yayınları: AM, FM, TV
2. İletişim yayınları: Telekom, uydu, GPS, radar
3. Elektrik dağıtımı: elektrik iletim hatları, elektrikli trenler
4. Yüksek gerilim hatları
5. Yüksek frekanslı endüstriyel, medikal, araştırma cihazları: X-Ray, ısıtıcılar

Hayatımızın her alanında yaygın olarak kullanmakta olduğumuz elektrikli ve elektronik aygıtların vücudumuz üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu değişik çevrelerce dile getirilmektedir. AC motorlar, dijital bilgisayarlar, hesap makineleri, yazıcılar, modemler, dijital devreler, cep telefonları ve yüksek gerilim hatları gibi birçok aygıt ve tesisatın neden olduğu elektrik ve elektromanyetik alanların insan vücudu üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılmasını sağlayacak yani kalkanlama etkisi olan tekstil yüzeylerine olan ihtiyaç artmaktadır. Dünya sağlık örgütü WHO verilerine göre evlerde kullanılan bazı

elektrikli alet ve elektronik cihazların neden olduğu elektrik alan şiddetleri çizelge 2,2’de verilmektedir. Elektrik iletim hatlarının hemen altında (10kV/m) gibi yüksek değerlere ulasan elektrik alan şiddeti evsel kullanım cihazları için 30 cm mesafede çok daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Aşağıdaki tablo dikkate alındığında günlük hayatta çevremizde bulunan pek çok cihazın sağlığımız üzerinde tehdit oluşturduğu görülmektedir.

Çizelge 2.2. Bazı elektrikli ev aletlerinin elektrik alan şiddetleri

Elektrikli cihaz	Elektrik alan şiddeti (V/m)
Stereo radyo	180
Ütü	120
Buzdolabı	120
Mikser	100
Tost makinesi	80
Saç kurutma makinası	80
Renkli TV	60
Kahve makinası	60
Elektrikli süpürge	50
Elektrikli firm	8
Ampul	5

Elektro manyetik alanların vücudumuz üzerindeki etkilerini azaltmak için aşağıdaki yöntemler önerilmektedir.

- Elektrikli cihazların bir arada ve birbirine yakın mesafede kullanılmaması,
- Elektrikli cihazların uzun süreli ve yakın mesafede kullanılmaması
- Elektro manyetik dalgalara karşı koruyucu ürün ve malzemelerin kullanılması
- Uygun besinlerin alınması, A ve C vitaminleri, protein

2.1.3. Elektromanyetik dalgaların insan vücudu üzerindeki etkileri

Elektromanyetik Radyasyonlar (EMR), dalga özellikli radyasyonlar olarak tanımlanır. EMR boşlukta yayılma özelliğine sahip olup bu tür dalgalar, dalga boyları ve frekansları ile tanımlanmaktadır. Tüm elektromanyetik dalgalar, boşlukta aynı hızla yayılır. Bu hızın ışık hızına eşit olup saniyede 300,000 km olduğu bilinmektedir. EM dalgaların hızı ile frekans ve dalga boyu arasındaki ilişki aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

$$\text{Işık Hızı (3x10}^{10}\text{cm/sn)} = \text{Frekans (1/sn)} \times \text{Dalga Boyu (cm)}$$

Dalga boyu son derece küçüldüğünde EMR, madde ile karşılaştığında, dalga olmaktan çok, bir enerji kümesi gibi davranmakta olup bu enerji kümeleri “kuantum” veya “foton” olarak isimlendirilmektedir.

Bu tipteki EMR’ler, X ve gamma ışınlarıdır. Enerjileri çok yükselen bu ışınlar moleküllere çarptığında onları iyonlaştırarak, molekül yapısını, yani yaşamsal fonksiyonlarını bozmakta ve böylece olumsuz biyokimyasal tepkimeler sonucunda kanser oluşumunu kolaylaştırabilmektedir. Yapılan çalışmalarda X ve gamma ışınlarına maruz kalan insanlarda, kanserlerin oluşumu (relatif risk) artmıştır. Bu nedenle bu ışınlar, “İyonlaştırıcı Elektromanyetik Radyasyon” şeklinde ifade edilmektedir. Bir diğer Elektromanyetik Radyasyon (EMR) grubu ise, tekstil ürünlerinin kalkanlama etkisi amacı ile kullanıldığı İyonlaştırmayan Elektromanyetik Radyasyonlar grubudur. Bu gruba giren ışınlar radyo dalgaları, mikro dalgalar, infrared radyasyon, görünür ışınlar ve lazer ışınları, ultraviyole ışınları (az enerjiliden yüksek enerjiliye doğru) olmak üzere sıralanırlar. Dalga boyu olarak, insan vücut kalınlığı içine düşen mikro dalgalar ve altındaki ışınların (infrared radyasyon, görünür ışınlar ve lazer ışınları, ultraviyole ışınları) insan vücuduna verdiği zararlar yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır. Mikro dalgaların pişirme özelliği, infrared ışınlarının göz merceğine, görünür ışınların göz dibine, ultraviyole ışınlarının deriye verdiği zararlar kesin olarak ispatlanmış zararlardır.

Elektronik teknolojisinin geniş kapsamlı uygulamalarıyla çeşitli frekanslardaki elektromanyetik dalgalar tüm evrene yayılmaktadır. Bu dalgaların varlığı ise yüksek iletkenlik özelliğine sahip insan bedenine önemli ölçüde zarar vermektedir. Birleşmiş Milletler, elektromanyetik kirliliği, su, hava ve ses kirliliğinden sonra dördüncü önemli kirlilik olarak görmektedir. Elektrik dalgası ve manyetik dalgadan oluşan elektromanyetik dalga, hücre zarına işleyerek Na/K gibi iyon dağılımlarını değiştirmekte ve melatonin salgısının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum vücut ısısının yükselmesine ve biyolojik ritmin bozulmasına sebep olmaktadır. (Anonim, 2012)

Cep telefonlarının ve baz istasyonlarının yaydığı radyasyonun insan dokularında oluşturduğu zararları, ısı etkisini, ifade etmek üzere ilgili kuruluşlar tarafından, “SAR (Spesifik soğurma hızı) değeri” kavramı ortaya atılmış ve yine aynı kuruluşlar tarafından standartlar belirtilmiştir. Temel standart olarak “ortalama insan vücut sıcaklığını 1°C arttıran EM enerji yutulmasının zararlı olduğu” kabul edilmiştir. Bu standarda göre kilogram başına dokuların yutabileceği maksimum güç 4 Watt olarak saptanmıştır. Fakat bu değer çalışan insanlar için 0,4 W/kg SAR, genel halk için 0,08 W/kg SAR değerine, yani güvenlik sınırlarına çekilmiştir.

Diğer taraftan alternatif akımla çalışan bütün cihazların civarında veya üzerinden alternatif akım geçen yüksek gerilim hatlarının etrafında bir elektromanyetik alan oluşmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar, EM alana maruz kalan deney hayvanlarında çok çeşitli olumsuz etkiler belirlemiştir. Ayrıca EM alana maruz kalan meslek grupları üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar, bu gruplarda lösemi ve beyin kanseri ölümlerinin normal halktan anlamlı biçimde yüksek olduğunu göstermiştir. Burada ifade edilen manyetik alanlar, 50.000 Volt üzerinde alternatif akım taşıyan havai hatlar veya indirme merkezlerinde yapılan çalışmalardır. Daha düşük seviyeli etkilenmeler için (örneğin saç kurutma makinesi veya cep telefonları EM alanının etkileri gibi) henüz epidemiyolojik araştırmalarla kesin bulgular ortaya konmamıştır. Ancak bu durum mevcut şüphelerin göz ardı edilmesini de gerektirmemektedir. Konu ile ilgili riskler ve alınması gereken önlemler konusunda kamuoyunu bilgilendirmek amacı ile çeşitli çalışmalar yapılmakta ve halkın bilinçlenmesi için çaba harcanmaktadır (Anonim, 2011).

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 artısında hızlanma veya yavaşlama, nefes alma sıklığında değişim gibi kardiyolojik etkiler, sinüzit, bronşit, astım gibi solunum yolu sorunları, ciltte tahriş, kasıntı, 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 olumsuzlukların ortaya çıktığı ifade edilmektedir. Ayrıca uzun dönemde kanser, normal hücre bölünmesi, sinirlerde hasar, beyin hasarları ve düşüklere neden olabilecek olumsuz etkiler görülmektedir.(Anonim, 2010)

2.2. Elektromanyetik Alanlardan Korunma

Elektromanyetik alanlar frekansa bağlı olarak farklı davranışlar da; genellikle kendilerini oluşturan kaynaktan uzaklaştıkça şiddetlerinde hızlı azalma görülür (Şeker, 2000). Elektromanyetik alan yayan kaynağa olan uzaklığın, elektromanyetik alanın serbest uzaydaki dalga boyunun yaklaşık 1/6'sına kadar olan bölüm yakın- alan, bu değerden daha uzak olan bölümler ise uzak- alan olarak tanımlanmaktadır. Yakın- alanda elektrik alan ile manyetik alanın maksimum ve minimum değerleri ilerleme yönünde aynı noktada oluşmazlar. Bu nedenle bu bölgede elektromanyetik alanın yapısı oldukça karmaşıktır. Uzak- alan bölgesinde ise düzlem dalga modeli kabul görmüştür. Bu modele göre, elektrik alan ve manyetik alan vektörleri birbirlerine ve dalganın ilerleme yönüne diktirler (Ersoy ve Önder, 2008). Elektromanyetik radyasyondan korunmanın en basit ve etkili yolu, elektromanyetik radyasyon kaynağından uzak durmaktır. Fakat bu her zaman mümkün olmayacağı için farklı korunma yöntemleri geliştirilmiştir.

2.2.1. Ekranlama

Elektromanyetik radyasyondan korunmada başlıca yöntemlerinden birisi ekranlamadır. Ekranlama; kart, devre ya da cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik anlamda izole etmek olarak tanımlanabilir (Sevgi, 2008). Bilgisayar ve telekomünikasyon teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve geniş uygulama alanları,

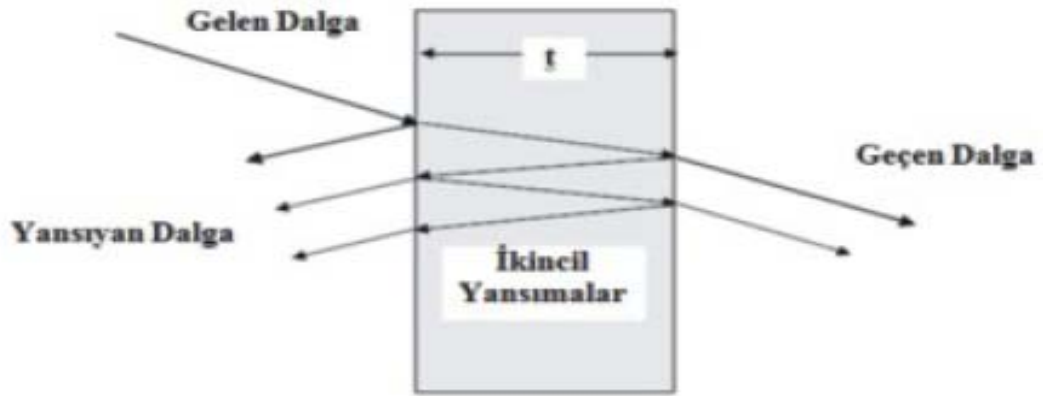
elektromanyetik radyasyona karşı, özellikle radyo ve mikro dalga frekans aralığında ekranlamaya olan ilgiyi artırmıştır (Lee vd., 1999).

EMC problemlerinde iki tip girişim söz konusudur. Bunlar elektrik dipolü ve manyetik dipolü olarak davranan kaynaklardır. Elektrik dipol yakınında güçlü elektrik alan, manyetik dipol yakınında ise güçlü manyetik alan oluşur (Sevgi, 2008). Ekranlama yapısını tasarlamadan önce, elektrik, manyetik ya da her ikisine de ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi gereklidir.

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

Elektriksel alan ekranlama pratikte yüksek frekanslarda ($f > 30$ MHz) önemlidir. Değişik parçalar arasındaki kontak direncinin kalitesi önemlidir (izole edilmiş parçalar anten gibi davranır). Delikler ve açıklıklar frekansa bağımlı olarak önemlidir. Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkiler (Sevgi, 2008).

Elektromanyetik alan bir cismin içinden geçtiğinde, cisimle etkileşime girdiğinde alanın gücünün nasıl azaldığını belirleyen üç olay vardır; absorpsiyon ile zayıflama, yansımaya bağlı zayıflama ve çoklu yansımaya bağlı zayıflama (ikincil yansıma kayıpları). Çoklu yansımaya bağlı zayıflamalar genellikle ihmal edilmektedir (Roh vd., 2008). Şekil 2.3'de kalınlığı " t" olan kayıplı bir duvarda ekranlama için mekanizma gösterilmiştir (Sevgi, 2008).



Şekil 2.3. Kalınlığı t olan duvarın ekranlama etkinliği (Sevgi, 2008)

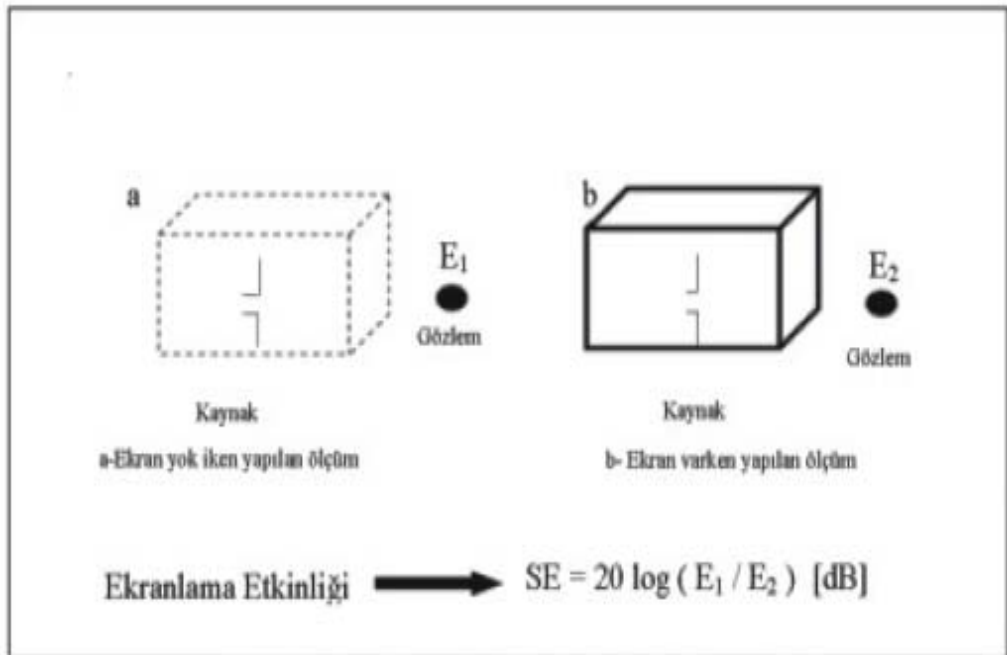
Bir elektromanyetik dalga bir cismin yüzeyine çaptığında, cisimdeki yükleri kendisi ile aynı frekansta salınım yapmaya zorlar. Bu zorlanmış salınım yapan yük bir anten gibi davranır ve mevcut dalgayı geri yansıtarak yansımaya neden olur. Bir başka ifade ile dalganın uzaydaki empedansı ekrandaki empedansından farklı olduğunda elektromanyetik ekrandan yansıma olur. Bu ekranın kalınlığından bağımsız ve materyalin iletkenliğinin, manyetik geçirgenliğinin ve frekansın bir fonksiyonudur. Dalga empedansı manyetik alanlar (düşük empedans) ve elektrik alanlar (yüksek empedans) için farklı olduğundan her dalga tipi için ekrandaki yansıma farklı karakteristikler gösterir. Metaller gibi elektrik iletken materyaller elektromanyetik alanların ekranın içine işlemlerini önleyecek şekilde yansıtır. Yansıma, ekran özellikli malzemenin hem dış yüzeyinde, hem de iç kısmında gerçekleşmektedir. Ayrıca mevcut elektrik alan etkisi ile kutuplaşan zıt yükler, ters yönlü bir elektrik alan oluştururlar ki bu da elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşenini zayıflatır (Ersoy ve Önder, 2008).

Elektromanyetik dalgaların tamamı geri yansıtılmayıp bir kısmı bariyeri geçerek ölçülen sinyali oluşturur. Bu bariyerin etkisi ile elektromanyetik alan birçok yönde yayılarak saçılır. Elektromanyetik dalganın bir kısmı titreşime zorlandığından enerji ısı formunda kaybedilir. Bu şekildeki elektromanyetik enerji kaybı Absorbsiyon nedeni ile azalma şeklinde tanımlanabilir. Elektromanyetik ekrandaki Absorbsiyon elektromanyetik enerjiyi termal enerjiye çevirir. Elektromanyetik soğurucu ekranlar

istenmeyen elektromanyetik dalgaları zayıflatır ve böylece elektromanyetik girişimi (Electromagnetic Interference, EMI) çözer. Absorbsiyon kaybı alanın dalga empedansına bağlı değildir ve bundan dolayı yakın veya uzak alan şartları ile de ilgili değildir (Roh vd., 2008).

Metalik yüzeye çarpan bir elektromanyetik dalganın bir kısmı geri yansıtılırken diğer kısmı da ortamdan geçtiği esnada iletilir ve zayıflar. Bu kayıpların (yansıma ve Absorbsiyon) kombine efekti ekranın etkinliğini (Shielding effectiveness-SE) belirler. Ekranlama etkinliği frekansla, ekran geometrisiyle, ekranın içerisindeki yerleşimle, zayıflatılan alan tipiyle, çarpma yönüyle ilişkilidir (Roh vd., 2008).

SE ekranlamanın tipik bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. SE, kaynak ile gözlem noktası arasında ekran yok iken ölçülen (ya da hesaplanan) elektrik alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Sevgi, 2008). Bu durum Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Ekranlama etkinliğinin tanımı (Sevgi, 2008)

Ekranlama etkinliği hesaplanırken (2.1) ve (2.2) denklemleri kullanılabilir (Ersoy ve Önder, 2008).

$$SE=10\log P1/P2 \quad (2.1)$$

$$SE=20\log E1/E2 \quad (2.2)$$

P1 = Ekran olmadan alınan güç (watt)

P2 = Ekran varlığında alınan güç (watt)

E1 = Ekran olmadan ölçülen alan şiddeti (volt/m)

E2 = Ekran varlığında ölçülen alan şiddeti (volt/m)

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

SE değeri ekranlama etkinliğini gösteren logaritmik bir değerdir. Elektrik alanın yüzdesel olarak ne kadar zayıfladığını göstermek için ise % azalma kullanılır.

% Azalma, (2.3) denklemine göre hesaplanabilir.

$$\%Azalma = \frac{E1 - E2}{E1} \times 100 \quad (2.3)$$

(2.3) denkleminde (E2/E1) yerine (2.2) denkleminde elde edilecek değer yazılırsa % Azalmanın SE cinsinden değeri (2.4) denklemindeki gibi bulunur.

$$\%Azalma = \left(1 - 10^{-\frac{SE}{20}}\right) \times 100 \quad (2.4)$$

Pratikte verilen ekranlama etkinliği değerlerinin anlamlı olabilmesi için Çizelge2.3'de SE ve % Azalma değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Tipik SE ve % azalma değerleri

SE (dB)	% Azalma	Açıklama
0-10	0-68,377	Ekranlama beklenmez
10-30	68.377-99.838	Basit Ekranlama
30-60	99.838-99.99	Normal Ekranlama
60-90	99.900-99.997	Yeterli Ekranlama
90-120	99,997-99,999	Mükemmele Yakın Ekranlama
120-	99,999 ve yukarısı	Maksimum Ekranlama

Çizelge 2.3'den görüldüğü gibi genel olarak 30 dB ekranlama etkinliği ortalama değer olarak kabul edilmektedir. Pratikte birçok sorunu 40 dB ekranlama etkinliği çözebilir. Askeri sistemlerde 100-120 dB ekranlama etkinliği istenebilmektedir. Telefon kabloları için şartnamelerde istenen değerler 80-90 dB civarındadır (Sevgi, 2008).

Pratikte ekranlamada aşağıdaki noktalar önemlidir:

- Ekranlama elektrik alanın düşük frekanslarda yansıtılması, yüksek frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Ekranlama manyetik alanın düşük frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Yüksek iletkenlik, yansıma ve yutulmayı pozitif yönde etkiler.
- Yüksek manyetik geçirgenlik yüksek yutulmaya neden olurken, düşük yansıma oluşturur.
- Çok düşük frekanslı manyetik kaynakların ekranlanacağı hallerde yüksek manyetik geçirgenlikli malzemeler kullanılır.
- Ekran kalınlığı arttıkça yutulma artar.
- Manyetik alan için kalın ekranlara ihtiyaç duyulurken elektrik alan için ince yapılar (folyo kalınlığında) kullanılabilir.
- Kaynak ile ekran arasındaki uzaklık yansıma özelliklerini değiştirir.
- Elektrik alan etkileri daha baskın olan kaynaklar ekrana yakın, manyetik alan etkileri daha baskın olan kaynaklar ekrana uzak yerleştirilmelidir (Sevgi, 2008).

2.2.2. Faraday kafesi

Faraday kafesi; yüksek frekanslı gerilimlerin, elektromanyetik parazitlerin ve her türlü elektriksel gürültünün dışarıdan içeriye aynı şekilde içerden dışarıya geçmesini engelleyen, iyi bir iletkenlik özelliğine sahip topraklanmış bir çeşit zırhtır (Anonim, 2008).

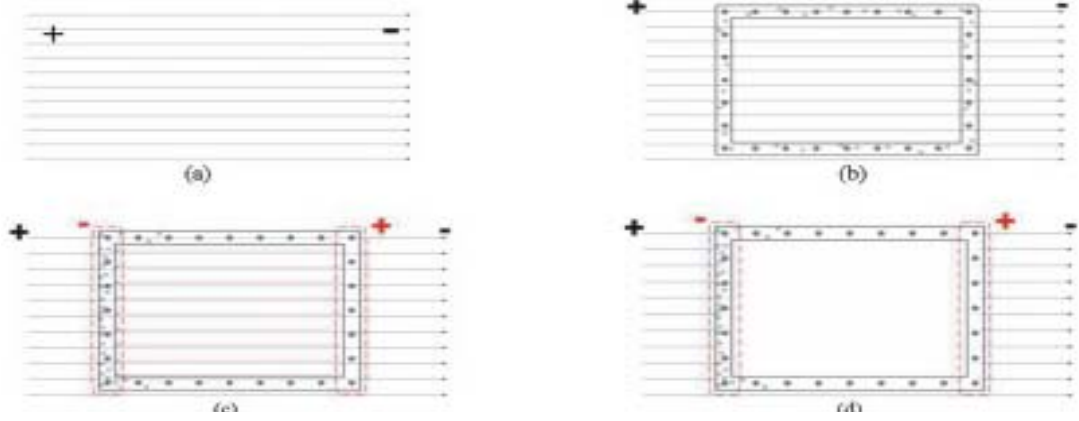
İletken teller ile ağ biçiminde kaplanmış ve topraklanmış her kafesle bu koruma gerçekleştirilebilir. Ağ gözü sıklığı ve topraklama kalitesi korumayı artırır. Daha dar ağ gözleri ile daha yüksek frekans elektromanyetik dalgalara karşı geçirmezlik sağlanabilir.

Geniş ağ gözleri ise düşük frekanslı (daha uzun dalga boylu) radyo dalgalarına karşı geçirmezlik sağlamaktadır (Anonim, 2012).

2.2.2.1. Faraday kafesi çalışma prensibi

Faraday kafesi ideal olarak; topraklanmış, örneğin içi boş metal bir küre gibi kapalı bir iletken yüzeyden oluşur (Şekil 2.5). Ancak iletken yüzey sürekli olmak yerine, kafes şeklinde de imal edilebilir.

Bu durumda kafes aralıklarından bir miktar elektrik alanı içeriye sızacak, fakat aralıklar yeterince küçükse bu bir sorun oluşturmayacaktır. Öte yandan geometrinin küre olması şart değildir. Kapalı herhangi bir yüzey, kafes görevini yerine getirebilir. İletken malzemeleri oluşturan atomların en dış yörüngelerindeki değerlik elektronları, atomlarından kolayca ayrılarak hareket etme yeteneğine sahiptir. Dolayısıyla; elektrik alanı (Şekil 2.5a +’dan -’ye doğru giden bir elektrik alan ele alalım) içerisine kapalı bir yüzeye sahip olan iletken bir cisim yerleştirildiğinde (Şekil 2.5b) bu elektronlar, iletkenin içerisindeki elektrik alanı sıfırlanmaya kadar hareket eder ve "yeniden dağılıma" uğrarlar (Şekil 2.5c, Şekil 2.5d). Elektrik alanın sıfırlanmasıyla birlikte, hareket etmelerinin gerekçesi ortadan kalkmış olur. Faraday kafesi bu ilkeye göre çalışır ve içindeki nesnelere dış elektrik alanlara karşı korur. Şekil 2.5 Faraday Kafesinin Çalışma Prensibini açıklamaktadır.(Anonim, 2012)



Şekil 2.5. Faraday kafesinin çalışma prensibi

Faraday kafesinin genel kullanım alanları arasında; yıldırımın etkilerinden korunmak, elektronik test-ölçüm laboratuvarlarından doğru sonuçlar elde etmek, elektromanyetik dinleme için güvenlik sistemleri (cephanelikler, gizli bilgilerin dışarıya çıkmasından endişelenilen durumlarda) sayılabilir (Anonim, 2012)

2.3. Elektromanyetik Alanlardan Korunmada Kullanılan Malzemeler

Ekranlama amacıyla kullanılacak malzeme; iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalı (dalgaların malzemeye nüfuzunu minimize etmek için) ve yüksek manyetik geçirgenliğe sahip olmalıdır (manyetik enerjiyi ısıya çevirmek için) (Anonim 2008).

Yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemeler yüksek frekans aralığında (>300MHz) elektromanyetik ekran olarak davranabilirler. Pratikte, iyi iletkenler elektrik bileşeni E ve manyetik bileşeni H'yi eşit olarak azaltırlar. Frekansın 30 MHz'den düşük olduğu durumlarda manyetik bileşen H'nin azaltılması çok zordur ve sadece ferro-manyetik malzemelerle mümkündür (Aniolczyk vd., 2004). Bu yüzden elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, manyetik ekranlama ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır (Lee vd., 1999). Bazı uygulamalarda, sadece elektrik bileşeni E'nin azaltılması yeterlidir. Alüminyum folyodan oluşan ince metal perdeler bile bazen yeterli elektriksel ekranlama sağlayabilir (Sevgi, 2008).

Elektromanyetik radyasyona karşı elektriksel olarak iletken tekstiller de iyi ekranlama malzemesi olarak kullanılabilirler. Tekstil bariyerleri, esnekliklerine, hafifliklerine, dayanıklılıklarına, kolay bakım ve iyi dikilebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Bu özellikler, elektromanya karşı potansiyel uygulama alanlarını, iç giyimden (pijama, gecelik), ev tekstilleri, çarşaf, battaniye, perde, duvar kâğıdı, spor kıyafetleri ve çeşitli iş ve koruyucu giysilere kadar genişletmektedir.

Tekstil ürünlerine elektriksel olarak iletken özellik kazandırmak için uygulanan yöntemleri genel olarak 3'e ayırmak mümkündür

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

2.3.1. Klasik malzemeler

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

- Kullanılan malzemeye,
- Ekranı oluşturan parçaların birleştirilme şekline,
- Elektromanyetik dalganın frekansına, bağlıdır (Anonim, 2012).

2.3.2. Kompozit malzemeler ve iletken polimerler

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

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

EMİ' ya karşı ekranlamada kompozitlerin kullanımı da oldukça yaygındır. Bu tarz kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılan iki metot; plastik yüzeyini iletken bir malzeme ile kaplamak ve polimeri iletken bir dolgu malzemesi ile birleştirmek şeklinde belirtilebilir (Anonim, 2012).

Özellikle plastik muhafazaya sahip elektronik aletlerde, muhafazanın iç yüzeyini metalik mürekkep veya benzer malzeme ile kaplamak, yaygın olarak kullanılan bir ekranlama metodudur. Mürekkep uygun bir metal (tipik olarak bakır veya nikel) ile yüklenmiş çok küçük partiküller halindeki taşıyıcı materyalden oluşur. Bu mürekkep muhafazaya püskürtülür ve kuruduktan sonra, sürekli iletken bir metal tabaka oluşturarak etkin bir iletken dolgu malzemesi kullanımında, dolgu malzemesi olarak iletken liflerin kullanımı; iletkenliği sağlamakla kalmayıp oluşan kompozit yapının dayanımını da arttırmaktadır. Chiang ve Cheng tarafından yapılan bir çalışmada, iletken plastik, çift vidalı ekstrüderde iletken karbon lifinin akrilonitril-bütadien-sitren (ABS) ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada farklı proses şartlarında üretilen plastik malzemeler için elde edilebilen en iyi ekranlama değeri 30 desibel (dB) bulunmuştur (Özcan, 2008). ABS reçineleri, iyi fiziksel özellikleri ve diğer mühendislik polimerlerinden oldukça düşük maliyetleri nedeniyle, elektronik ev cihazlarında, iletken kompozitlerin bir matrisi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. İletken karbon lifinin eldesinin kolay olması ve diğer metal

liflerden ucuz olması, ekranlama amacıyla üretilen kompozit malzemelerde karbon lifinin kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Kompozit malzemedeki karbon lif içeriği ve lif uzunluğunun, EMİ önlemede iki önemli faktör olduğu da belirtilmiştir(Ersoy ve Önder, 2008).

Yang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada paslanmaz çelik lifler ve nikel kaplı grafit lifler ile doldurulmuş, enjeksiyonla şekil verilmiş ABS disklerin EMİ ve SE değerlerini araştırmıştır. Çalışmada; aynı şartlarda (lif uzunluğu ve ağırlık yüzdesi olarak), paslanmaz çelik lif doldurulmuş disklerin, nikel kaplı grafit lif doldurulmuş disklerle göre SE değerlerinin daha iyi olduğu ortaya konulmuştur(Yang vd., 2002).

Günümüzde nano karbon lifi ve karbon nanotüp uygulamaları da artmıştır. Düşük miktarlarda karbon nanotüp uygulandığında bile yüksek iletkenlikler elde edilmiştir. Örneğin; kütlece % 3 çok duvarlı karbon nanotüp dolgulu polikarbonat ürünler % 15 karbon lif dolgulu ürün ile aynı iletkenlik değerini göstermektedir. Tek duvarlı karbon nanotüplerde ise aynı iletkenliğe kütlece % 1'in altında ulaşmak mümkündür. Dolgunun homojen dağılımı da elektromanyetik ekranlama açısından son derece önemlidir (Ersoy ve Önder, 2008).

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin art arda dizilmesiyle oluşan uzun zincirli yapılardır. Bu yapılar naylon poşetlerden, araba lastiklerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Polimerlerin elektronik parçaların iç kısımlarında kullanımına sık rastlanmaktadır. Bu tip uygulamalarda tasarımcılar, yükü dağıtan ve elektromanyetik enerjiyi ekranlayan termoplastik malzemelere ihtiyaç duymaktadırlar (Amarasekera, 2005). Polimerlerin elektrik iletkenliğini arttırmak için iletken veya katkı maddeleri ile karıştırılması gerekmektedir. İletken polimer materyaller elde etmek için şimdiye dek, kesikli paslanmaz çelik lifleri, karbon parçaları, kesikli karbon lifleri gibi lifler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Üretim yöntemleri iletken elemanlarla termoplastik yüzeylerin kaplanması veya karıştırılması şeklindedir (Atlas, 2006).

İletken polimerler, 1979'lu yıllardan beri bilinen ve uygulamaları olan malzemelerdir. Bu malzemeler, askeri amaçlarla, sağlık bilimleri, elektronik,

bilgisayar teknolojisi gibi pek çok alanda kullanım alanı bulmuşlardır. 1979'da polipinolen malzemenin, elektrolitik yöntemlerle elektrod üzerinde üretildiğinde kendiliğinden iletken hale geldiği saptanmıştır. Bir süre sonra da pirol ve tiyofen adı verilen malzemelerin türevlerinden iletken maddelerin sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu polimerler, bazı özel uygulamalar için, örneğin, iletken polimerler, çok düşük akımlar üretmeleri ve çok uzun ömürlü olmaları nedeniyle kalp pillerinde elektrod olarak kullanılmışlardır. Bu malzemelerin elektromanyetik ekranlamada da kullanılabileceği anlaşılmıştır. Radyo frekansı ya da kızılötesi dalgalar gibi gönderilen bütün radyasyonu emdikleri için bu polimerler radar dalgalarına karşı görünmez cihazların yapımında kullanılmışlardır (Anonim, 2008).

Lee ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; Polianilin ile gümüş, grafit ve siyah karbon gibi iletken tozların karışımlarının EMİ ve SE değerleri, ASTM D4935-89 tekniği ile 10 MHz-1 GHz frekans aralığında ölçülmüştür. Polianilin, polipiyrol ve poliasetilenin, bakıra kıyasla yüksek ekranlama verimliliği gösterdiğini belirtmişlerdir (Lee vd., 1999). İletken polimerler; yüksek özgül dayanım, sertlik ve film formuna dönüştürme avantajları nedeniyle giderek daha fazla önem arz etmektedirler. Ancak bu polimerler oldukça pahalıdır. Olası "plastik metal" malzemeler; antistatik kaplamalar, EMİ koruma ve düşük gramaj, esneklik ve yüksek iletkenliğin gerekli olduğu; tekstil, elektronik, haberleşme, savunma sanayi ve diğer alanlarda kullanılabilecektir (Ersoy ve Önder, 2008).

2.3.3. Elektro-iletken boyalar

Elektro-İletken boyalar, nikel, bakır, gümüş veya grafit tozu gibi elektriksel olarak iletken dolgu maddesi ile karıştırılmış akrilik, akrilik-üretan ve üretan reçine gibi yapıştırıcılardan oluşan katı madde içeriğine sahiptir. Elektro-İletken boyanın ekranlama kapasitesi, boyanın kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle fonksiyonel amaçlar için boyayı kalın ve uniform uygulamak önemlidir (Yusufuku, 1990). Bu boyalar doğru şekilde uygulandığında elektromanyetik alanlara karşı etkin bir ekranlama sağlamaktadırlar.

Şekil 2.6'da ekranlama amacıyla kullanılan koruma boyalarının örnek bir uygulaması görülmektedir. Örnekte boyanın uygulama amacı konut yakınında bulunan cep

telefonu baz istasyonunun yaydığı radyasyona karşı koruma sağlamaktır. Boya uygulamasından önce radyasyon seviyesi/güç değişim yoğunluğu (power flux density) $150 \mu\text{W}/\text{m}^2$ okunmaktadır. Ancak bu değer koruma boyası uygulamasından sonra $0.08 \mu\text{W}/\text{m}^2$ 'ye düşmüştür (Anonim, 2008).



Şekil 2.6. Ekranlama amacı ile kullanılan koruma boyası uygulaması

2.3.4. İletken iplikler ve kumaşlar

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

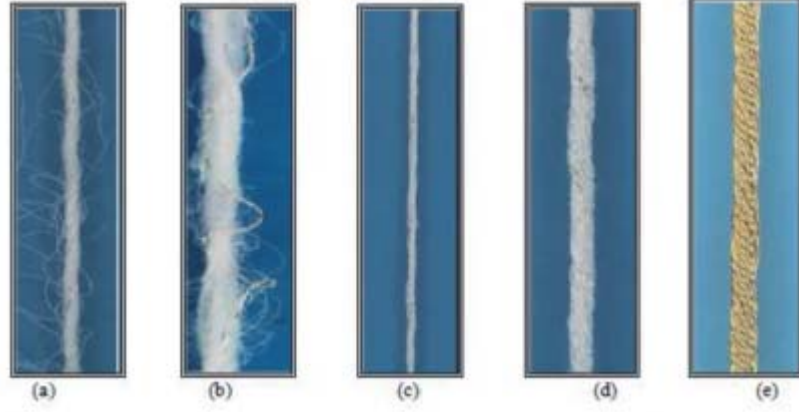
Elektromanyetik ekranlama özelliği gösteren tekstil yapılarını iletken iplik kullanılarak üretilen tekstiller ve çeşitli bitim işlemleri ile iletkenlik özelliği kazandırılan tekstil yüzeyleri olarak iki grup altında inceleyebiliriz.

İletken iplikleri de dört temel grup altında incelemek mümkündür:

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

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

Kesik elyaf/kontinü metal ipliklerin sentetik veya doğal liflerle karışımı şeklinde üretilen metal iplikler farklı üretim yöntemleri ile elde edilebilirler. Şekil 2,7' de farklı yöntemlerle elde edilmiş gümüş kaplı bakır tel içerikli metal iplik örnekleri ve % 100 gümüş kaplı bakır tel örneği görülmektedir. (a- Özlü iplik/PES-Kesik elyaf gümüş kaplı bakır tel %80 PES/%20 metal b- Hava jeti tekstüre/PES-Kesik elyaf gümüş kaplı bakır tel %80 PES/%20 metal c- Bükülmüş PES-Kesik elyaf gümüş kaplı bakır tel %42 PES/%58 metal d- Bükülmüş PES - gümüş kaplı bakır tel %75 PES/%25 metal e- Gümüş kaplı bakır tel % 100 metal) (Anonim, 2008).



Şekil 2.7. Gümüş Kaplı Bakır Tel İçerikli Metal İplik Örnekleri

Literatürde, iletken ipliklerle ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Lou, çalışmasında modifiye edilmiş ring iplik eğirme makinelerinde elastan yerine bakır ve paslanmaz çelik tel kullanmıştır. Lou, merkezde kullanılan metal tipinin, besleme pozisyonunun, fitil tipinin, büküm seviyesinin ve üretilen iplik numarasının üretilen core-spun ipliklerin tüylülük ve mukavemet özelliklerini ne şekilde etkilediğini incelemiştir (Lou, 2005). İletken kompozit core-spun iplik; anti-elektrostatik ve elektromanyetik radyasyona karşı ekranlama özelliğine sahip örme ve dokuma kumaşların üretiminde kullanılabilir.

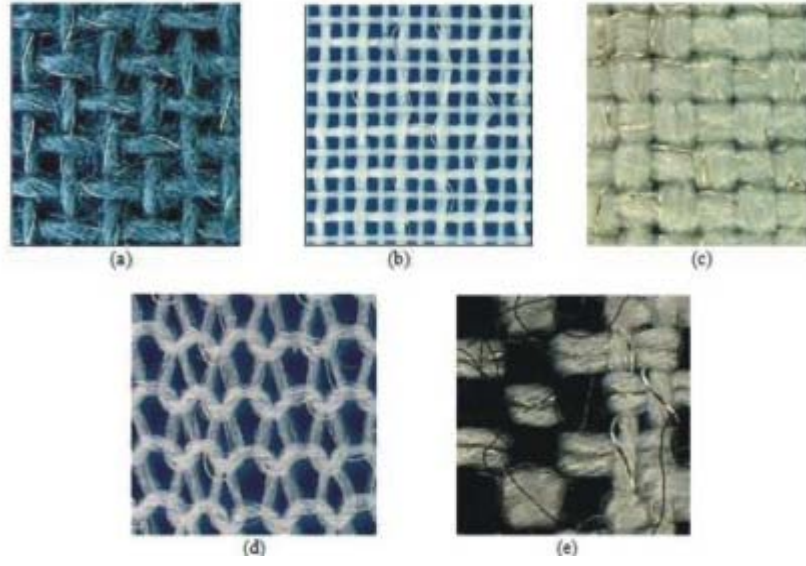
Başka bir çalışmada Cheng ve arkadaşları, açık-uç friksiyon iplik eğirme tekniği ile çalışan DREF III model makinede merkezinde paslanmaz çelik tel, örtü lifi olarak ise paslanmaz çelik, kevlar ve viskon kesik elyafının kullanıldığı iplikler üretmişlerdir. Ardından bu iplikleri, farklı konstrüksiyonlardaki dokuma kumaşların üretiminde kullanmışlardır. Üretilen kumaşlara uygulanan testlerle, kumaşların, elektriksel olarak iletkenliği ve elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikleri araştırılmıştır (Cheng vd., 2003).

Chen ve arkadaşları kaplama metodu ile ürettikleri, merkezde bakır, sargı lifi olarak da paslanmaz çelik içeren kompozit iplikleri, dokuma ve örme tekniklerinin bir arada kullanıldığı bir sistemle kumaş haline getirmişlerdir. Ardından bu kumaşları, elektromanyetik radyasyona karşı koruyucu özellikte kompozit malzeme üretiminde güçlendirici eleman olarak kullanmışlardır (Chen vd., 2004).

Ueng ve Cheng, açık-uç friksiyon iplik eğirme tekniği ile kompozit iplikler üretmişlerdir. Ardından bu ipliklerden mamul iletken dokuma kumaşların elektromanyetik ekranlama ve elektrostatik deşarj özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kumaşların elektromanyetik ekranlama özelliği ile elektrostatik deşarj özelliğinin, kumaşın konstrüksiyonuna, sıklıklarına ve yapısındaki iletken madde oranına göre değıştığını belirtmişlerdir (Ueng ve Cheng, 2001).

Elektromanyetik alanların zararlı etkilerinden korunmak amacı ile iletken ipliklerden üretilen dokuma ve örme kumaşlar kullanılabilir. Tekstil yüzeylerinin elektromanyetik ekranlama özelliği göstermesi için sürekli bir iletken yüzey elde edilmesi gerekli değildir. Özünde iletken bir tel (paslanmaz çelik, bakır) ihtiva eden özlü ipliklerden oluşturulan yüzeyler, atkı boyunca ve/veya çözgü boyunca iletkenlik sağlarken, ekranlama etkisi de sağlamaktadırlar. Bu iplikler kullanılarak oluşturulan örme veya dokuma yüzeylerinin ekranlama verimliliğinin atkı ve çözgü sıklığı artışı ile de arttığı belirlenmiştir (Ersoy ve Önder, 2008).

Elektromanyetik alanların zararlı etkilerinden korunmak için kumaşlar etek, ceket astarlığı, perde, cibinlik, iç giyim, koruma çantası, çadır gibi farklı uygulamalar için üretilmektedir. Şekil 2.8'de elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan ve farklı uygulama alanlarında kullanılan kumaş örnekleri görülmektedir. Şekil 2.8a,b,c'deki kumaş örneklerinin üçünde de atkı ve çözgü yönünde cm'de 18 adet 0,02 mm çapında bakır kaplı mono filament gümüş renkli karışım iplikler bulunmaktadır (a-Astarlık kumaş pamuk /gümüş kaplı özde bakır filament b-Perde Kumaşı, PES filament iplik/gümüş kaplı bakır filament (büküm) ve PES mono filament c-Çadır Kumaşı PES / gümüş kaplı bakır filament (hava jeti) d- Süprem Kumaş %46 PES tekstüre iplik ,%54 gümüş kaplı bakır iplik e- Otomobil için üretilen iletken kumaşlar %93 PES, %7 gümüş kaplı bakır iplik). Özdeş metal yoğunluğuna göre tüm kumaşlar aynı ekranlama özelliğine sahiptir. Kullanılan metalik ipliklerin kalınlıkları ekranlama etkinliğini değıştirmemektedir. Sadece atkı ve çözgü yönündeki metal iplikler arasındaki mesafe önemli bir faktördür. Sadece atkı ve çözgü yönünde eşit mesafede mono filamentler içeren kumaşlarla yeterli SE değeri sağlanabilmektedir (Anonim, 2008).



Şekil 2.8. Elektromanyetik alanlara karşı ekranlama özelliği olan kumaş örnekleri

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

- 1.Sağlık alanında kullanılan tekstil yüzeyleri
- 2.Endüstri ve savunma sistemlerinde kullanılan tekstil yüzeyleri

Şekil 2.9’da elektromanyetik radyasyondan koruyucu ürünlerinin çeşitli kullanım alanları gösterilmiştir.



a- Koruyucu cibinlik



b- Koruyucu yatak, yorgan, yastık



c- Koruyucu giysi

Şekil 2.9. Elektromanyetik radyasyondan koruyucu ürünlerinin çeşitli kullanım alanları

Belirli kimyasal bileşenler (örneğin dördüncül amino tuzlar, yağ asitlerinin modifiye esterleri, poliglikol türevleri ve fosforik asit esterleri) içeren anti-elektrostatik terbiye işlemleri de tekstil ürünlerinin elektro-iletkenliklerini artırmanın geleneksel yöntemlerindedir. Ancak, elyaf yüzeyinde birikinti yapmaya dayanan bu metotlar, ürünün kullanımı esnasında düşük yıkama ve sürtünme dayanımlarından dolayı istikrarlı bir iyileştirme etkisini garanti etmezler (Pınar ve Michalak, 2006).

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

1. Yüzeylerin doğrudan kaplanması: Tekstil yüzeyine, içerisinde iletken katkı maddeleri bulunan bir çözeltiyi köpükle kaplama yöntemiyle uygulamak veya iletken bir folyonun yüzeye uygulanması ile sağlanmaktadır. Kaplamadaki en önemli sorun ise; kumaşın lifleri arasında bir köprü oluşturan kaplamanın harekete maruz kaldığında kırılmalar göstermesidir (Ersoy ve Önder, 2008).

2.Kimyasal polimerizasyon metodu: İletken bir polimerin ve çeşitli katkı maddelerinin kumaş yüzeyi üzerinde sentezlenmesi ile iletken yüzey oluşturulmaktadır (Ersoy ve Önder, 2008).

3.Vakum kaplama metodu: Vakumlu ortamda metallerin buharlaştırılarak, metal atomlarının kaplanacak ürünün yüzeyinde yoğunlaşması ile elde edilen kaplama işlemidir. Homojen bir dağılım elde etmek ve solüsyon özelliklerini değiştirerek prosesi kontrol altında tutmak mümkündür (Ersoy ve Önder, 2008).

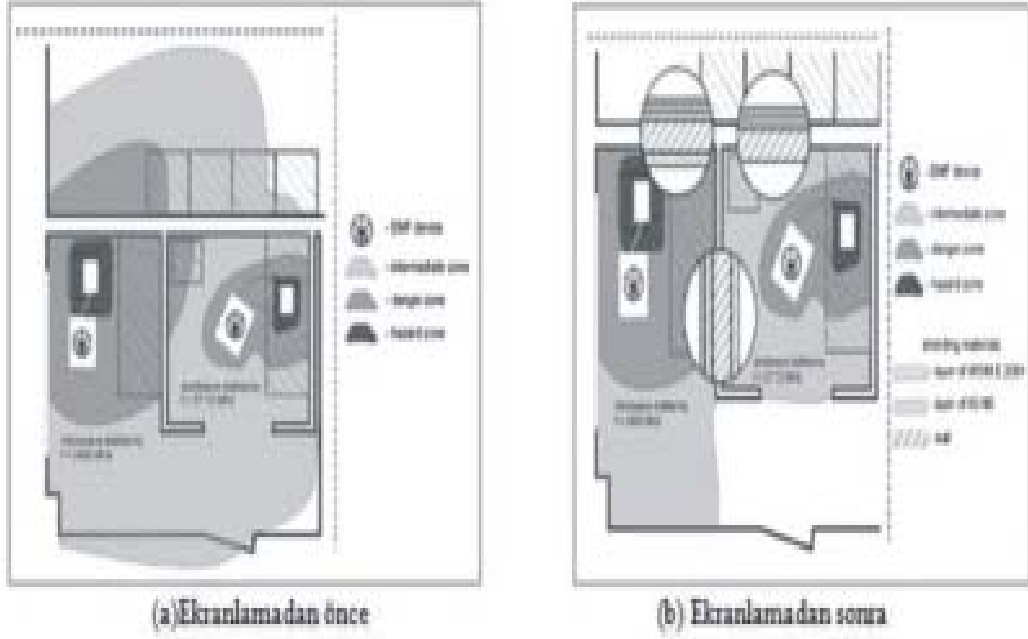
4.İyon implantasyon metodu: İyon implantasyonu yüksek vakum içerisindeki metal iyonların bir ışın yoluyla katı içine doğru gömülmesi ve böylece katının yüzeye yakın yakın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin modifiye edilmesi prosesidir. İyonlar malzemede yavaşladıkça, iyon enerjisine, iyonun gelme açısına ve alt tabaka bileşimine bağlı olarak, birkaç nanometre'den birkaç mikrometre'ye kadar değişen aralıktaki derinliklerde dağılırlar. Bu şekilde tekstil yüzeylerinin elektriksel iletkenlik, optik, mekanik, anti bakteriyel vb. özellikleri modifiye edilebilmektedir. İyon implantasyonu, bir ya da daha çok elemente ait yüksek enerjili iyon ışınlarının, katının yüzeyine girişine izin veren bir prosestir. Diğer yüzey işlemlerindeki gibi, iyon implantasyonu ara yüzey oluşturmaz. Başka bir deyişle, bir kaplama değildir (Ersoy ve Önder, 2008).

Literatürde iletken tekstil yüzeyleri ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Cheng ve arkadaşları çalışmalarında özlü iplik kullanarak, değişik örgü ve değişik sıklıklarda oluşturdukları dokuma kumaş yapılarında 30 MHz - 3000 MHz frekans aralığında, 30-50 dB koruma verimliliği değerlerini belirlemişlerdir (Ersoy ve Önder, 2008). Aniolczyk ve arkadaşları, çalışmalarında elektrik iletken tekstilleri elektromanyetik ekranlama malzemesi olarak pratikte kısa-dalga ve mikrodalga diyaterminin (elektrik akımıyla vücut dokularına ısı verme) kullanıldığı fizyoterapi için uygulamışlardır. Fizyoterapide kullanılan belirli cihazların bulunduğu ortamda, fizyoterapistlerin işyerlerinde elektromanyetik alan bulunur. Bu işyerlerinde elektromanyetik alan etkisine karşı önlem almak gerekmektedir. Kısa dalga diyaterminin (27.12 MHz) ve mikrodalga diyaterminin (2450 MHz) çalışması esnasında fizyoterapi işyerlerinde oluşan elektromanyetik alan sadece yakındaki diyatermi odalarına değil, aynı zamanda yan odalara da etki etmektedir. Bu odalar

genellikle görüşme odaları, rehabilitasyon odaları ve koridorlardır (Aniolczyk vd., 2004).

Aniolczyk ve arkadaşlarının çalışmalarında. Tekstil Araştırma Enstitüsünde (Lodz, Polonya) üretilen Nitril- Static (CuxSy ile modifiye edilmiş PAN lifleri) lifleri ile üretilmiş kumaşların iyi ekranlama verimliliği sağladığı görülmüştür. Tekstil Araştırma Enstitüsünde 15 yıl süreyle ticari ismi Nitril-Static olan metal tuzlu Polyacrylonitrile (PAN) lifi üretilmiştir. Genel olarak 3,3 dtex/60 mm. kesik elyaf lifler modifikasyona tabi tutulmuşlardır. Nitril-Static liflerinin en önemli parametresi özgül dirençtir. Elyafların %87' den fazlası 1-5 Ω aralığında özgül dirence sahiptir. Elektrik iletken lifler diğer liflerle birlikte kullanılmaktadır. Ekranlama verimliliği için iki tip tekstil ürünü incelenmiştir: %75 elektrik iletken PAN lifi ve %25 polyester filament iplikten oluşan WOM-E dikişle birleştirilmiş dokusuz yüzey ve % 100 elektrik iletken lif içeren IGNS iğnelenmiş dokusuz yüzey. İki ürün de yüzey ağırlığı ve kalınlık açısından oldukça farklı, fakat benzer yüzey direnç seviyesine sahip ve aynı zamanda elektrik iletkenlerdir. Tekstil ürününün tipine, modifikasyon derecesine ve elektromanyetik alan frekans aralığına bağlı olarak, elektrik bileşeni önemsenecek kadar küçük değerlerden 60 dB' e kadar ve manyetik bileşen 0 ile 4 dB arasında azalmaktadır (Aniolczyk vd., 2004).

Şekil 2.10'da gerçek koşullarda, yani fizyoterapi odasında, bireysel olarak korunmuş alanlarda tasarlanan ekranlamadan önce ve sonra elektromanyetik alan dağılımını göstermektedir (Aniolczyk vd., 2004).



Şekil 2.10. Ekranlamadan önce ve sonra fizyoterapi odasının içinde ve dışında elektromanyetik alan dağılımı

Sağlık işyerlerindeki cihazların özel ihtiyaçlarından (sterilizasyon, duvar, perde ve ekranların renkleri vs.) dolayı odaların koruma yönteminde özel sınırlamalar gereklidir. Özel tecrübe gerektiren durumlarda ekranlama verimliliğinin periyodik kontrolünün yapılması gerekebilir. Elektro-iletken tekstillerden yapılmış ekranlama malzemeleri kullanımıyla düşük maliyetle istenilen sonuç elde edilebilir. 2001 yılında tekstil malzemeleri kullanılarak iki hastanenin rehabilitasyon odaları ve bir tıbbi servis odasına ekranlama yapılmıştır (Aniolczyk vd., 2004).

Pinar ve Michalak çalışmalarında insan sağlığını statik elektriğe karşı korumak için üretilen koruyucu örgü kumaşların elektrostatik özelliklerini incelemişlerdir. Elektro-iletken elyaflar içeren iplikler kullanarak istikrarlı anti-elektrostatik özelliklere sahip örgü kumaşlar geliştirmişlerdir. Koruyucu giysi üretiminde elektro-iletken elyaf kullanımının özel avantajı, diğer yöntemlere göre, anti-elektrostatik efektin stabil olması ve havadaki rutubete bağlı olmamasıdır. Bir diğer avantaj da, anti-elektrostatik özellikleri korurken başka koruyucu özellikler elde edebilmek için terbiye işlemlerinde farklı kimyasallar kullanılabilmesidir (Pinar ve Michalak, 2006).

Pınar ve Michalak, örgü yapıları çözümlü örme ile üretmek üzere geliştirmiş ve elektro-iletken ipliğin periyodik olarak, temel iplikten üretilmiş zeminin içerisinde çalışacağını varsaymışlardır. Test materyalleri üç iğneli sağ/sol çubuk örgülü kumaşın üç varyantıdır. Varyantlar zeminin PES ile doldurulma derecesine göre ayrılmışlardır. Elektro-iletken iplikler örgü kumaş yapılarında düşey atkı formunda yerleştirilmişlerdir.

Uygulanan örgülerle, karışık yapıda anti-elektrostatik kumaşlar elde edilmiştir. Elektro-iletken iplik içeriğindeki farklılıklar, temelde zeminin polyester iplik tarafından dolgu derecesinden kaynaklanmaktadır. En düşük zemin dolgu derecesine sahip varyant, en yüksek elektro-iletken iplik içeriğine sahipken, tam tersi şekilde en yüksek zemin dolgu derecesine sahip varyant elektro-iletken iplik içeriği en düşüktür. Sonuçların analizine göre; elektro statik özellikler sadece örgü kumaş yapısındaki elektro-iletken iplik içeriğine değil, aynı zamanda zeminin yapısal özelliklerine de bağlı olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen örgü kumaşlar statik elektrik ile ilgili koruma gerekliliklerini sağlamakla kalmayıp aynı zamanda bugüne kadar kullanılmış olan anti-elektrostatik dokuma kumaşlarla karşılaştırıldığında temel avantaj olan yüksek hava geçirgenliğine sahiptirler. İlave olarak, geliştirilen örgü kumaşlar yüksek boyutsal stabiliteye de sahiptirler. Çözgü örme tekniği ile anti-elektrostatik materyallerin üretim teknolojisi, bugüne kadar kullanılan koruyucu giysileri için üretilen dokuma kumaş teknolojisine göre yenilikçi bir çözümdür (Pınar ve Michalak, 2006).

Elektromanyetik radyasyon tüm cephane çeşitleri için de engel teşkil edebilir. Bu yüzden tanksavar mayınlar ve güdümlü roket gibi silah sistemlerinin kullanımı yüksek derecede sorumluluk ve tedbir gerektirmektedir. Böyle silahların elle ve araçla taşınması, depolanması, sırasında hiç kimsenin risk altında olmaması sağlanmalıdır. Aynı zamanda taktiksel hareket kabiliyetinin elektromanyetik radyasyondan olumsuz olarak etkilenmeyeceği de garanti edilmelidir. Elektromanyetik alan seviyesi çok yüksek ise, elektromanyetik radyasyon silah sistemlerine zarar verebilir. Elektrik akımı silahın içine geçebilir. Bu akım istenmeyen bir ateşlemeye; insanlar ve nesnelere üzerinde bu ateşlemeden kaynaklanan büyük bir zarara neden olabilir. Silahın içerisine geçen akım ayrıca, silah sisteminin bileşenlerinde sıcaklık artışını meydana getirir. Eğer ısı belli bir

seviyeyi geçerse bileşen zarar görecektir. Silah çalışması gerektiği halde çalışmayacaktır. Tank savar roketinin elle ve vasıtayla taşınmasına sadece sınırlı koşullar altında izin verilmektedir. Örneğin; tank savar roketlerinin, herhangi koşul ve zamanda RF koruması olmadan helikopter ve uçakla taşınmasına izin verilmez. Bu yüzden bütün milletler tank savar roketler için RF koruyucu çantalarının kullanımının gerekli olduğunu belirtmiştir. Geliştirilen RF koruyucu çanta bütün elektromanyetik alanlar için çok etkili bir çözümdür ve elle taşımını kolaydır. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çantalar, elektrik, manyetik ve elektromanyetik alan etkisini oldukça zayıflatan çok dayanıklı bir tekstil malzemesinden yapılıdır. Bu çantaların koruma faktörü, elektromanyetik radyasyondan kaynaklanan herhangi bir olumsuz etkiyi engelleyebilecek kadar yüksektir. Şekil 1.11’de elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta örneği görülmektedir.



Şekil 2.11. Elektromanyetik alanlar için koruyucu çanta

2.2. Bor Madeni

Bor mineralleri, ülkemiz açısından büyük stratejik öneme sahip bir doğal kaynak olmaktadır. Bor mineralleri; hammadde, yan mamul ve mamul madde olarak cam, porselen, seramik, tekstil, deterjan, ağartma, tarım, refrakter, metalürji, nükleer yakıt teknolojisi ve yanmayı geciktirici malzeme gibi çok farklı sektörlerde kullanılmaktadır (Akkaya, 2012).

Bor ürünlerinin tüketimi ve yeni kullanım alanları günden güne artmaktadır. Ayrıca, borun yakın gelecekte enerji üretimi kaynağı olarak kullanılabilme olasılığı bor bileşiklerinin önemini arttırmaktadır. Bilinen Dünya Bor Rezervlerinin %70'den fazlasının Türkiye'de olması, bu mineralin önemini Türkiye açısından daha da arttırmaktadır (Akkaya, 2012).

Bor elementi doğada serbest olarak bulunmamaktadır. Yapay bor ise amorf ve kristal yapısında olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. Amorf bor, siyah veya kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise siyah, sert ve kırılmandır. Üç değerli bor, iyonik yarıçapının dört değerli silisten daha küçük olması nedeniyle, magmanın ilk kristalleşmesi sırasında oluşan minerallerin kristal kafeslerinde yer alamaz. Turmalin, danburit, dumortiyerit gibi borosilikatlar, granit pegmatitleri içinde ve granit dokularından oluşan pnömatolitik cevherlerde bulunmaktadır (Akkaya, 2012).

Volkanik gazlar içinde ve sıcak kaynar sularında bor miktarının yüksek olduğu, hatta bazı yerlerde ekonomik derişmelere ulaştığı bilinmektedir. Türkiye'de ve Amerika'daki bor yataklarının bulunduğu bölgelerdeki sıcak kaynak sularında bor miktarı 100 ppm üzerindedir. Araştırmacıların çoğu, borun kaynağını magmaya bağlamaktadır. Buna karşılık Goldschidt, sedimanter kayslann, mağmatiklerden daha çok bor içerdiğine değinmektedir (Akkaya, 2012).

Borun çeşitli kayaçlardaki dağılımına bakıldığında, denizel tortulardaki bor içeriğinin mağmatik kayaçlardakinden daha fazla olduğu görölmektedir. Denizel tortuların deniz suyundan aldıkları bor miktarı, denize karalardan taşınandan daha fazla olmaktadır.

Borun kimyasal özelliklerine gelince; bor havada 100 °C'de yavaşça okside olmakta ve yüksek sıcaklıklarda yeşil alev vererek yanmaktadır. Su ile yarım reaksiyonu; $3H_2O+B = H_3BO_3 + 3H^+ + 3e$ olmaktadır. Bor elementi asit içinde kolayca çözünmektedir. Bor oksijenle kolayca birleşerek B_2O_3 oluşturmaktadır. Ayrıca bileşikleri arasında tetraborik asit $H_2B_4O_7$, Boraks $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, Sodyum Borat Tuzu $NaBC > 3.4H_2O$, Magnezyum ve Alüminyum Borid, Bor Malojen bileşimleri (Bor Florür, Bor Klorür, Bor Bromür, Bor İyodür gibi), bulunmaktadır.(Anonim, 2003)

2.2.1. Bor madeninun tarihçesi

Bor ve türevleri uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Tarihçesine bakılınca, Bor tuzlarının 4 bin yıl önce ilk kez Tibet'te kullanıldığı, Babiller tarafından değerli eşyaların ergitilmesinde, Mısırlılarca mumyalamada, Eski Yunan ve Romalılarca da zemine serpilerek arena temizliği için kullanıldığı saptanmıştır. 875 yılında ise, Araplar ilk kez bor tuzlarından ilaç yapmışlardır.

Modern bor endüstrisi, 13. yy' da Marco Polo tarafından Tibet' ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlamıştır. 1771 yılında, İtalya'nın Tuscani bölgesindeki sıcak su kaynaklarında Sassolit bulunduğu anlaşılmıştır. 1830 yılında İtalya'da borik asit üretimi başlamıştır. Aynı zaman diliminde 1852 ' de Şili' de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği başlamıştır. Daha sonra, Nevada, California, Caliko Moutain ve Kramer yöresindeki yatakların bulunarak işletilmeye alınmasıyla ABD dünya bor gereksinimini karşılayan birinci ülke haline gelmiştir.

Yurdumuzda ise ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizamnamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine 20 senelik işletme imtiyazı verilmesiyle başladığı bilinmektedir.

2.2.2. Bor madeninun anadolu'daki tarihçesi

Türkiye'deki bor madenlerinin Doğu Roma İmparatorluğu devrinden beri bilinmekte ve kullanılmakta olduğu tahmin edilmektedir. İlk bor minerali yataklarına Balıkesir İli-Susurluk ilçesinin Sultançayı bölgesinde rastlanmıştır. Cevher, bir kalsiyum tuzu olup Pandermit olarak uzun süre yabancı şirketler tarafından işletilmiştir.

1861 yılında ilk "Maadin Nizamnamesi" çıkarılarak bu nizamname hükümlerine uygun bir şekilde 1865 yılında Fransız "Desmazures" şirketine Boraks Madeni İşletme imtiyazı verilmiştir. 1887'de Boraks Consolidated Ltd. İngiliz şirketi bu bölgeye yerleşmiş ve 1958'e kadar da işletme imtiyazı olarak faaliyetine devam etmiştir.

1927'ye kadar 624 yabancı şirkete imtiyaz verilmiş, 1944 yılında ise bu şirketlerin büyük kısmı millileştirilmiş ve yabancı sermayeye yeni imtiyazlar verilmemiştir.

Maden Tetkik ve Arama ve Etibank gibi yerli kuruluşlar 1935 yılında 2804 ve 2805 Sayılı Kanunlarla arama ruhsatlarını almışlar, II. Dünya Savaşı'ndan sonra arama faaliyetlerini yaygınlaştırmışlardır.

1950 yılında Bigadiç'te, 1952'de Mustafa Kemal Paşa bölgesinde kolemanit yatakları bulunmuş, 1956 yılında da MTA Enstitüsü Emet-Kütahya bölgesinde linyit etüdleri yapılması sırasında Hisarcık ve Hamamköy civarında kolemanit yataklarına rastlanmıştır. Bundan iki sene sonra 1958'de bu yatakların işletme imtiyazı Etibank'a verilmiştir.

Balıkesir Bölgesinde Boraks yataklarına sahip olan İngiliz Boraks Consolidated Ltd. Şirketi, Boraks cevherlerinin arttığını görünce Kırka-Sodyum tuzu yataklarını, 1965'den itibaren özel madencilerin elinden devralmaya başlamış ve bu yatakları Türk Boraks adı altında işletmiştir. Saha devir işlemlerinde kanuni noksanlıkların olması nedeniyle Türk Boraks'ın imtiyazı düşmüş ve 1968 yılından itibaren bu sahaların işletme imtiyazları Etibank'a verilmiştir. 1969 yılında proje çalışmalarına başlanmış, 1970'de de tesislerin kurulmasına geçilmiştir.

Başlangıçta yabancı şirketler tarafından işletilen bor madenlerimiz, 1968 yılında yabancı şirketlerin imtiyazlarının devlete devredilmesi ile Etibank ve bir kısım küçük ölçekli yerli şirket tarafından işletilmeye başlanmıştır. 1978 yılında bor madenlerinin devletçe işletilmesi kararından itibaren de madencilik, yatırım, üretim ve pazarlama konusundaki tüm aktiviteler Etibank (bugünkü Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü) tarafından yerine getirilmektedir.

Devletleştirme kararından bugüne kadar geçen yaklaşık 30 yıl gibi bir süre içinde gerek madencilik, gerekse rafine bor ürünleri üretiminde önemli ilerlemeler kaydedildiği açıktır. Bor rezervlerimizin 1978 yılında 600 milyon ton olduğu bilinirken, yapılan arama çalışmaları ile bugün 2,2 milyar ton rezerve sahip olduğumuz tespit edilmiştir. Rezerv çalışmaları halen Eti Maden/MTA işbirliği ile sürmektedir. Üretim kapasitemiz her geçen gün artmış ve dünya bor pazarında

etkinliğimizin giderek artmasıyla 1970'li yıllarda % 16 olan Pazar payımız bugün % 37'lere ulaşarak ABD'nin de önüne geçmiştir.(Anonim 2007a)

2.2.3. Bor madenciliğinde önemli tarihler

1702 Borik Asitin ilk kez İtalya'da laboratuvar ölçeğinde üretimi

1830 İtalya'da ilk borik asit üretimi

1852 Şili'de ilk ticari bor madeni işletmeciliği

1861 İlk Osmanlı Maden Yasası

1864 Kaliforniya'da ilk ticari bor üretimi

1865 Aziziye/Susurluk bölgesindeki pandemit adlı kalsiyum boratın işletme hakkının Compaigne Industrielle Desmazures şirketine verilmesi, böylelikle Türkiye'de ilk bor madenciliğinin başlaması şirketin Türkiye orijinli madeni kullanarak Fransa'da bir boraks rafineri tesisi kurması,

1872 Nevada ve Kaliforniya'da ilk üleksit cevherinin bulunması ve üretimin başlaması

1881 Death Valley Boraks rezervinin bulunması

1885 Borate / Kaliforniya bor rezervinin bulunması "Twenty Mule Team" yıllarının başlangıcı

1887 Compaigne Industrielle des Mazures'e Aziziye rezervi işletme hakkının 50 yıllık süre ile verilmesi

1887 Sultançayır rezervinin Charles Hanson & Co. Şirketi tarafından işletmeye alınması

1887 İngiltere'de kurulan The Borax Company şirketinin Compaigne Industrielle des Mazures Aziziye rezervinde çoğunluk hissesini alması

1899 Borax Consolidated Limited (BCL) şirketinin kurulması

1899 Desmazures'e ait sahaların BCL tarafından alınması

1913 Kramer Bor yataklarının bulunması (I. Dünya savaşı yılları, ABD 110.000 t/y boraks ile dünyanın en büyük üreticisi idi.)

- 1935 Türkiye’de maden arama ve işletme faaliyetlerini yapmak üzere Etibank ve MTA’nın kurulması
- 1951 Bigadiç Kolemanit rezervlerinin özel şirketler tarafından işletilmeye başlanması
- 1954 BCL’in Türkiye’deki madencilik faaliyetlerini geliştirmek amacı ile Türk Boraks Madencilik A.Ş.’ni kurması
- 1954 Sultançayırı maden ocağının kapatılması
- 1958 Etibank Emet yataklarından ilk cevherin üretimi
- 1959 Türkiye’nin ilk cevher ihracatı
- 1960 Türk Boraks Madencilik A.Ş. ve Türk ortakları tarafından Kırka Sodyum Borat yataklarının bulunması
- 1964 Etibank’ın 20.000 t/y boraks dekahidrat kapasiteli ilk tesisinin işletmeye alınması
- 1968 Etibank’ın 6.000 t/y kapasiteli ilk borik asit tesisinin devreye alınması
- 1968 Bakanlar Kurulu kararı ile Türk Boraks Madencilik A.Ş.’nin tüm maden arama ve işletme haklarının Etibank’a devri
- 1975 Bandırma Sodyum Perborat Tesisinin İşletmeye Alınması
- 1978 2172 sayılı yasa ile Bor rezervlerinin tüm madencilik ve işletme haklarının Etibank’a verilmesi
- 1984 Kırka I. Bor Türevleri Tesisinin işletmeye alınması
- 1987 Bandırma II. Borik Asit Tesisinin işletmeye alınması
- 1996 Kırka II. Boraks pentahidrat tesisinin işletmeye alınması
- 2001 Kırka III. Boraks pentahidrat tesisinin işletmeye alınması
- 2003 Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN)’nün kurulması
- 2004 Emet Borik Asit Tesisinin devreye alınması
- 2007 Kalsine Tinkal Pilot Tesisinin devreye alınması (Anonim 2007)

2.2.4. Bor elementinin özellikleri

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Temel hal elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ 'dir.

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir.

Borun saf elementi ilk kez, 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir.

Bor, biri amorf ve altısı kristalin polimorf olmak üzere, çeşitli allotropik formlarda bulunur. Alfa ve beta rombohedral formlar en çok çalışılmış olan kristalin polimorflarıdır. Alfa rombohedral yapı 1200 C' nin üzerinde bozulur ve 1500 C' de beta rombohedral form oluşur. Amorf form yaklaşık 1000 C' nin üzerinde beta rombohedral dönüşür ve her türlü saf bor ergime noktasının üzerinde ısıtılıp tekrar kristalleştirildiğinde beta rombohedral forma dönüşür.

Bor, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Bor tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Yaygın olarak bulunan bor minerallerinden bir tanesi bir tür aluminoborosilikat minerali olan ve yapısında %10'a kadar bor içerebilen Turmalin'dir. Ancak, sanayide alkali ve toprak alkali bor mineralleri olan Tinkal ($Na_4B_4O_{10} \cdot 10H_2O$), kernit ($Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$) ve üleksit ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$) kullanılmaktadır. Ticari maden yatakları sınırlı olup en çok Türkiye ve ABD'de bulunmaktadır.

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur (Anonim 2007).

2.2.4.1. Atomik yapısı

Bor mineralinin atomik yapısı çizelge 2.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.4.Bor mineralinin atomik yapısı

Atomik Çapı	1.17 Å
Atomik Hacmi	4.6cm ³ /mol Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu	1s ² 2s ² p ¹
İyonik Çapı	0.23Å
Elektron Sayısı (yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans Elektronları	2s ² p ¹

Kimyasal özellikler

Bor mineralinin kimyasal özellikleri Çizelge 2.5'de belirtilmektedir.

Çizelge 2.5. Bor mineralinin kimyasal özellikleri

Elektrokimyasal Eşdeğer	0.1344g/amp-hr
Elektronegativite (Pauling)	2.04
Füzyon Isısı	50.2kJ/mol
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190
İyonizasyon potansiyeli:	
Birinci	8.298
İkinci	25.154
Üçüncü	37.93

Fiziksel özellikler

Bor mineraline ait fiziksel özellikler Çizelge 2.6'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.6. Bor mineralinin fiziksel özellikleri

Atomik Kütle	10.811
Kaynama Noktası	4275K -4002°C -7236°F
Termal Genleşme Katsayısı	0°C
Elektriksel Kondüktivite	$1.0E^{-12} 10^6/cm$
Termal Kondüktivite	0.274 W/cmK
Yoğunluk	2.34g/cc @ 300K
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal

Çizelge 2.6. Bor mineralinin fiziksel özellikleri (Devamı)

Elastik Modülü	Bulk: 320/GPa
Atomizasyon Entalpisi	573.2 kJ/mole @ 25°C
Füzyon Entalpisi	22.18 kJ/mole
Buharlaştırma Entalpisi	480 kJ/mole
Sertlik	Mohs: 9.3
Buharlaştırma Isısı	489.7kJ/mol
Ergime Noktası	- 2300°C
Molar Hacmi	4.68 cm ³ /mole
Fiziksel Durumu	(20°C & 1atm): Katı
Spesifik Isısı	1.02J/gK
Buhar Basıncı	0.348Pa@2300°C

2.2.5. Bor madeni rezervleri

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0.5-9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.01-1.5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır. (Anonim 2003)

2.2.5.1. Dünya'daki bor madeni rezervlerinin oluşumu

Dünyadaki bor mineral rezervleri oluşumu başlıca üç kuşaktır:

Birincisi, Amerika Bileşik Devletleri'nin Güneybatı bölgesinde, Mojave Çölü bölgesindedir. Bu bölge şu anda dünyanın en büyük üreticilerinden biri olan US Borax'ın işlettiği rezervlerin bulunduğu bölgedir.

İkincisi, Türkiye'nin de yer aldığı Güney Orta Asya Alp kuşağı denilen bölgedir. Bu kuşaktaki bor rezervleri Çin'den başlayıp Kazakistan, Kuzeydoğu Rusya, Türkiye özellikle iç Ege ve Marmara Bölgesinde değişik tuzlar halinde dünyanın en büyük bor rezervleri bulunmakta, eski Yugoslavya ve Sırbistan'dadır. Burada bu bölgeden sonra bor rezervleri bitmektedir.

Üçüncüsü ise Güney Amerika And kuşağı rezervidir.

Dünyada en büyük bor rezervleri Türkiye'de Emet, Kırka, Bigadiç bölgeleri ile ABD'de Kaliforniya'da bulunmaktadır.

2.2.5.2. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı

Çizelge 2.7. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı

Ülke	Toplam Rezerv* (Bin ton B ₂ O ₃)
Türkiye	885.000
A.B.D.	80.000
Rusya	35.000
Çin	47.000
Arjantin	9.000
Bolivya	19.000
Şili	41.000
Peru	22.000
Kazakistan	102.000
İran	1.000
Toplam	1.241.000

*ROSKILL 2010 verilerine göre hazırlanmıştır.

Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı Çizelge 2.7’de verilmektedir.

2.2.5.3. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı

Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı Çizelge 2.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.8. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı

Maden Sahası	Toplam Rezerv (Bin Ton)
Bigadiç, Balıkesir (Kolemanit, Üleksit)	623.459
Emet, Kütahya (Kolemanit)	1.682.562
Kestelek, Bursa (Kolemanit)	6.995
Kırka, Eskişehir (Tinkal)	750.620

2.2.6. Bor üretimi

2.2.6.1. Dünya bor üretimi

Dünyada bor üretimi yapan en önemli ülkeler Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Çin, Şili, Bolivya ve Peru’dur. Dünya bor üretimi 2008 yılı sonunda 1,91 milyon ton B₂O₃ civarında gerçekleşmiştir. Bunun % 42’si Türkiye’de, % 35’i ABD’de, geriye kalanı ise diğer ülkelerde üretilmiştir. 2008 yılı bor üretiminin bölgesel dağılımı Çizelge 1.6’da verilmektedir.

Çizelge 2.9.2008 yılı dünya bor üretiminin bölgesel dağılımı

BÖLGELER	ÜRETİMDEKİ PAY (%)
Avrupa (Türkiye)	42
Kuzey Amerika (ABD)	35
Güney Amerika (Şili, Arjantin, Peru ve Bolivya)	11
Asya (Rusya ve Çin)	12

2.2.6.2. Türkiye bor üretimi

Ülkemizdeki bor cevherleri konsantre (kolemanit, üleksit, tinkal) ve rafine (borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat) bor ürünlerine dönüştürülerek iç ve dış pazarlara satılmaktadır. Konsantre bor üretimi Emet, Kestelek ve Bigadiç'te yapılırken, rafine ürünler Kırka, Bandırma ve Emet'te yapılmaktadır. Konsantre bor ürünlerinde en fazla üretim kolemanitte olurken, rafine ürünlerde en fazla üretim boraks pentahidrat ve borik asitte olmaktadır. 1998 yılından itibaren öğütülmüş kolemanit, 2006 yılından itibaren bor oksit, 2008 yılından itibaren ise kalsine tinkal üretimine başlanmıştır. Eti-DOT ve çinko borat üretimi için çalışmalar sürdürülmektedir. BOREN tarafından geliştirilen tarımbor-ahşapbor ve çinko borat üretimi ise özel sektör tarafından yapılmaktadır. Eti Maden tarafından üretilen ürünlerin dağılımı çizelge 2.10'de, Rafine Ürünlerin dağılımı Çizelge 2.11'de, İhraç edilen bor ürünlerinin dağılımı ise Çizelge 2.12'da verilmektedir. Eti Maden tarafından yapılan toplam ve yurt içi satışların sektörel dağılımı Şekil 2.12 ve Şekil2.13'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.10. Eti maden tarafından üretilen ürünlerin dağılımı

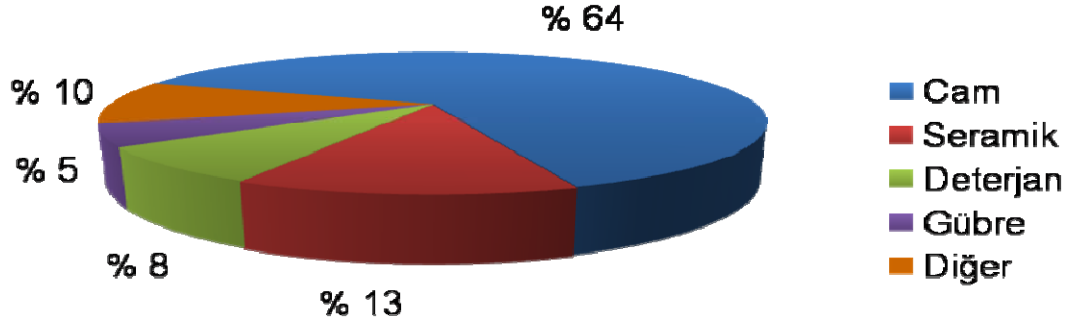
Ürünler	2008 (Ton)
Tabii Boratlar	-
Konsantre Boratlar	2.285.000
Rafine Boratlar	1.312.000
Toplam Bor	3.519.000

Çizelge 2.11.Eti maden işletmeleri tarafından üretilen rafine ürünler

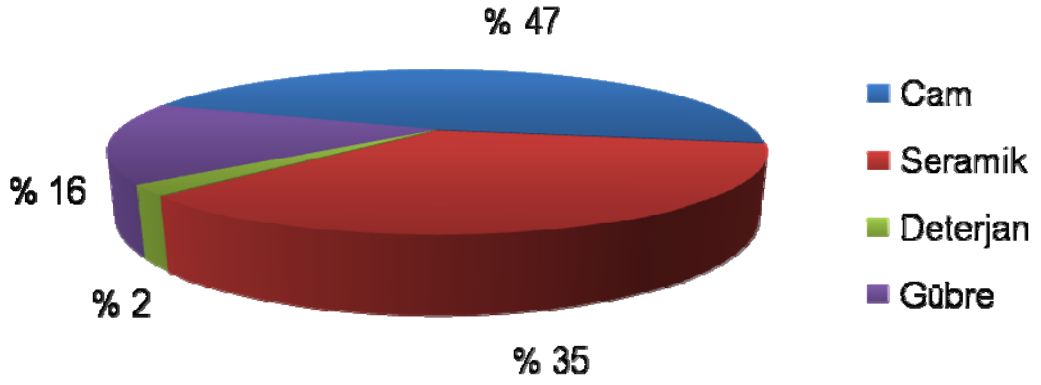
Ürün	Kapasite (Ton/Yıl)
Boraks Dekahidrat ve Pentahidrat	200.000 - 250.000
Borik Asit	85.000
Sodyum Perborat	34.000
Bor Oksit	2.000
Borik Asit	120.000
Boraks Pentahidrat	600.000
Kalsine Tinkal	5.000

Çizelge 2.12. Eti maden işletmeleri tarafından ihraç edilen bor ürünleri

Ürün	2008 (Ton)
Tabii Sodyum Boratlar	22.000
Diğer Tabii Boratlar	456.632
Borik Asit	176.753
Sulu Disodyum Tetraborat	551.966
Susuz Disodyum Tetraborat	15.510
TOPLAM	1.222.861



Şekil.2.12. Bor ürünlerinin toplam satışlarının sektörel (%) dağılımı



Şekil.2.13. Bor rnlerinin yurt içi satışlarının sektörel (%) dağılımları

2.2.7. Bor madeninin kullanım alanları

Ülkemiz açısından büyük stratejik öneme sahip bir doğal kaynak olan bor minerallerinin, hammadde, yan mamul ve mamul madde olarak, cam, porselen, seramik, tekstil, deterjan, ağartma, tarım, refrakter, metalürji, yanmayı geciktirici malzeme, nükleer yakıt teknolojisi gibi çok farklı sektörlerde 250 çeşit bor ürünleri sanayiinin pek çok alanında kullanılmaktadır.izelge 1.10'da bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları verilmektedir.

Çizelge 2.13. Bazı zel bor kimyasalları için kullanım alanları

rn	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Prioteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık için Kompozitler, Spor malzemeleri için Kompozitler

Çizelge 2.13. Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları (Devamı)

Bor Halidleri (tuzları)	İlaç Sanayi, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikleri
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil “Finishing” Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zirai İlaçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri

Borun endüstrilerdeki kullanım alanları aşağıda belirtilmiş ve her biri hakkında kısa bilgiler verilmiştir (Serpek, 2003).

Borun endüstrideki kullanım alanları:

- Cam Sanayi
- Seramik Sanayi
- Temizleme ve Beyazlatma Sanayi
- Alev Geciktiriciler
- Tarım
- Metalürji
- Nükleer Uygulamalar
- Bor Fiberleri
- Uzay ve Havacılık
- Enerji
- Sağlık
- Çimento

2.2.7.1. Cam sanayi

Bor minerallerinin en fazla tüketildiği alan cam sektörüdür. Bor, ergimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun akışkanlığını artırmakta, son ürünün yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmektedir. Bor oksit özellikle; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Düz cam ve cam kaplarda ise bor kullanım oranı düşüktür.

Borlu camların kullanıldığı bazı uygulama alanları sıvı kristal göstergelerinde, özel fırın kaplarında, laboratuvar malzemelerinde, arabaların far ve sinyal camlarında, cam yününde, tekstil tipi cam elyafında ve bazı bor içeren özel camların spesifik uygulama alanlarında (LCD (Liquid Crystal Display) ekranlar ve CRT camı (renkli tv katot tüpleri)) kullanılmaktadır. Bazı özel borlu camlar, optik ve elektrik özelliklerinden dolayı uzay sanayinde, elektronik endüstrisinde ve nükleer reaktörlerde kullanılmaktadır.

2.2.7.2. Seramik sanayi

Bor, seramik sanayinde çoğunlukla sır ve fritlerde kullanılmaktadır. Seramik sırlarında kullanılan bor oksit oranı ağırlıkça %8-24 arasında değişir. Sırlarda bor oksitin temel fonksiyonu, esas itibarıyla cam ve malzeme arasında ısıl açıdan uyum sağlamak ve sırrın ısıl genişleme kat sayısını düzenlemektir. Sırlara, bor ilavesinin diğer bir sebebi, ergimenin ilk aşamalarında cam oluşumunu sağlamaktır. Boratlar, aynı zamanda sırçaların refrakter endeksini artırarak görünümünü de iyileştirmektedir. Sır'a bor eklenmesi mekanik gücü ve çizilme direncini artırır. Bor ayrıca, kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci artırır. Diğer taraftan borlar renklendiricilerin katılımına taban oluştururlar.

Emayelerin akışkanlığını ve doymuşma ısısını azaltan bor oksit %20'ye kadar kullanılabilir. Özellikle emayeye katılan hammaddelerin %17-32'si bor oksit olup, sulu boraks tercih edilir. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor, %3-24 oranlarında kolemanit halinde sırlara katılır.

2.2.7.3. Temizleme ve beyazlatma sanayi

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü (jermisit) ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle %10 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkisini artırmak için toz deterjanlara %10-20 oranında sodyum perborat (mono veya tetra olarak) katılmaktadır. Sodyum perborat ($\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır.

2.2.7.4. Alev geciktiriciler

Boratlar, çeşitli malzemelerde (ahşap, selülozik yalıtım, PVC ve tekstil) alev geciktirici amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Bor, yanan malzemenin üzerine oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırır. Çinko borat, plastik malzemelerde; borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi çözünebilir boratlar ise selülozik malzemelerde kullanılmaktadır. Bu malzemeler; tahta, kontrplak, ağaç fiber, kağıt ve pamuk gibi doğal fiberlerdir.

Selülozik yalıtımda, boraks pentahidrat ve borik asit kullanılmaktadır. Bu ürünler, enerji verimliliğini artırmak, mantar ve diğer mikroorganizmaların gelişimini önlemek ve alev almaya karşı malzemenin direncini yükseltmek amacıyla kullanılmaktadır.

PVC’de yanmayı önleyici olarak kullanılan bor bileşiklerinin başında çinko borat, baryum metaborat, bor fosfatlar ve amonyum fluoborat gelir. PVC yanarken HCl açığa çıkmaktadır. PVC'ye alev geciktirici olarak çinko borat katıldığı zaman, bu gaz uçucu olmayan çinko ve bor bileşikleriyle reaksiyona girerek zararlı gazların açığa çıkmasını engellemektedir.

Boraks ve borik asit, tekstil alanında faydalı alev geciktiriciler olmakla birlikte, suda çözünme özellikleri nedeniyle üründen yıkanarak atılma sorunu ile karşılaşılabilir.

Ahşabın mantar ve böceklerden uzun süreli korunabilmesinde, disodyum oktaborat tetrahidrat başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bu malzeme, özel bir önlem alınmadan, spreyle, boyama veya basınç yoluyla keresteye çok kolay uygulanabilir.

2.2.7.5. Tarım

Bitki gelişiminde önemli bir yeri olan bor elementinin mutlak gerekliliği yaklaşık 82 yıl önce belirlenmesine rağmen bitki bünyesindeki fonksiyonları halen tam olarak anlaşılamamıştır.

Bor, hücredeki şeker geçişini, hücre bölünmesi ve gelişimi, fotosentez metabolizmasını düzenler. Gereken miktarlarda bor olmadan da bitkiler büyüebilir ve yaprak açabilir ancak meyve veya tohum üretiminde kayıplar söz konusu olacaktır.

2.2.7.6. Metalurji

Bor bileşikleri, yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturma özellikleri nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Flakslama uygulamalarında bor, bakır alaşımlarının ergitilmesinde ve altın analizlerinde ve rafinasyonunda, çeliğin lehim kaynağı yapılması sırasında ve gaz lehimlemede kullanılmaktadır.

Bor ilavesi çeliğin sertlik ve mukavemetini artırmaktadır. Çelikler 50 ppm düzeyine kadar bor ihtiva edebilirler. Borlu çeliklerin sertleşebilme kabiliyetleri daha yüksektir. Bor, paslanmaz çeliklere de ilave edilmektedir.

Ferrobör; çelik, dökme demir, sürekli mıknatıslar ve amorf metallerin üretiminde kullanılır. Dünya ferrobör üretiminin % 50'den fazlası çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Üretimin % 10'luk bir bölümü ise Nd-Fe-B sürekli mıknatıslarının üretiminde kullanılmaktadır.

Bor bileşiklerinin kullanıldığı diğer bir uygulama ise borlamadır. Borlama ile çelik yüzeylerinin sertliği artırılmaktadır. Borlanmış çelikler, yüksek derecede korozyona ve aşınma direncine sahip olup özellikle hidrolik aletlerin ve bazı petrol-kuyusu delme matkaplarının yüzeylerinin cilalanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, borlama işleminden geçirilmiş malzemeler, otomotiv endüstrisinde sürtünme katsayısını azaltmak ve hareketli aksamaları korumak için de kullanılmaktadır.

Bor nitrür yüzey kaplamada sürtünme katsayısını düşürücü etkisi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama işlemi, yüksek vakum ve uygun sıcaklık altında h-BN'ün buharlaştırılarak c-BN film elde edilmesiyle gerçekleşmektedir.

Bor kimyasalları ayrıca elektro kaplama uygulamalarında temizleyici ve tampon olarak kullanılmaktadır. Borik asit ve flouboratlar, yatakların gözenegini ve çukurunu azaltmak için çok az miktarda kullanılırken, flouborik asit, kalay-

kaplama tellerinin temizlenmesi (pickling) işleminde %10 düzeyinde kullanılmaktadır.

2.2.7.7. Nükleer uygulamalar

Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titan bor alaşımları kullanılır. Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yaklaşık her bir bor atomu bir nötron absorbe etmektedir. Bu nedenle, atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor (^{10}B) kullanılmaktadır.

Ayrıca, nükleer atıkların depolanması için bor cevheri olan kolemanit kullanılmaktadır.

2.2.7.8. Bor fiberleri

Bor fiberleri, spor aletlerinden (balıkçılık, golf, kayak, bisikletler) uzay ve hava araçlarına kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar. Bor fiber kompozitleri, bor fiberleri ile güçlendirilmiş polimer reçinelerden oluşmaktadır. Bor fiber kompozitleri, hava ve uzay araçlarının üretiminde kullanılan ilk ileri kompozit malzemedir. Bor fiberlerinin yüksek maliyetleri kullanım alanlarını sınırlamaktadır.

2.2.7.9. Uzay ve havacılık

Uçak ve havacılık endüstrisinde bor kullanımı giderek artan bir seyir izlemektedir. Aerodinamikteki gelişmeler, yüksek hız kanat uygulamaları, yüksek ısıya dayanımlı gövde, düşük ağırlık yüksek kapasite ve benzeri uygulamalar üzerinde yürütülen tasarım ve geliştirme çalışmaları havacılık ve uzay sanayinde kompozit malzeme kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır.

Borun yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olması, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması ulaşım araçlarında bir avantaj olarak kabul edilmektedir.

Bor kimyasalları füze yakıtı olarak kullanılabilmekte olup hidrojen diboran (B_2H_6) ve hidrojen pentaboran (B_5H_9) gibi borhidrürlerin uçaklarda yüksek performanslı potansiyel yakıt olarak kullanımı konusunda çalışmalar mevcuttur.

2.2.7.10. Enerji

Ticari olarak üretilip kullanılan bor hidrürlerin en önemlisi olan ve iyi bir hidrojen taşıyıcısı ve depolayıcısı olarak bilinen sodyum borhidrür, hali hazırda kâğıt hamurunun ağartılmasında, tekstil atıklarının indirgenmesinde, atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması gibi pek çok alanda da kullanılmaktadır.

Sodyum bor hidrür, yanıcı/patlayıcı olmaması, çevreye dost bir ürün olması, reaksiyonu sonucu oluşan sodyum metaboratın tekrar sodyum bor hidrüre dönüştürülebilmesi, elde edilen hidrojenin yarısının sodyum borhidrürden diğer yarısının ise sudan gelmesi, araçlarda yük ve yolcu taşıma yeri açısından problem yaratmaması gibi bazı özelliklerinden dolayı hidrojenin depolanması konusunda diğer yöntemlere göre avantajlı durumdadır. Sodyum borhidrür, gelecek yıllarda hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının yaygınlaşması ile birlikte enerji alanında önemli bir ürün haline gelecektir. Hidrojeni depolama özelliğinin yanı sıra, yakıt pillerinde doğrudan yakıt olarak da kullanılabilir. Dünyanın değişik araştırma merkezlerinde yapılan çalışmalara paralel olarak BOREN koordinasyonunda doğrudan ve dolaylı kullanıma dönük çalışmalar yürütülmektedir.

2.2.7.11. Sağlık

Bor, insan vücudu tarafından az miktarlarda ihtiyaç duyulan, hücrelerde sentezlenemediği için besinlerle dışarıdan alınması gereken önemli bir besleyicidir. 1981 yılına kadar borun insanlar üzerinde bir etkisinin olmadığı düşünülmekteydi. Bu yıldan sonra yapılan çalışmalarla borun, birçok tedavi için vazgeçilmez bir element olduğu ve insan gelişiminde düşünülenin tam aksine etkin olduğu belirlendi. Metabolizmadaki bor, kalsiyum, magnezyum ve fosfor dengesini ayarlamakta olup sağlıklı kemiklerin oluşumuna, kasların ve beyin fonksiyonlarının gelişimine yardım eder.

Osteoporoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, kemik gelişiminde ve artiritte, menopoz tedavisinde bor aktif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kesinleşmiş bir tedavi olmamakla birlikte Bor Nötron Yakalama Tedavisi (BNCT) ile sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanserli hücrelerin imha edilmesinde görev alan bor elementi, kanser tedavisinde yeni bir umut olmuştur.

Besinlerin yanı sıra kullandığımız deterjan ve kozmetik ürünler ile de bor, günlük yaşantımızda iç içe olduğumuz bir elementtir. Farklı formüllerde (sodyum perborat vs.) deterjan sanayinde kullanılan bor, ev temizliğinde, kişisel bakım ürünlerinde ve endüstriyel alanda ağartıcı ve bakterilere karşı koruyucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Kozmetik sektöründe ürüne kazandırdığı yumuşaklık, yapışkanlık ve dayanıklılık özellikleri sebebi ile tercih edilen bir elementtir.

2.2.7.12. Çimento

Bir bor minerali olan kolemanit, %8 oranında çimento üretiminde kullanılarak klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun özelliklerini iyileştirmektedir. Borlu çimento; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısısı gibi parametreler açısından portland çimentosuna göre daha iyi özellikler sergilemektedir. Hidrasyon ısısının düşük olması özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır.

Çimento üretiminde kolemanit kullanımı ayrıca, atmosfere salınan karbon dioksit miktarını % 25-30 oranında düşürmektedir. Borlu çimento üretimi, Kyoto protokolünün getirdiği sorumluluklar çerçevesinde sektör için can simidi olabilecek potansiyeli taşımaktadır.

2.3. Bor Karbür

2.3.1. Bor karbür nedir?

Yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, kimyasal maddelere karşı üstün direnç, üstün mekanik özellikleri nedeniyle bor karbür, günümüzde ileri teknolojinin önemli bir malzemesidir. Bor karbür özellikle, nükleer reaktörlerde, hafif zırh üretiminde ve yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır (Geçkinli, 1992).

Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir. Asit ve bazlarla kolaylıkla reaksiyona girmez (Emrulloğlu,1999). Bilinen diğer birçok karbür ve nitrürlerin erimeden buharlaşma yoluyla bozulma eğilimi gösterirken bor karbür; 2450 °C ' de eriyerek sıvı faz oluşumu gösteren nadir bileşiklerden birisidir (Kuşoğlu, 2004).

2.3.2 Bor karbürün fiziksel ve kimyasal özellikleri

2.3.2.1 Sertlik

Literatürde bor karbür bileşikleri için belirtilen sertlik değerleri 20 GPa'dan 78 GPa'a kadar değişiklik göstermekle birlikte B₄C bileşimi için genel kabul görmüş Vickers sertliği 32 GPa civarındadır (Emrulloğlu, 1999). Karşılaştırma yapılabilmesi için nitrürlenmiş çeliğin sertliği yaklaşık 21 GPa'dır.

Bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden sonra gelen en sert malzemedir. Karbon miktarının sertliğe olan etkileri konusunda birbirinden farklı sonuçlar ileri sürülmektedir. Yüksek sıcaklık sertlik ölçümlerinde 1300 °C'ye kadar olan sıcaklıklar için sertlikte bir azalma gözlenmemiştir. Basıncsız şartlar altında sinterlenmiş numunelerde 200 gr yükü yapılan sertlik ölçümleri ortalama 25,5 GPa sertliğe sahipken sıcak presleme ile üretilmiş numunelerde ortalama 29 GPa sertlik değeri elde edilmiştir (Alaca, 1999).

2.3.2.2 Aşınma direnci

Yüksek sertliğinden dolayı B_4C 'ün aşınma direnci de oldukça yüksektir. Bir fikir vermesi açısından diğer sert malzemelerle aşınma direnci mukayese edildiğinde elmas 0,613 ile relatif skalanın en üstünde yer alırken B_4C 0,422 ve SiC 0,314 ile aynı skalada yer alır (Alaca,1999).

2.3.2.3 Yoğunluk

Bilinen bazı bor karbür stokiometrik ara bileşikleri için hesaplama yapıldığında B_4C için 2,52 gr/cm , $B_{13}C_2$ için 2,488 gr/cm , B 10,5c için ise 2,465 gr/cm yoğunluk değerleri elde edilir (Emrullahoğlu, 1999). Yapıdaki bor miktarının artması ile yoğunlukta da bir azalma görülmesi elementel bor atom ağırlığının karbona göre daha küçük olmasından dolayı beklenen bir sonuç olması gerekir. Bilinen bir stokiometrik yapı için ölçülen yoğunlukların teorik değerlerden fazla olması yapıda empürite olarak demir, Alüminyum gibi daha ağır metallerin bulunduğunu göstermektedir (Alaca, 1999).

2.3.2.4 Elektriksel direnç

Elektriksel direnci, grafit ve SiC'e benzer değişimler göstermektedir. Oda sıcaklığında silisyum karbür için spesifik elektrik direnci 0,2-10 ohmxcm aralığında değişirken, bor karbür için 0,1-10 ohmxcm'dır. Oda sıcaklığında 10 ohmxcm elektriksel direnç gösteren saf bor karbürün direnci 1600 0 C civarında 0,2 ohmxcm değerine kadar bir düşüş gösterir. Bor karbür-silisyum karbür ile mukayese edildiğinde daha yüksek akım geçirebilme özelliğine de sahiptir. Yoğunluk ve diğer özelliklere benzer şekilde elektriksel iletkenlikte bor/karbon oranına bağlı olarak değişiklik gösterir (Alaca, 1999).

2.3.2.5 Mekanik özellikler

Yüksek sertliği ve ergime noktasının yanı sıra bor karbürün mekanik özellikleri de oldukça önemlidir. Özellikle mukavemet/yoğunluk oranı göz önüne alındığında bor karbür ideal bir malzemedir. Kristal yapıdaki atomların kuvvetli kovalent bağlarla

birbirine bağılı olması yüksek mukavemetin bir göstergesidir. Ölçülen mukavemet değerleri sıcak presleme sıcaklığı ile mikroyapı stokiometrisine bağılıdır. Karışıma yapılan az miktardaki bor ilavesi mikroyapıdaki serbest karbonu elimine ederek mukavemette artışa sebep olur. Sıcak preslenmiş numuneler 300-500 MPa arasında eğme mukavemeti gösterirken, sinterleme sonrası HIP işlemine maruz bırakılmış numunelerde ise bu değerler 150-350 MPa aralığına karşılık gelmektedir. Bu değerlerin sadece basınçsız sinterleme işlemine tabii tutulmuş numunelerinkilerden daha fazla olması doğaldır.

Yüksek sıcaklıklarda sertliğin düşmesine paralel olarak mukavemette de azot gazı altında 1500°C'ye kadar herhangi bir azalma gözlenmez. Öte yandan havada 600-1000°C arasında yapılan eğme deneyleri B₄C'nin oksitlenmesine bağılı olarak mukavemetinin azalmasına yol açmaktadır. Yapıya Si ve Al katkıları yapılması oksitlenmenin önüne geçerek havadaki yüksek sıcaklık mukavemet değerinin iyileştirilmesine yardımcı olur (Alaca,1999).

Çizelge2.14'de sıcak preslenmiş ve sinterlenmiş B₄C malzemesinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Parantez içerisinde belirtilen değerler +/- olarak ölçümlerde görülen değişimleri göstermektedir.

Çizelge 2.14. Sıcak preslenmiş ve sinterlenmiş B₄C'nin özellikleri

Özellik	Sıcak preslenmiş	Sinterlenmiş	
		% 1 °C	% 3 °C
Karbon (%)	21,7	22,5	24,8
Gözeneklilik (%)	0,5	2	2
Yoğunluk (g/cm ³)	2,51	2,44	2,46
Ortalama tane boyutu(μm)	5	8	7
4-nokta emme mukavemeti(mPa)	480(40)	351 (40)	353 (30)
Young modülü(GPa)	441	390	372
Kayma modülü(GPa)	188	166	158
Poisson oranı	0,17	0,17	0,17
Kırılma tokluğu(MPa m ^{1/2})	3,6 (0,3)	3,3 (0,2)	3,2 (0,2)

2.3.2.6 Kimyasal Özellikler

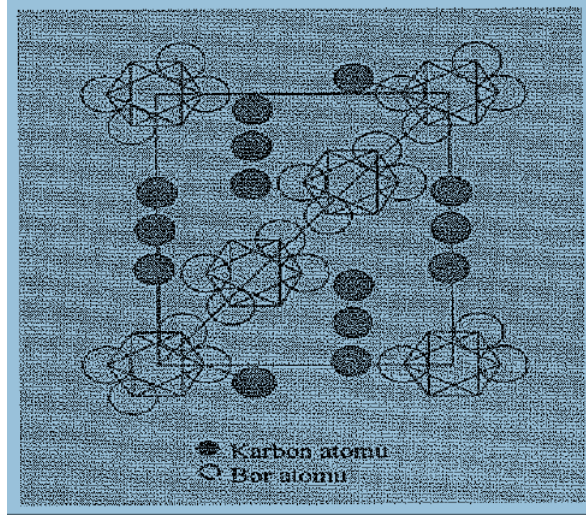
Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir. Standart oluşum entalpisi 9,3 ile 17,1 kcal/mol arasındadır. Asit ve bazlarla kolaylıkla reaksiyona girmez. Fakat HF - H₂SO₄ ve HF- HNO₃ karışımlarında çok uzun sürelerde yavaşça çözünüm gösterir. Sıcak ortamda HNO₃ - H₂SO₄ - HClO₄ gibi asitlerle oksitlenebilir. Ufak boyutlu bor karbür tozları rutubetli havada veya oksijen ile yavaşça oksitlenebilir ve partikül yüzeyinde zamana bağlı olarak B₂O₃, HBO₃ veya H₃BO₃ filmi oluşur.

1000°C ' den başlayarak B₄C; demir, titanyum, zirkonyum, nikel, alüminyum ve silisyum gibi metallerle reaksiyona girerek borür ve karbürlerin oluşmasına neden olur.

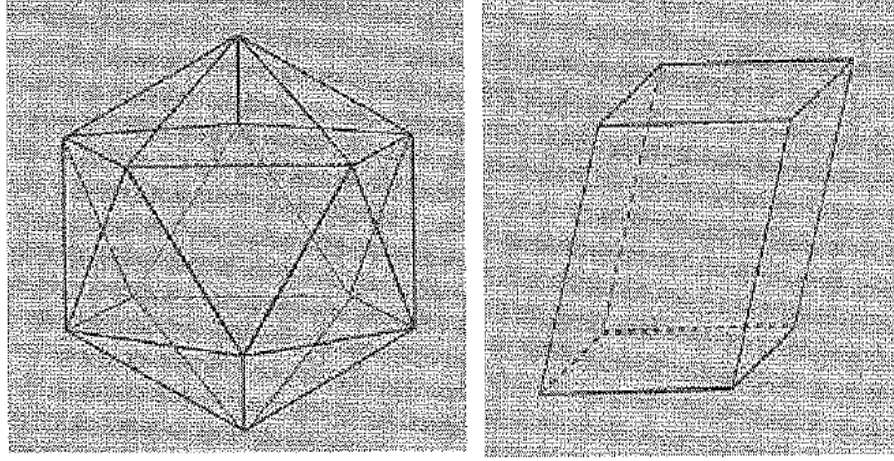
2.3.3. Bor karbürün yapısı

Bor karbür yapısının görünümü Şekil 2.14’de verilmiştir. Karbon atomu, üç atom zincirinde ve icosahedralin bir parçası olarak yer almıştır. Tetragonal (sp) hibritleşmelerinden dolayı, merkez atomu bor olan zincirin diğer iki ucunu doldururlar (CBC zinciri). Bazı istisnai durumlarda iyonlaşmış karbon atomları merkezde yer alabilmektedir. Bağ yapma kıstaslarına göre en fazla iki atom, icosahedraie katılabilir. Bor icosahedralinin, termodinamik açıdan kararlı kapalı kabuk (closed-shell) yapışım oluşturmak için iki elektrona ihtiyacı vardır. Bu elektronlar karbon atomları tarafından sağlanmaktadır (Kuşoğlu, 2004).

Bor karbürün yapısı icosahedraldir. 12 atomlu kafes yapısını oluşturan bir polihedranın 20 yüzü, 12 eş dikmesi ve 12h simetrisi vardır. Şekil 2.15’de görülen bir rombohedral konfigürasyonunu birleştirmektedir. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi bor karbür için bu icosahedrallerin merkezleri, rombohedralin her bir köşesine yerleşmiştir.



Şekil 2.14. Bor karbür yapısının şematik gösterimi



Şekil 2.15. İcosahedral ve rombohedral yapılar

Bor karbür için kabul edilen en yaygın model $B_{13}C$ icosahedrali ile C-B-C intericosahedral üniteleri arasındaki zincirdir. Bu nedenle bor atomlarının farklı yerleşmeleri yapı açısından farklı iki fazın oluşumunu mümkün kılar. Bunlar $B_{13}C_2$ veya $B_{12}(CBC)$ ile B_nCs 'dür. Bir icosahedraldeki bor atomunun, karbon atomuyla yer değiştirmesi $B_nC(CBC)$ yapışım oluşturur. $B_{13}C_2$ ile karşılaştırıldığında, $B_{13}C_2$ ısı kararlılık açısından daha iyi olup, sistemin tek normal ergiyen fazıdır. Bu fazların oluşum sıcaklığı ile ilgili yapılan çalışmalar $B_nC(CBC)$ fazının $800\text{ }^\circ\text{C}$ altında oluşmadığını, $2500\text{ }^\circ\text{C}$ üzerinde oluşma olasılığını ortaya çıkarmıştır. Yapı içerisinde bulunabilecek aşın borun, HNO_3 ve başka kimyasallarla uzaklaştırılmaması B_4C ile B arasında bir çözünürlük olduğunu ortaya çıkarmıştır

Çizelge 2.16 de bor karbürün özellikleri özetlenmiştir (Pierson, 1996).

Çizelge 2.15. Bor karbürün genel özellikleri

Özellikler	Değerler
Molekül Ağırlığı (gr/mol).....	55,26
Renk.....	Siyah (saf kristali transparant ve renksiz)
X-ray Yoğunluğu (gr/cm ³).....	2.52
Kaynama Noktası.....	Yaklaşık 2400 °C (parçalanmaz)
Spesifik Isı (J/molK).....	50,88
Oluşum Isısı (-ΔH)(kJ/molK,298).	57,8
Termal İletkenlik (W/m.K).....	30
Termal Genleşme (10 ⁻⁶ /°C).....	4,3
Elektriksel Direnç (Ω.cm).....	0,1-10
Seebeck Katsayısı (pV/K).....	200-300
Vickers Sertliği (GPa).....	27,4-34,3
Elastisite Modülü (GPa).....	290-450
Kayma Modülü (GPa).....	165-200
Bulk Modülü (GPa).....	190-250
Poisson Oranı	0.18
Esneğe Dayanımı (Mpa).....	323-430
Basma Dayanımı (Mpa).....	2750
Oksitlenme Direnci.....	Havada 600 °C'ye kadar oksitlenme direnci. Oluşan B ₂ O ₃ filmi oksitlenmeyi azaltır.
Kimyasal Direnç.....	Mükemmeldir, sıcaklıkta halojenlerle reaksiyona girer.

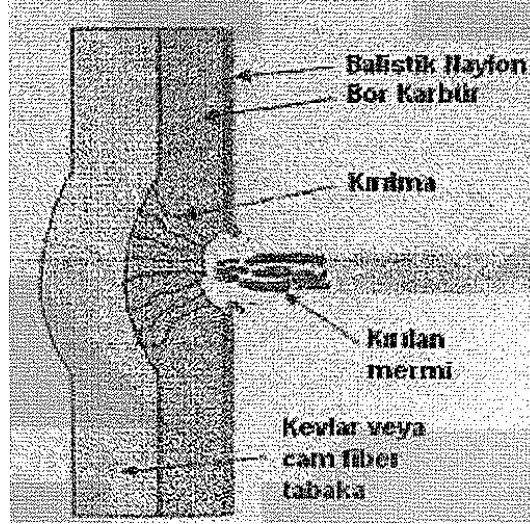
2.3.4 Kullanım alanları

Aşınmaya dayanıklı malzeme olarak: Bor karbür, fiziksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bor karbürün sertliği çok yüksek olduğu için aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Bor karbürün diğer bir önemli kullanım alanı, aşınmaya dayanıklı makine parçalarının üretimidir. Örneğin; kumlama ve su-jeti ile kesmede kullanılan nozullar (Geçkinli, 1992).

Zırh yapımında: Bor karbür yüksek sertlik, mukavemet ve düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bor karbür esaslı bir zırh sisteminin geleneksel sistemlere oranla % 20 hafif olması günümüz tank ve helikopterlerinde daha kolay hareket ve manevra yeteneği demektir (Pierson, 1996).

Al alaşımlarının basınçsız olarak gözenekli B₄C altlıklara Ar ortamında emdirilmesi ile yoğun (> % 98) B₄C-Al kompozitleri üretilmiştir. Oluşan fazların türü ve miktarı

proses koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Başlangıç tozların pasive edilmesi veya silika (SiO_2) ile kaplanması sonucu B_4C -Al tepkime hızı önemli oranlarda yavaşlamaktadır. Üretilen malzemenin uygun bir zırh malzemesi olacağını söylemek mümkündür. Şekil 2.16'da tipik bir darbe durumu gösterilmiştir. Darbe anında, seramik plaka mermi çekirdeğini kırarak, kinetik enerjinin önemli bir kısmını absorbe etmektedir. Arka malzeme ise geri kalan enerjiyi absorblar (Pierson, 1996).



Şekil 2.16. Zırhın darbe durumundaki şematik gösterimi

Nükleer Reaktörlerde: Bor karbürün en yaygın kullanım alanlarından biriside nükleer enerji santrallerinde radyasyondan korunma amaçlı ve yakıt yükleme çubuğu olarak kullanımıdır. Günümüz nükleer santrallerinin % 95'inde kontrol çubuğu olarak Ag-In-Cd alaşımı ve bor karbürden mamul malzemeler kullanılmaktadır. Bor karbürün nötron absorblama yeteneği yapısındaki bor izotopundan kaynaklanmaktadır. Nükleer amaca yönelik olarak kullanılan bor karbürün yüksek miktarda bor içermesi gereklidir. Bu sınırlar içerisinde düşen bor karbür tozları tane boyutuna göre klasifikasyona sokulur ve - 16 + 20 mesh, - 60 + 80 mesh ve -200 +325 mesh gruplarına ayrıldıktan sonra her bir gruptan sırasıyla % 40- % 20 - % 40 oranında karıştırılarak toz yoğunluğu 1,6 gr/cm olacak şekilde hazırlanır. Bu karışım kontrol çubuğu üretimine uygun bir boyut dağılımı verir (Alaca, 1999).

Refrakter malzeme olarak: Magnezya - karbon refrakterlerinde antioksidant katkısı olarak kullanılmaktadır

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Ekranlama malzemesi seçimi

Günümüzde klasik ekranlama için kullanılmakta olan birçok malzemenin dielektrik sabiti, manyetik geçirgenlik, bağıl iletkenlik değerleri gibi özellikleri yapılan çalışmalar sonucunda hesaplanmıştır. Bu malzemelerden bazılarının ait hesaplanmış değerler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. (Karakaş, 2012)

Çizelge 3.1. Bazı ekranlama malzemelerinin bağıl iletkenlik ve bağıl permeabilitesi
(Karakaş, 2012)

Malzeme	σ_r	μ_r
Gümüş	1,05	1
Bakır	1	1
Altın	0,7	1
Alüminyum	0,61	1
Pirinç	0,26	1
Bronz	0,18	1
Teneke	0,15	1
Kurşun	0,08	1
Nikel	0,2	100
Paslanmaz Çelik (430)	0,02	500
Çelik (SAE 1045)	0,1	1000

Çizelge 3.1’de verilen malzemeler kullanım alanı olarak; daha çok sürekli veya süreksiz yapılar, ekranlama petekleri gibi ekran sistemlerinde yer bulmaktadırlar. Yapılacak olan çalışmada ise farklı bir materyalin ekranlama etkinliği üzerinde çalışılmıştır.

Malzemenin işlevsel özellikleri malzeme seçiminde oldukça önemlidir. Yüksek soğrulmanın mümkün olabilmesi için yüksek dielektrik sabitine sahip materyaller kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada elektromanyetik dalgaların yansıtılmasından

ziyade soğrularak ekranlama yapılması amaçlandığından malzeme seçiminde bu kriter göz önünde bulundurulmuştur.

Nano boyutlara inildikçe malzemeler farklı özellikler göstermeye başlarlar veya var olan özelliklerinde artmalar meydana gelir. Örneğin malzemelerin renk değıştirmesi, erime sıcaklıklarının düşmesi, elektriksel iletkenliklerin artması/azalması vb. bu çalışmada radyasyon soğurma özelliğı ile bilinen mikro boyutta üretilmiş bor karbür kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bor karbür yaklaşık 3 mikron büyüklüğündedir.

3.1.2. Pamuklu kumaş

Yüksek ısıda yıkandığında çeker, ütülenmeye karşı dayanıklıdır ve eğer renkli ise, ilk yıkamada tek başına olmasına dikkat edilmelidir. Serin tutar ve esnektir, sürtünme ve darbelere karşı dayanıklıdır. Yıkamalara karşı renk dayanıklılığı yüksek değıildir ve kırışmaya eğilimlidir. Yapılan tez çalışmasında pamuklu kumaş seçiminin amacı pamuğun yapısında bulunan karbon ile bor karbür yapısında bulunan karbon arasında C-C bağlarını elde etmektedir. Bu sayede bor karbürün kumaştaki kullanım haslığı arttırılmak istenmiştir.

3.1.3. Bor karbür

Elmas ve CBN den sonra bilinen en sert malzeme olması, kimyasal ve mekanik korozyona karşı mükemmel direnci, çok düşük yoğunluğu ile sağladığı mükemmel güç/ağırlık oranı, yüksek ısı dayanımı ve nötron soğurma kabiliyeti ile bugün savunma sanayinde gerek personel zırhı gerekse araç zırhı olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Çalışmada kullanılan bor karbür yaklaşık 3 mikron büyüklüğündedir.

3.1.4. Ölçüm düzeneğı

Yürütölen çalışmada, ölçümlerin yapılabilmesi için birbirinin aynı iki hücre imal edilmiştir. Bu hücrelerin dış boyutları 75cm*40cm*40cm, iç boyutları ise

71cm*36cm*36cm olarak tasarlanmıştır. Tasarım için; MIL-STD-285, MIL-G-83528 ve ASTM ES7-83 standartlarından, çift TEM metodundan ve Ra Mayes Corp.'nın ölçüm ürünlerinden yararlanılmıştır. Üç katmandan oluşan hücrelerin en iç katmanında 1.5mm kalınlığında kurşun kullanılmıştır. Süreksizliklerin giderilebilmesi için eklerin bu katmanda mümkün olduğunca az ve yapılanlarında kurşun kaynağıyla yapılması sağlanmıştır. Orta katmanda izolasyon için 2cm kalınlığında yoğun strafor köpük kullanılmıştır. En dış katmanda ise 0.8mm kalınlığında galvanizli sac kullanılmıştır. İmal edilen hücrelere ait görüntüler Şekil 3.1'de görülmektedir. (Karakaş, 2012)



Şekil 3.1. Ölçüm düzeneği

Ölçüm penceresi, açıklık ölçüsü 20cm*10cm olarak bulunduğu yüzeyin ortasında olacak şekilde tasarlanmıştır. Ekranın koyulacağı hücrenin açıklık bölümüne yarım bir çekmece eklenerek ekranın yüzeyde sabitlenmesi sağlanmıştır. Aynı bölgede EMG koruyucu fitil kullanılarak iki hücre arasında oluşacak boşluğun önüne geçilmiştir. Aynı fitilden ölçüm cihazının probe kablolarının giriş çıkış bölgelerinde de kullanılarak tasarımdan oluşan süreksizlikler önlenmeye çalışılmıştır. Her bir hücrenin ağırlığı ise yaklaşık 35kg civarındadır. Ölçümlerde kullanılan antenler Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Ölçümlerde kullanılan anten

3.2. Metot

Bir açıklığın, iletken bir contanın veya EMG ekranlama özelliği olan herhangi bir materyalin, ekranlama özelliğinin/değerinin ölçülmesi için birçok yöntem ve teknik mevcuttur. Standartlaşmış metotlar olmasına rağmen, ölçümlerde pek de fazla kullanılamazlar. Buna en büyük etken ise çok iyi tanımlanmış ölçüm numunelerine gereksinim duymaları ve ölçülecek materyalden bu numunenin elde edilmesinin imkansız olmasıdır. Bu yüzden standartlara veya tekniklere bağlı kalınarak, ölçüm yapılacak materyale has bir tasarım yapmak daha kullanışlıdır (Morgan, 2007).

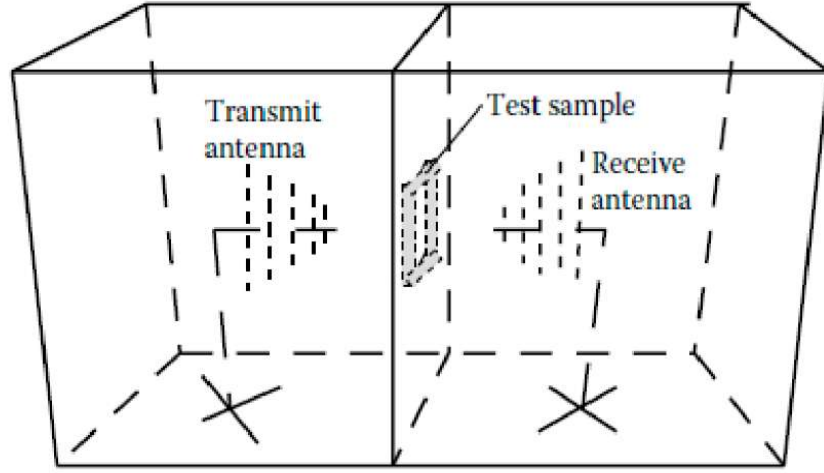
Ekranlama etkinliği değerlerinin hesaplanmasında; "yayılan ölçümler", "transfer edilen ölçümler" veya diğer metotlar kullanılabilir. Bahsedilen metotların her birisinde ekranlama etkinliği değerlerini ölçmek mümkünse de, aynı örnek için farklı metotlarla hesaplanan ekranlama etkinliği değerlerinin birbirleriyle ilişkili olmasını beklemek zordur. Buna örnek olarak; koaksiyel iletim hattı içine yerleştirilerek ölçümü yapılmak istenen örnek bir materyalin, farklı bir yöntemdeki düzlem dalga yayan antenden oluşan aynı elektromanyetik alan empedansına ihtiyacı yoktur (Tong, 2009). Bu farklılık ölçümlerin sonuçlarının değişim göstermesini tabileştirir.

Bu çalışmada özel olarak hazırlanan düzenekle elektromanyetik dalgaların dB değişimleri incelenmiş ekranlı ve ekransız ölçümlerin dB değerleri oranlanarak hesaplanmıştır.

3.2.1. Mil-STD-285

1956'da ortaya konulan Amerikan askeri standardı Mil-Std-285, ekranlama etkinliği ölçümlerinin kurucusudur. Standart daha sonraları geri çekilmiş olmasına rağmen geliştirilmiş ölçme teknikleri ve yeni standartların ortaya çıkarılmasında rol oynamıştır. Metot tek ortak duvarlı, birbirinden ayrı, iki yalıtılmış oda kullanmaktadır, Şekil 3.3. Ortak duvarın test örneklerinin koyulduğu bir boşluğu vardır. Bir odada, verici anten vardır ve diğerinde ise alıcısı anten bulunmaktadır. İki anten doğrudan birbirine yönlendirilmiştir ve birbirlerinden sabit bir uzaklıkta bulunmaktadırlar. Verici anten sabit bir güç ile ışına yapar. Alıcı anten ise transfer edilen gücü, ortak duvardaki boşlukta ölçümü yapılmak istenen test örneği varken ve yokken ölçer. Test örneğindeki koruyucu etkinliği bu iki ölçme arasındaki farktan elde edilir. Örneğin, Mil-Std-285'e göre düzenlenmiş ve modifiye edilmiş bir yöntem, iletken kompozitlerin ve iletken kompozitlerden yapılmış contaların ekranlama etkinliğinin ölçülmesinde kullanılır. Bu ölçümde, conta materyali yalıtılmış tek açık duvarlı bir odanın açıklığı kapatmak için kullanılır. Verici anten yalıtılmış odanın dışında açıklığa direk bakacak şekilde yerleştirilir. Alıcı anten ise odanın içerisinde bulunur. Ekranlama etkinliği basitçe; açıklıktaki contanın varlığında ölçülen değer ile açıklığı kapatmazken ölçülen değer farkı olarak hesaplanabilir. Yöntemin dezavantajları ise; ölçülen zayıflamanın anten yerleşimine bağlı olması ve yalıtılmış odanın içerisindeki elektromanyetik dalganın yansımalar yapmasıdır. Conta performanslarının belirlenmesinde bu tür ölçümlerin dezavantajlarından olan mekanik boyutlardaki standart eksikliği gibi açıklığın rezonansı, yansıma ve anten yerleşimindeki sorunlar standardın kullanımını sınırlamaktadır (Tong, 2009).

Mil-Std-285'deki yöntemin iyileştirilmiş versiyonlarında, yansıma problemlerini en aza indirmek için odaların içerisinde yutucu materyaller kullanılmıştır. Mil-G 83528 gibi yeni ölçüm versiyonları, birkaç megahertzden 18 GHz'a kadar aynı zamanda IEEE-Std-299 (1997) standardında da bulunabilmektedirler (Tong, 2009).



Şekil 3.3. Mil-Std-285 standardın göre ekranlama etkinliğinin ölçülmesi (Tong, 2009)

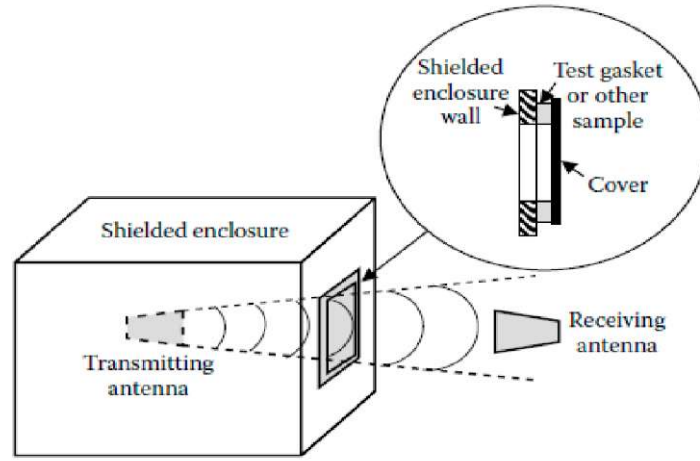
3.2.2. Mil-g-83528

Ekranlama etkinliği testlerinde yayılan enerji yaklaşımı, Mil-Std-285'in modifiye edilmiş versiyonu olan Mil-G-83528'de ele alınmıştır. Mil-Std-285, verici antende üretilen dalganın süreksizliklere veya ortak duvara yerleştirilen test örneğine doğrudan yönlendirilmesine ve bununla beraber alıcı antenin test bölgesinden yayılan maksimum alan şiddetine maruz kalacak şekilde ayarlanmasını ortaya koymaktadır. Mil-G-83528 ise, 28"*28" (711,2mm*711,2mm) genişliğindeki tabakanın merkezinden elektromanyetik dalganın doğrudan Şekil 3.4'de görüldüğü gibi kapağa yönlendirilmesi ve alıcı antenin hemen kapağın arkasında yer alması şeklinde bir ölçüm düzeneğine sahiptir.

Bu düzenele ölçüm yaparken, öncelikle açık referans değeri ölçülür. Açık referans değeri ölçümü için alıcı ve verici antenler ekranlı bölgenin ve test düzeneğinin bir metre uzağında karşılıklı yerleştirilirler. Verici antene uygun bir (RF) sinyal üretici bağlanır. Alıcı antene ise bir spektrum analizör bağlanır. Ölçülen değer açık referans değeri olarak kaydedilir.

Açık referans değerinin ölçüldüğü yerde, etkinliği ölçülmek istenen malzemeyle birlikte kapalı referans düzeneği kurulur. Test edilecek malzeme açıklık bölümüne plastik bir materyalle tutturulur.

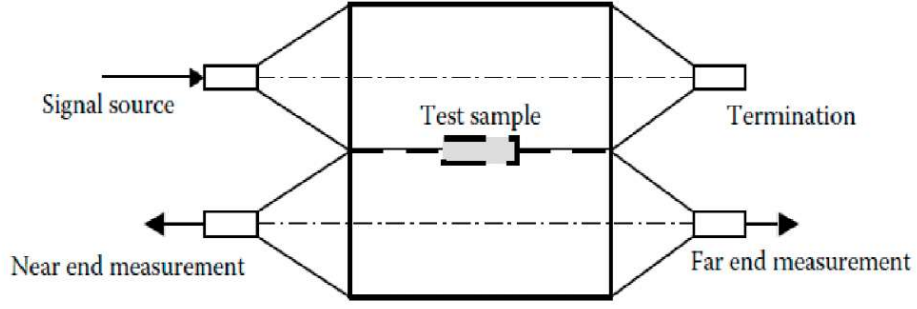
Her iki ölçüm de tamamlandıktan sonra, ekranlama etkinliğinin bulunması oldukça basittir. Açık ölçüm referans değerinin güç seviyesin ile kapalı durum referans değerinin güç seviyesinin farkı ekranlama etkinliği olacaktır (Tong, 2009).



Şekil 3.4. Mil-G 83528 ölçüm metodu (Tong, 2009)

3.2.3. Tem hücre metodu

Yankılanan oda (reverberating chamber) içerisindeki açıklıklı çapraz elektromanyetik (TEM) hücre, tek karıştırıcı (one mode stirred chamber) oda kullanan basitleştirilmiş bir metottur. Oda içerisinde iletimde olan bir anten ve açık bir TEM hücresi vardır. Verici antenin ve TEM hücresinin yeri kritik değildir. Bununla birlikte, anten TEM hücresine doğru yönlendirilmemelidir ve TEM hücresi de duvarlara veya yansımaya yapan diğer nesnelere yakın konumlandırılmamalıdır.



Şekil 3.5. Çift Tem Hücresi Kullanımıyla Ekranlama Etkinliğinin Ölçülmesi
(Tong, 2009)

Bir TEM hücresi, dikdörtgen koaksiyel iletim hattının genişletilmiş bir bölümüdür. Ölçümü yapılmak istenen materyal, TEM hücresindeki açıklık üzerine yerleştirilir. Verici anten tarafından elektromanyetik bir alan oluşturulur ve örnekten meydana gelecek sızıntıyı ölçmek için kullanılacak olan alıcı ekipmanlar TEM hücreesine bağlanır. Kullanılabilecek uygun frekans alanı 200 MHz ile 1 GHz arasındadır ve dinamik alan yaklaşık 100 dB civarındadır.

Yukarıda bahsedilen metotla ilişkili ve daha ucuz bir yöntem ise çift TEM metodudur. İki TEM hücresi birbirlerine Şekil 3.5’de gösterildiği gibi bağlanır. TEM hücreleri genel duvarlarındaki açıklık aracılığıyla birleştirilir. Bu ölçme yönteminde önemli husus da E alanı ve H alanı ekranlama etkinliğini yanı sıra yakın alan ekranlama etkinliği ölçümlerini de gerçekleştirebilmesidir.

Birinci TEM hücresinin girişi işaret kaynağına bağlanır ve çıkışı iptal edilir. İkinci TEM hücresi, elektrik ve manyetik alanların ölçüldüğü iki çıkışa sahiptir. İki hücre arası açıklık, ölçüm yapılmak istenen örnekle kapatılır. Bu yöntemin bir dezavantajı, elektrik alanın polarizasyonunun örnek için normal olmasıdır. İyi bir yönü ise; ikinci TEM hücresi çıkışlarından alınan gücün ölçülmesiyle, elektrik ve manyetik alan ekranlamasının aynı anda sürekli olarak takip edilebilmesidir. Bu yöntem için ölçüm frekans aralığı 1 MHz'den 200 MHz'ye kadardır ve dinamik alanı ise yaklaşık 60 dB'dir (Tong, 2009).

3.2.4. Astm ES7-83 standardına bağlı çift oda test düzenegi

ASTM ES7-83 standardına bağlı çift oda test düzenegi, iki bölümden oluşan oda yada bölüm Şeklinde teşkil edilir. Her bölüm içerisinde sabit bir antene sahiptir.  rnek materyalin bir parçası iki oda arasına sıkıŐtırılarak sabitlenir ve ölüm yapılır. Aynı  l m arada materyal olmadan gerçekleŐtirilir ve bu ölümün sonucu referans değer olarak kullanılır. Ekranlama etkinliği bu ölümler arasındaki fark olarak hesaplanır. Bu test yöntemi 100 kHz'den 1 GHz'a kadar olan frekanslar için kullanılmaktadır ve 80 dB civarında dinamik alana sahiptir. (Tong, 2009).

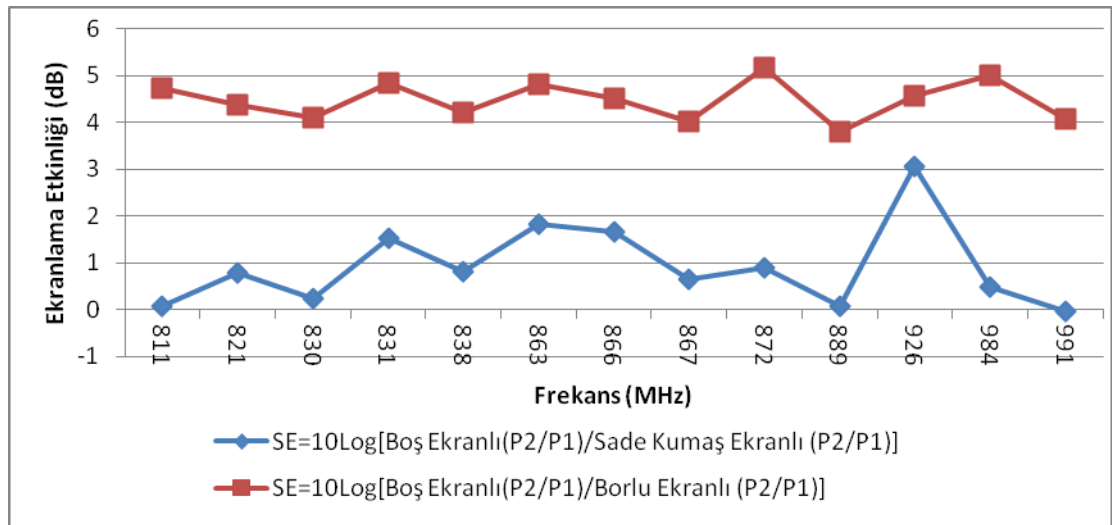
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmada kullanılan bor karbür aplike edilmiş kumaşın ekranlama ölçümlerine ait 800-1000 MHz, 1.7-1.9 GHz ve 1.9-2.9 GHz aralığındaki güç grafikleri, Şekil olarak ve yoğunluklu olarak etkili oldukları frekans aralığındaki ekranlama etkinliği değerleri çizelge olarak verilmiştir. Ekran yokken ve ekran varken çeşitli frekanslarda ölçümler yapılmış, ölçümlerin güvenilirliği açısından çok sayıda deneme değeri alınmıştır. Ölçümlerde Rohde Schwarz FSH-6 Spectrum Analyzer kullanılmıştır.

Bor karbürün ekranlama etkinliği ölçümlerinde tüm durumlarda en çok farklılık görölen frekanslara ait değerler ve borlu kumaş ekranlı durum ile sade kumaş ekranlı durumun karşılaştırmalı grafik gösterimi aşağıdaki Őekillerde ve grafiklerde belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. 800 ile 1000 MHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri

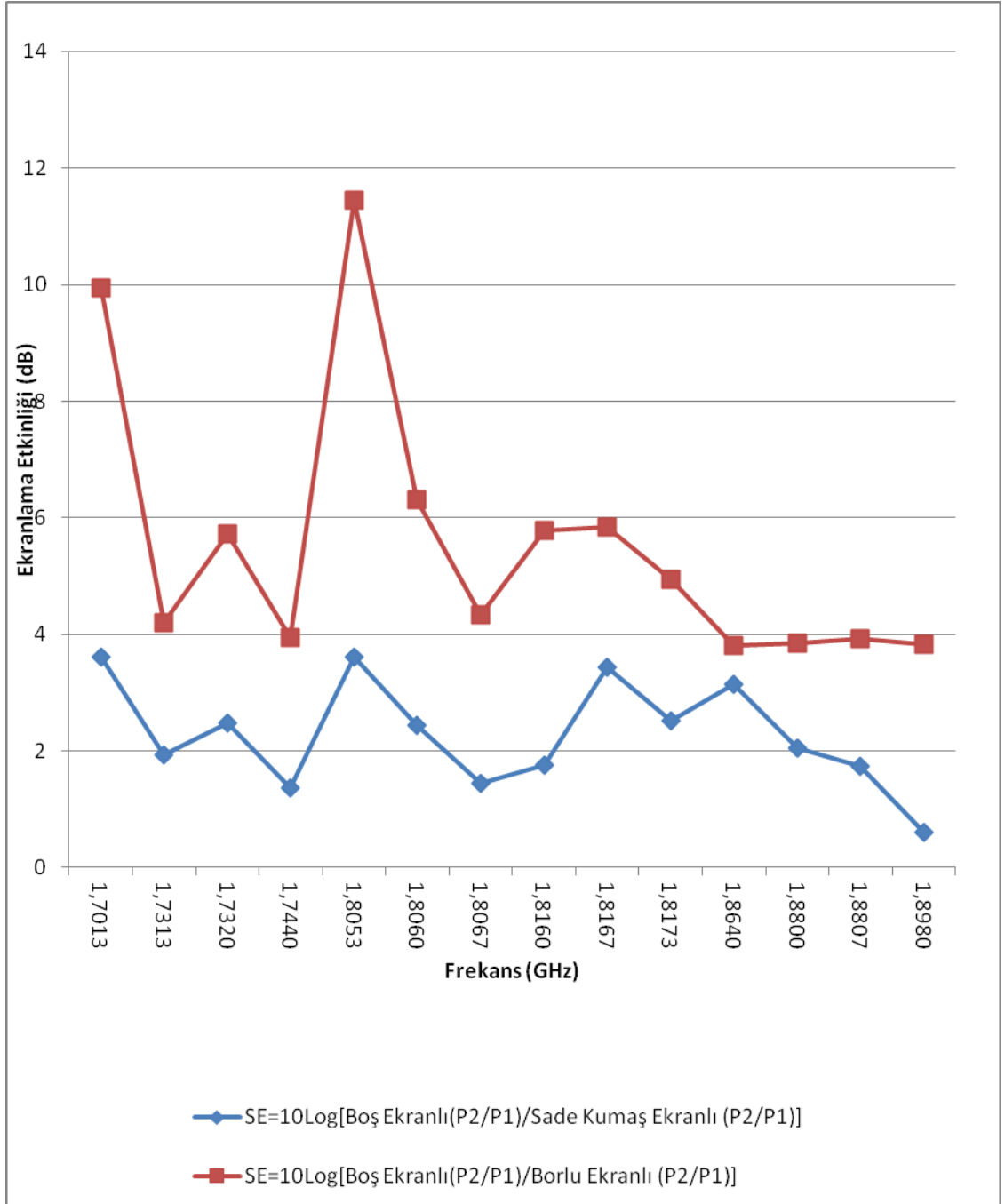
Frekans	SE=10Log[Boş Ekranlı(P2/P1)/Sade Kumaş Ekranlı (P2/P1)]	SE=10Log[Boş Ekranlı(P2/P1)/Borlu Ekranlı (P2/P1)]
811	0,079562619	4,725905895
821	0,792284528	4,370311457
830	0,247076469	4,085150348
831	1,535994345	4,844466083
838	0,816158481	4,199593743
863	1,828389985	4,81027431
866	1,665561356	4,506045044
867	0,653415977	4,01859266
872	0,889606199	5,167694607
889	0,070726156	3,792324082
926	3,048786515	4,555274307
984	0,480493454	4,998957777



Şekil 4.1. 800-1000 MHz için dB değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.2. 1,7 ile 1,9 GHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri

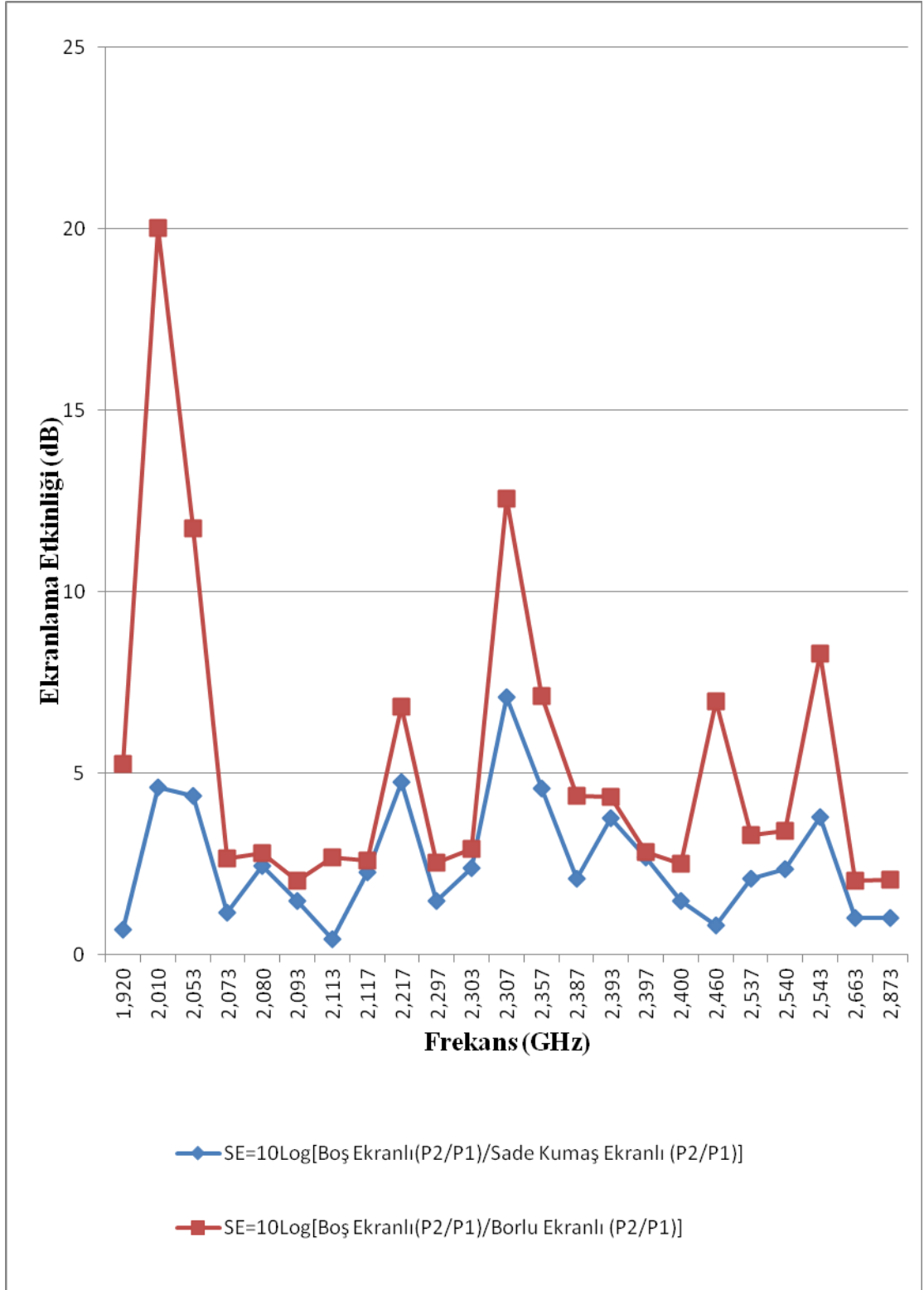
Frekans (GHz)	SE=10Log[Boş Ekranlı(P2/P1)/Sade Kumaş Ekranlı (P2/P1)]	SE=10Log[Boş Ekranlı(P2/P1)/Borlu Ekranlı (P2/P1)]
1,7013	3,604605219	9,937800043
1,7313	1,931206455	4,196872182
1,7320	2,482925592	5,722962109
1,7440	1,369238399	3,952947901
1,8053	3,618333604	11,43841409
1,8060	2,436107839	6,308907469
1,8067	1,450954152	4,334931154
1,8160	1,765260087	5,79136288
1,8167	3,443430197	5,834959543
1,8173	2,510968013	4,933846995
1,8640	3,1435761	3,803761531
1,8800	2,043324465	3,841312193
1,8807	1,732015693	3,931950536
1,8980	0,6008795	3,823845968



Şekil 4.2. 1,7 ile 1,9 GHz için dB değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.3. 1,9 ile 2,9 GHz frekans aralığındaki ölçüm değerleri

Frekans GHz	SE=10Log[Boş Ekranlı(P2/P1)/Sade Kumaş Ekranlı (P2/P1)]	SE=10Log[Boş Ekranlı(P2/P1)/Borlu Ekranlı (P2/P1)]
1,920	0,676394226	5,266600985
2,010	4,610670147	20,01097195
2,053	4,374376575	11,75752582
2,073	1,148946921	2,661807991
2,080	2,433558528	2,796697549
2,093	1,492742183	2,048336962
2,113	0,424081335	2,689109734
2,117	2,27806778	2,592666542
2,217	4,759460341	6,825263528
2,297	1,485800478	2,518271445
2,303	2,37735311	2,914964911
2,307	7,096696252	12,55456446
2,357	4,588725402	7,129372218
2,387	2,090538394	4,382679061
2,393	3,762490252	4,344077669
2,397	2,664581228	2,814611627
2,400	1,490365123	2,493381212
2,460	0,794885514	6,973416394
2,537	2,080186124	3,278861835
2,540	2,368757798	3,416869132
2,543	3,777648318	8,28307326
2,663	1,002723263	2,02137972
2,873	1,026028789	2,053814535



Şekil 4.3. 1,9 ile 2,9 GHz için dB değerlerinin karşılaştırılması

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan ölçümler sonucunda en fazla ekranlama etkinliği gösteren frekanslar yukarıda verilmiştir. Diğer frekans değerlerinde de ekranlama gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda bor karbür aplike edilmiş kumaş ekranlama etkinliği göstermiş fakat yeterli seviyede ekranlama sağlanamamıştır.

Bölüm 2.2.1'deki Çizelge 2.3. incelenecek olursa 10 dB'nin altındaki değerlerde ekranlama etkinliği gösterilmediği belirtilmiştir.

Bor karbürün kimyasal bileşimindeki karbon miktarı arttırılarak ve nano boyutlarda bor karbür kullanılarak yapılacak olan çalışmalarda daha olumlu ekranlama etkinlikleri elde edilmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkaya M., 2012. Bor Lifinin Tekstil Terbiyesi Alanında Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Alaca, M. 1999. Bor karbür üretimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Lisans Tezi
- Aniolezyk,H., Koprowska, J., Mamrot, P., Lichawska, J., 2004. Application of Electrically Conductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 12, 4 (48).
- Cengiz, S., 2009. Elektromanyetik Girişimden Korunmada Ekranlama Etkinliği ve Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Isparta.
- Chen, H., C, Lee, K., C., Lin, J., H., 2004. Electromagnetic and Electrostatic Shielding Properties of Co-Weaving-Knitting Fabrics Reinforced Composites, *Composites Part A:applied science and manufacturing*, 35, 1249-1256.
- Cheng, K., B., Cheng, T., W., Lee, K., C., Ucng, T., H., Hsing, W., H., 2003. Effects of Yarn Constitutions and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, *Composites Part A:applied science and manufacturing*, 34,971 -978.
- Chiang, W., Y., Cheng, K., Y., 1997. Processing conditions for electromagnetic interference shielding effectiveness and mechanical properties of acrylonitrile- butadiene-styrene based composites, *Polym Compos*, 18(6),748-756.
- Ersoy, M.S., Önder, E. 2008. Shielding Textiles Against Electromagnetic Radiation, *International Nonwoven Technical Textiles Technology Magazine*, 18, 52-61
- Geçkinli, A. E. 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası. Gümüşsüyü
- Karabaş K., 2006. Bor Karbür Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- Karakaş B., 2012. Nano Akışkan Malzemelerin Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 156 sayfa, Isparta
- Kılıç G, Saraçoğlu G, Ö., 2009. Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Tekstillerin Ekranlama Etkinliği (SE) Ölçüm Yöntemleri, *Tekstil Ve Mühendis*, 15,72

- Kuşoğlu, İ. M. 2004. İleri Teknik Seramik Üretimi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- Lee, C.,Y., Song, H., G., Jang, K., S., Oh, E.,J., Epstein,A., J., and Joo, J., 1999. Electromagnetic Interference Shielding Efficiency of Polyaniline Mixtures and Multilayer Films, Synthetic Metals 102,1346-1349.
- Morgan, D., 2007. A handbook for EMC Testing and Measurement, The Institution of Engineering and Technology Press, 290p, United Kingdom.
- Okuy G, bilgin S, Akgül E, Örtlek H G., 2011. Farklı Yapılardaki Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi, Teknolojik Araştırmalar, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5,1
- Özen, Ş., 2008. Elektromanyetik Uyumluluk ve Girişim, EMO İzmir Şubesi Sempozyumu.
- Özsoy S., 1998. Elektromanyetik Dalga Teorisi, Erciyes Üniversitesi Matbaası, Kayseri.
- Palamutçu S., 2009. Fonksiyonel Tekstiller 1: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, Teknolojik Araştırmalar, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi 3,1
- Pierson, H. O. (1996). Handbook of Refractory Carbides and Nitrides. William Andrew Publishing/Noyes
- Pinar, A., Michalak, L., (2006). Influence of Structural Parameters of Wale-Knitted Fabrics On Their Electrostatic Properties, Fibres&Textiles in Eastern Europe, 14, 5 (59).
- Polat, Ö., 2003. Çok Katmanlı Yapıların Ekranlama Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Isparta.
- Roh, J., -S., Chi, Y., -S, Kang, T., J., Nam, S., -W., (2008). Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics, T. Res., Journal, 78 (9), 825-835.
- Sevgi, L., 2000. Elektromanyetik Uyumluluk Elektromanyetik Kirlilik, EMO İstanbul.
- Sevgi, L., 2004. EMC ve Korunma Yöntemleri 1: Ekranlama, Endüstriyel ve Otomasyon, Eylül
- Tong, X.C., 2009. Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding, CRC Press, 324p, New York

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

Yasufuku, S., 1990. Technical Progress of EMI Shielding Materials in Japan, IEEE Electrical Insulation Magazine 1.6, 6.

<http://www.iso.org.tr/tr/documents/cevre/elektromanyetik%20kirlilik%20rapor.pdf>,
Kasım 2012

http://tr.wikipedia.org/wiki/Faraday_kafesi, Ekim 2012

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet ZIRAPLI

Doğum Yeri ve Yılı : Denizli, 1988

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : m.zirapli@gmail.com.tr



Eğitim Durumu

Lise : Manisa Turgutlu Lisesi, 2005

Lisans : SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği

Mesleki Deneyim

İbm İstihdam İnsan Kaynakları A.Ş. 2011-2012

Uşak Üniversitesi 2012-.....(halen)