



**KATKILI POLİMERLERLE KAPLANAN
KUMAŞLARIN ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül PEYNİRCİOĞLU

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Ocak 2023

Bu tez çalışması 21.FEN.BİL.26 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KATKILI POLİMERLERLE KAPLANAN KUMAŞLARIN
ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Ayşegül PEYNİRCİOĞLU

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Ocak 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Adı SOYADI tarafından hazırlanan “Tez Onay Sayfası” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca GG/AA/ YYYY tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Dalı Adı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ/DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Taner KAVAS

Başkan : Prof. Dr. İskender AKKURT
Süleyman Demirel Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Taner KAVAS
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Meltem DİLEK
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../.....tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23 / 01 /2023

İmza

Ayşegül PEYNİRCİOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KATKILI POLİMERLERLE KAPLANAN KUMAŞLARIN ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ayşegül PEYNİRCİOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Taner KAVAS

Modern üretim teknikleri ve geliştirilmiş malzemeler sayesinde katkıli iletken polimerler son yıllarda tekstil sektöründe çok çeşitli uygulamalarda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günlük hayatta evde ya da iş yerlerinde elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı ile birçok insan radyasyona maruz kalmaktadır. Bu elektronik aletlerin yaymış olduğu zararlı ışınlar ise pek çok canlının hayatını olumsuz etkilemektedir. Bu durumu en aza indirmek için yapılan bu tezde, pamuk kumaş numunelerinin katkıli polimerler ile kaplanıp, elektromanyetik kalkanlama derecesini ölçerek, elektromanyetik dalgaların absorbe edilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Katkıli polimer olarak poliüretan (PU) ve polietilen (PE), kalkanlamaya yardımcı malzemeler olarak ise bor oksit (B_2O_3) ve epoksi reçine kullanılmıştır. PU, $PU+B_2O_3$, PE, $PE+B_2O_3$ olarak 4 farklı komponent analizleri, ışınlamanın yarattığı etkiler spektroskopik yöntemlerle incelenmiştir. Bu çalışmalar, atmosfer şartlarında kimyasal polimerizasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca kumaşların yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Ham kumaşın yoğunluğu 0.660 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Bunun yanında işlem görmüş kumaşların yoğunlukları sırasıyla; PU 0.93 g/cm^3 , $PU+B_2O_3$ 1.097 g/cm^3 , PE 0.80 g/cm^3 , $PE+B_2O_3$ 0.944 g/cm^3 olarak ölçülmüştür. Sonucunda da B_2O_3 maddesinin ilavesiyle kumaşlar üzerinde yoğunlukların daha da arttığı görülmüştür. Bu koşullarda yapılan analizler FT-IR, SEM+EDX, EMSE (Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği) ile irdelenmiştir. FT-IR yöntemi ile yapılan çalışmalarda C-H, C-O, C=C, N-H ve O-H bağları görülmüş olup, karakteristik pikler elde edilmiştir. SEM+EDX ile mikro yapısal özellikler incelenmiştir. Tüm analiz

boyunca sadece Karbon (C) ve Oksijene (O) rastlanmıştır. EMSE’ de absorbsiyon, yansıma, geçirgenlik lmlerine bakılmıştır. Değerler sonucunda $PU+B_2O_3$ ile kaplanan kumaşın diğer kumaşlara göre daha iyi kalkanlama yaptığı, 1275 MHz’de 43 dB olduğu sonucuna varılmıştır. Bu değerler profesyonel kullanım için iyi derecede katagorize edilmiştir. Bu bağlamda elde edilen bu olumlu sonuçların hedeflenen çalışmaya bağlı olarak dikkate alınması durumunda önemli katkılar sunma potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır.

2022, xii + 63 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Kalkanlama, Polimer, Kumaş, Bor Oksit.

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC SHIELDING PROPERTIES OF FABRICS COATED WITH DOPED POLYMERS

Ayşegül PEYNİRCİOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Prof. Taner KAVAS

Doped conductive polymers have been used as coating materials in a wide range of applications in the textile industry recently thanks to improved materials and modern production techniques. In daily life, many people are exposed to radiation through the use of electrical and electronic devices at home or at work. The harmful rays emitted by these electronic devices negatively affect the lives of many living things. In this thesis, in order to minimize this situation, a study was conducted on absorbing electromagnetic waves by coating cotton fabric samples with doped polymers and measuring the degree of electromagnetic shielding. Polyurethane (PU) and polyethylene (PE) were used as doped polymers, boron oxide (B_2O_3) and epoxy resin were used as shielding auxiliary materials. PU, PU+ B_2O_3 , PE and PE+ B_2O_3 as 4 different component analyses, the effects of irradiation were investigated by spectroscopic methods. These studies were carried out using the chemical polymerization method under atmospheric conditions. In addition, the density values of the fabrics were calculated. The density of the raw fabric was found to be 0.660 g/cm^3 . In addition, the treated fabrics densities, PU 0.93 g/cm^3 , PU+ B_2O_3 1.097 g/cm^3 , PE 0.80 g/cm^3 and PE+ B_2O_3 0.944 g/cm^3 were measured. As a result, it was observed that the densities of the fabrics increased even more with the addition of B_2O_3 substance. The analyses performed under these conditions were examined with FT-IR, SEM+EDX and EMSE (Electromagnetic Shielding Effectiveness). In the studies performed by FT-IR method, C-H, C-O, C=C, N-H and O-H bonds were observed and characteristic peaks were obtained. Micro structural

properties were investigated with SEM+EDX. Only Carbon (C) and Oxygen (O) were found during the analysis. Absorption, Reflection and Transmittance Measurements were examined in EMSE. As a result of the values, it was concluded that the fabric coated with PU+B₂O₃ has better shielding compared to other components, it is 43 dB at 1275 MHz. These values are well categorized for professional use. In this context, it is understood that if these positive results obtained are taken into account depending on the targeted study, there is a potential to make significant contributions.

2022, xii + 63 pages

Keywords: Electromagnetic Shielding, Polymer, Fabric, Boron Oxide.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım 21.FEN. BİL.26 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Üniversiteme verdiği destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Taner KAVAS'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Arş. Gör. Recep KURTULUŞ'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim. Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan sevgili eşim Abdullah PEYNİRCİOĞLU'na, ve sabırla tez çalışmamı başarılı bir şekilde bitirmemi bekleyen kızıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşegül PEYNİRCİOĞLU

Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Elektromanyetik Kalkanlama	2
2.1.1 Elektromanyetik Dalga	4
2.1.2 Elektromanyetik Alan	6
2.1.2.1 Elektrik Alan ve Elektromanyetik Alan	6
2.1.3 Elektromanyetik Kirliliğin Etkisi.....	10
2.1.3.1 Elektromanyetik Kirliliğin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.....	11
2.2 Ekranlama (Kalkanlama)	13
2.3 Tekstil Malzemeleri İle Kalkanlama.....	14
2.4 Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler.....	15
2.5 Tekstil Yüzeylerin Elektromanyetik Kalkanlama Malzemesi Olarak Kullanımı	19
2.6 Tekstil Yüzeylerine Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Kazandırılacak	
Yöntemler.....	19
2.7 Katkılı Polimerler ve Tekstil Yüzeyine Kaplama İşlemi.....	20
2.7.1 Kaplamada Kullanılan Temel Kimyasal Maddeler.....	20
2.7.2 Kaplamada Kullanılan Polimerler.....	22
3. MATERYAL ve METOT	28
3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	28
3.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar	28
3.3 Deneysel Çalışmalar	32
4. BULGULAR	42

4.1 FT-IR Analizi.....	42
4.2 Elektromanyetik Kalkanlama Ölçümü (EMSE)	47
4.3 SEM+EDX Bulguları.....	50
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	55
6. KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	63



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

λ	Dalga Boyu
dB	Desibel
V/m	Elektrik Alan Şiddeti
HCl	Hidroklorik asit
f	Frekans
H	Manyetik Alan
A/m	Manyetik Alan Şiddeti
C°	Santigrat Derece
t	Periyod
nm	Nanometre
W	Watt
Kg	Kilogram
B ₂ O ₃	Bor Oksit
GHz	Giga Hertz
MHz	Mega Hertz
Hz	Hertz

Kısaltmalar

ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
EA	Elektrik Alan
EE	Ekranlama Etkinliği
EMA	Elektromanyetik Alan
EMI	Elektromanyetik Girişim
EMR	Elektromanyetik Radyasyon
EMSE	Elektromanyetik Ekranlama Etkisi
FCC	Federal Communications Commission
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ICP	Intrinsically Conducting Polymers
ICRP	Uluslararası Radyasyon Koruma Komisyonu
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
MA	Manyetik Alan
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PES	Polyester
PET	Polietilen tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PSU	Polisülfon
PU	Poliüretan
PVC	Polivinil Klorür
ASE	Alkali Şişebilir Emülsiyon
HASE	Hidrofobik Olarak Modifiye Edilmiş Alkali Çözünür

HEUR	Hidrofobik Olarak Modifiye Edilmiş Etilen Oksit Üretan
HM-HEC	Hidrofobik Olarak Modifiye Edilmiş Hidroksietil Selüloz
SAR	Specific Absorption Rate
SE	Shielding Efficiency
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
UV	Mor Ötesi
XRD	X Işını Kırınımı



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 “ t ” kalınlıklı duvarın kalkanlama etkinliği	2
Şekil 2.2 Dalga Yapısı ve Özellikleri	4
Şekil 2.3 Elektromanyetik dalgaların sınıflandırılması (elektromanyetik spektrum)...	5
Şekil 2.4 Elektromanyetik Alan.....	8
Şekil 2.5 Üretan Monomeri	20
Şekil 2.6 Polietilen Monomeri	24
Şekil 2.7 Kaplamada Kullanılan Polimerlerin Radyasyona Gösterdikleri Direnç.....	27
Şekil 3.1 Deneysel Çalışmalar Akım Şeması	32
Şekil 4.1 PU FTIR Analiz Değerleri.....	43
Şekil 4.2 PU+B ₂ O ₃ FT-IR analiz değerleri	44
Şekil 4.3 PE FT-IR analiz değerleri.....	45
Şekil 4.4 PE+B ₂ O ₃ FT-IR analiz değerleri	46
Şekil 4.5 PU, PU+B ₂ O ₃ , PE, PE+B ₂ O ₃ üzerindeki FT-IR analiz görüntüleri	46
Şekil 4.6 EMSE görüntüleri.....	47
Şekil 4.7 PU, PU+B ₂ O ₃ , PE, PE+B ₂ O ₃ kaplı kumaşların frekansa bağlı yansıma kaybı grafiği.....	48
Şekil 4.8 PU, PU+B ₂ O ₃ , PE, PE+B ₂ O ₃ kaplı kumaşların frekansa bağlı emilim kaybı grafiği.....	48
Şekil 4.9 PU, PU+B ₂ O ₃ , PE, PE+B ₂ O ₃ elektromanyetik geçirgenlik değişimleri	49
Şekil 4.10 Ham kumaşın bakır ile kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri	51
Şekil 4.11 PU+B ₂ O ₃ kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri.....	52
Şekil 4.12 PU kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri	53
Şekil 4.13 PE+B ₂ O ₃ kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri.....	53
Şekil 4.14 PE kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Genel kalkanlama değerleri.	3
Çizelge 2.2 Elektromanyetik Koruma Etkinlik Değerleri.	3
Çizelge 2.3 Elektrik alan ve Elektromanyetik alan karşılaştırması	7
Çizelge 2.4 Elektromanyetik Alan Kaynakları	8
Çizelge 2.5 Genel kullanım alanlarında elektromanyetik koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesi	14
Çizelge 2.6 Profosyonel kullanım alanlarda için elektromanyetik koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesi	14
Çizelge 2.7 İletken Liflerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması.	18
Çizelge 2.8 Poliüretanların İki Ana Bileşen Tablosu.	21
Çizelge 4.1 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PU).....	42
Çizelge 4.2 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PU+B ₂ O ₃) .	43
Çizelge 4.3 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PE)	44
Çizelge 4.4 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PE+B ₂ O ₃)..	45

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Zararlı elektromanyetik kaynaklar (Yılmaz 2013).	9
Resim 2.2 Binderler – Monomerlerin UV Dirençleri (Anonim 2016).	21
Resim 3.1 Hassas Terazî	29
Resim 3.2 Manyetik karıştırıcı ısıtıcı.....	29
Resim 3.3 Manyetik Karıştırıcı.....	30
Resim 3.4 SEM Cihaz Kaplama	30
Resim 3.5 SEM+EDX Cihazı	31
Resim 3.6 FT-IR Cihazı.....	31
Resim 3.7 Elektromanyetik Kalkanlama Ölçüm Cihazı	32
Resim 3.8 Polietilen.....	33
Resim 3.9 Polietilen ve toluen karışımı	34
Resim 3.10 Polietilen karışımı içerisindeki kumaş numuneleri.....	34
Resim 3.11 Bor Oksit destile su karışımı.....	35
Resim 3.12 Bor Oksitli karışımın kumaş üzerine bıraktığı görüntü	36
Resim 3.13 Kumaşlara kaplanan reçine + sertleştirici.....	36
Resim 3.14 Reçine sonrası bor oksit püskürtme yöntemi	37
Resim 3.15 Aromatik izosiyanat poliüretan.....	38
Resim 3.16 Poliüretanın kumaşa uygulanması	38
Resim 3.17 Poliüretan+ reçine sonrası görüntü	39
Resim 3.18 Reçine sonrası asarak kurutma yöntemi	40
Resim 3.19 Poliüretan, bor oksit ve reçine sonrası görüntü	40
Resim 3.20 PU (a), PU+B ₂ O ₃ (b), PE (c), PE+ B ₂ O ₃ (d) reçine sonrası görüntüleri	41
Resim 4.1 (a) Ham, (%90 pamuk %9,5 bakır %0,5 gümüş) (b) PU, (c) PU+B ₂ O ₃ , (d) PE, (e) PE+B ₂ O ₃ ile kaplanmış pamuk kumaşların SEM görüntüleri	50

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve yaşam koşullarının modernleşmesi ile birlikte insanların gereksinimleri doğrultusunda elektrikli ve elektronik cihazların kullanımı artmaktadır. Evlerde kullanılan çamaşır makineleri, bulaşık makineleri, elektrikli süpürgeler, el blenderları, mikrodalga fırınlar, cep telefonları, bilgisayarlar, modemler, televizyonlar, klimalar, fotokopi makineleri bunların dışında daha geniş çaplı olarak; radarlar, elektronik haberleşme ağıları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri savunma sistemleri, baz istasyonları, tıbbi cihazlar, elektrikli ulaşım araçları, elektrikli ve elektronik cihazlar insan sağlığına zarar veren elektromanyetik dalga yaymaktadır. Bu elektronik aletlerin yaymış olduğu zararlı ışınlar ise pek çok canlının hayatını olumsuz etkilemektedir (Dağ ve Palamutcu 2009). Bu olumsuz etkiyi minimum hale getirmek amacıyla kalkanlama çalışması yapılarak, zararlı ışınların canlı vücuduna girmesini azaltmak amaçlanmıştır.

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından geliştirilen anti radyasyon standartları göz önüne alındığında bunları sınırlamak için dünya çapında ve ülkemizde birçok sınır değeri belirlenmiş ve elektromanyetik kalkanlama terimi ve kalkanlama malzemeleri geliştirilmiştir (Yılmaz 2013).

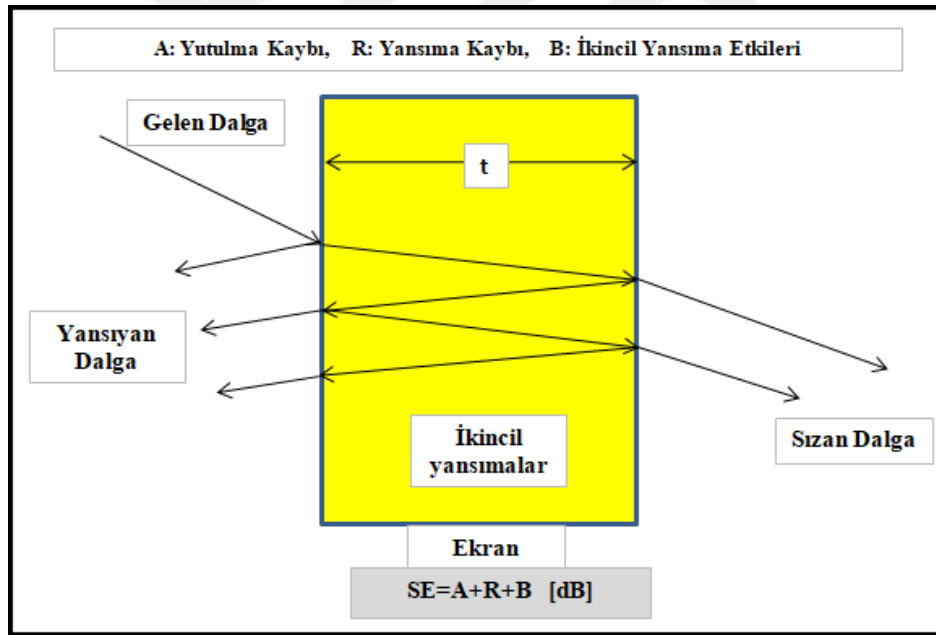
Bu çalışmada ise kalkanlamaya yardımcı ana malzemeler olarak katkılı polimer olan, polietilen ve poliüretan kullanılmıştır. Polimerlere katkı maddesi olarak da bor oksit, epoksi ve sertleştirici gibi kimyasal ürünler kullanılarak deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu kimyasal ürünler pamuk kumaş üzerine (pamuk, bakır, gümüş) kaplanarak farklı analizler uygulanmıştır. Bu analizler doğrultusunda işlem görmüş numunelerin elektromanyetik koruyuculuk özellikleri arasındaki farklılıklar incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Elektromanyetik Kalkanlama

Elektromanyetik Kalkanlama, elektromanyetik dalgaların yansıtılması, soğurulması ve saçılması ilkeleri ile elektrik ve elektromanyetik alanlara girememesi ya da o alandan çıkamaması olarak tanımlanmaktadır. Kalkanlama, elektrik-elektronik mühendisliğinde Ekranlama olarak da geçmektedir. Elektrik-elektronik cihazların çalışması bakımından önem taşımaktadır. Ekranlama Etkinliği, (EE) veya (Shielding Efficiency) (SE) kalkanlamanın ne derece etki ettiğinin göstergesidir. Desibel (dB) ile gösterilmektedir. EE değeri aşağıda belirtilen formül ile hesaplanabilmektedir (Yılmaz vd. 2018).

$$SE_{dB} = 10 \log_{10} (E_{ekransız}/E_{ekranlı})$$



Şekil 2.1 “ t ” kalınlıklı duvarın kalkanlama etkinliği (Dağ 2010).

Yukarıdaki denklemde A ile belirtilen yutulma kaybı; R ile belirtilen yansıma kaybı ve B ile gösterilen ise ikincil yansıma etkilerini belirtmektedir.

$$SE = A + R + B \text{ [dB]}$$

SE değerinin pozitif ve yüksek seviyede olması kalkanlama etkinliğinin iyi olduğunu; negatif olması ise SE' nin rezonans (çınlama) etkisinin olduğu anlamını ifade etmektedir (Dağ 2010).

Şekil 2.1'de görölen duvarın kalkanlama etkisinin göröldüğu bileşenler mevcuttur. Elektromanyetik dalgalar t kalınlığındaki duvarı 3 şekilde zayıflatmaktadır. İlk olarak duvardan yansıma, ikinci olarak duvar içindeki yutulma, üçüncü olarak ise duvar içerisindeki yansıma kayıplarını ifade etmektedir. Manyetik kalkanlama düşük frekanslarda ($f < 30$ MHz) önemlidir. Manyetik kalkanlamada zayıflama, frekansla birlikte artmaktadır. Elektriksel alanda kalkanlama ise yüksek frekanslarda ($30 \text{ MHz} < f$) önemlidir. Tipik Kalkanlama değeri aşığıdaki Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de görölmektedir (Dağ 2010).

Çizelge 2.1 Genel kalkanlama değeri.

Kalkanlama Etkinliği (SE)	10 dB	20 dB	30 dB	60 dB	90 dB	120 dB
$E_{dış} / E_{iç}$	%32	%10	%3.6	%0.1	%0.0031	%0.0001
$P_{dış} / P_{iç}$	%10	%1	%0.1	%0.0001	%0.001 ppm	%0.000001 ppm
Kalkanlama Performansı	Kötü (kalkanlama yok)	Alt sınır (düşük kalkanlama)	Ortalama (orta kalkanlama)	İyi (yeterli kalkanlama)	Çok iyi (mükemmel kalkanlama)	Mükemmel (max. kalkanlama)

* E: EM Alan, P: EM Güç.

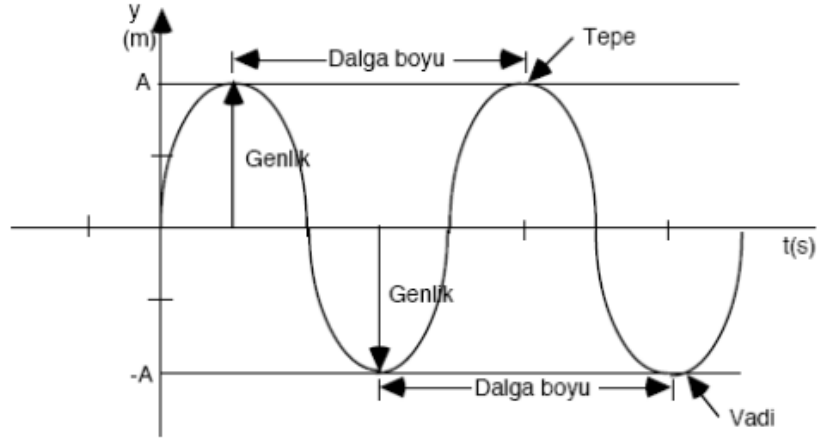
Çizelge 2.2 Elektromanyetik Koruma Etkinlik Değeri.

Frekans (MHz)	1	10	100	300	1000	3000
Koruma Verimliliği (dB)	29.6	29.1	28.5	28.0	27.7	27.3
Azaltma Oranı (%)	%99.89	%99.90	%99.86	%99.84	%99.83	%99.81

2.1.1 Elektromanyetik Dalga

Manyetik ve elektrik alan bileşenleri birbirine dik olan ve bu alanların etkisi altında düzleme dik yönde yayılan enerjinin dalgalar halinde taşınmasıdır. (Doğan vd. 2018). Bu dalgalar boşlukta yayılabilen 300.000 km/s ışık hızına sahip ritmik bir olaydır. Elektromanyetik (EM) dalgaların hızı frekans (f), periyod (t), dalga boyu (λ) arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde gösterilmektedir (Doğan vd. 2018).

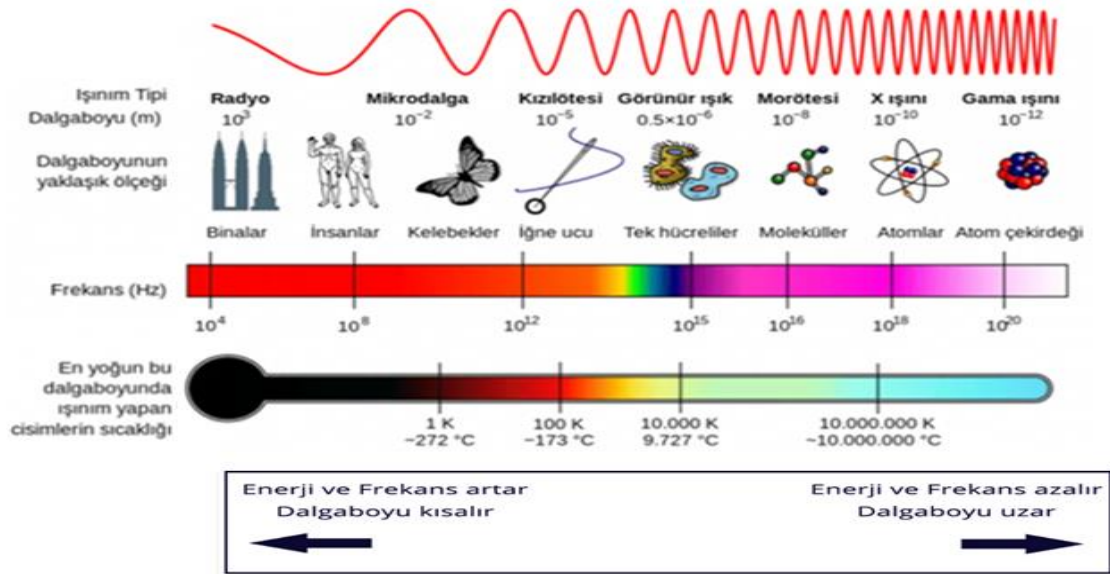
$$\text{Işık Hızı } (3 \times 10^{10} \text{ cm/sn}) = f (1/\text{sn}) \times \lambda (\text{cm})$$



Şekil 2.2 Dalga Yapısı ve Özellikleri (Dağ ve Palamutcu 2009).

Dalganın periyodik olarak yapmış olduğu hareketteki yükselme ve alçalma mesafesine genlik denilmektedir. Dalganın enerjisi ve genlik birbirleriyle doğru orantılıdır. Tüm dalgalar frekansa bağlı olup aslında ters orantılıdır. Dalga boyu arttıkça frekans azalmaktadır (Dağ ve Palamutcu 2009).

Elektromanyetik dalgalar, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür ışık, mor ötesi, x ışınları ve gama ışınları olarak isimlendirilmekte olup dalga boyları, frekansları ve enerjileri Şekil 2.3’ de görülmektedir (Zamanian ve Hardiman 2005).



Şekil 2.3 Elektromanyetik dalgaların sınıflandırılması (elektromanyetik spektrum) (İnt. Kyn. 1).

Radyo dalgaları; elektromanyetik dalga sınıfında yer alan 1 milimetreden uzun olan dalga boyudur. Spektrumda en düşük frekanslı olup, en uzun dalga boyuna sahiptirler. Bu dalgalar elektrik titreşimiyle üretilmektedir. Telefon, televizyon ve radyoda bağlantı kablosuna gerek duyulmadan kullanılmaktadır (Dağ ve Palamutcu 2009).

Mikrodalgalar, 1 mm ile 1 metre arası dalga boylarını kapsayan ışınlardır. Radarlarda, cep telefonlarında, mikrodalga fırınlarda, kablosuz internet erişiminde kullanılmaktadır (Dağ ve Palamutcu 2009).

Kızılötesi, 1 mm ile 710 nanometre arası dalga boylarını kapsayan ışınlardır. Belirli sıcaklığı olan tüm maddelerce üretilebilmektedir (Dağ ve Palamutcu 2009). Örneğin, kısa zamanda ateşli bir hastalığa yakalanıldıysa tahmini 37°C vücut sıcaklığıyla her saniye, etrafa 10 mikrometre dalga boyunda kızılötesi ışının yayıldığı gözlenmektedir (İnt. Kyn. 2).

Görünür Işık, 400 ile 700 nanometre arası dalga boylarını kapsayan ışınlardır. Bu bölgedeki tüm dalga boyları insan gözü tarafından farklı renklerde algılanmaktadır. Bu bölgede en uzun dalga boyunda kırmızı renkte ışıma görülürken, en kısa dalga boyunda ise mor renkte bir ışıma olduğu gözlenmiştir (Dağ ve Palamutcu 2009).

Morötesi (UV), 10 ile 400 nanometre arası dalga boylarını kapsayan ışınlardır. İnsan gözü tarafından görülememektedir. İnsan gözü 400 ile 700 nm arasındaki dalga boylarına karşı duyarlıdır. Başka herhangi bir ışınımı algılaması mümkün değildir. Görebildiğimiz en kısa dalga boyu ışması mor renk olduğundan, daha kısa dalga boyuna sahip ışınlar gözle görülememektedir (Dağ ve Palamutcu 2009).

X Işını, 0.01 ile 10 nanometre arası dalga boylarını kapsayan ışınlardır. Dolayısıyla yüksek enerjili ışma olduğu söylenebilmektedir. X ışınlarının canlı doku ve organizmalara zarar vermemesi ve öldürücü etkiye neden olmaması için gereksiz yere maruz kalınmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir (Bertin 1975).

Gama Işınları, 0.01 nanometreden daha küçük dalga boyuna sahip ışımalardır. Spektrumda en yüksek enerji bölgesi olarak bilinmektedir. Yüksek derecede girginlik özelliğine sahip ışınlardır. Bu yüzden gama ışınları, canlılar üzerinde yıkıcı etkilere sahiptir. Radyasyon olan bölgelerde çalışan kişilerin iyi soğurucu olan, kurşun temelli üretilmiş koruyucu ekipmanlar tercih etmeleri önerilmektedir (Bertin 1975).

2.1.2 Elektromanyetik Alan

Hareketli ve elektrik yüklü taneciklerinden doğan 2 bileşenli elektromanyetik enerji barındıran kuvvet alanına elektromanyetik alan denmektedir (Tamam vd. 2016). Bu iki bileşen; elektrik alan (EA) ve manyetik alandır. (MA)

2.1.2.1 Elektrik Alan ve Elektromanyetik Alan

Manyetik alan, elektriksel yükler hareket ettiğinde, yani içlerinden bir elektrik akımı geçtiğinde ortaya çıkmaktadır. Örnek verilecek olursa, bir ampul yandığında güç kablosundan ampule giden akımın neden olduğu bir manyetik alanın yanı sıra bir de elektrik alanı vardır. Manyetik alanlar için, uluslararası birim kabul edilen, manyetik akı yoğunluğu birimi tesla (T) olarak kullanılmaktadır. Genelde mikrotelsa (T) olarak gösterilmektedir. Manyetik alanlar Gauss (G) birimi ile ifade edilmektedir. Elektromanyetik alan (EMA), elektrik ve manyetik alanların birleştirilmiş halidir. Akım

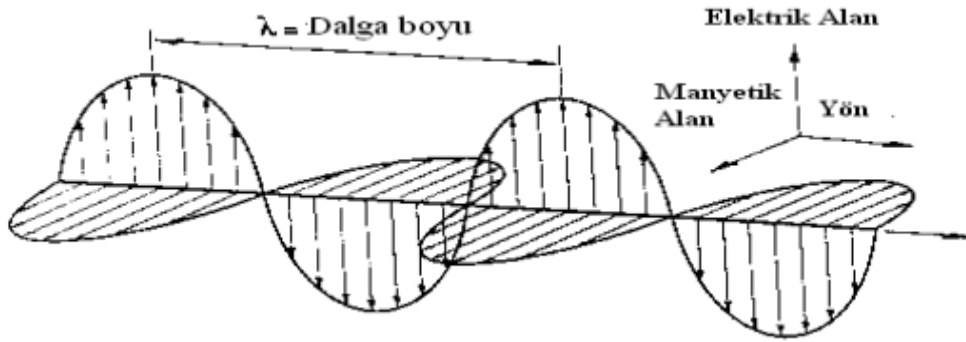
yükseldikçe manyetik alan da yükselmektedir. Elektrik alanında olduğu gibi, manyetik alan şiddeti mesafe ile hızla azalmaktadır. Bu durumda elektrik ve manyetik yayılım, ışık hızıyla birlikte değişim göstermektedir. Frekansları ve dalga boyları elektromanyetik alanların en önemli özellikleridir. “Frekans”, titreşimler yoluyla dalgaların ortamda yayılmasıdır. Saniyedeki frekansı ve titreşimleri ölçmek için Uluslararası ölçü birimi olan Hertz (Hz) kullanılabilmektedir. Dalga boyu, ise titreşimlerin 1 saniyede oluşturduğu uzaklıktır. Frekans ne kadar artarsa, dalga boyu o kadar azalır ve bu doğrultuda enerji yükselir (Anonim 2010).

Elektrik alan, bir elektrik yükünün varlığı mevcut tüm diğer yükler üzerinde oluşturduğu elektriksel kuvveti temsil edilmektedir. Elektrik yükleri (şarj) bir elektrik alanı oluşturmaktadır. Elektrik alanını oluşturan, elektrik yüklerinin varlığıdır. Bu nedenle, şebekeye bağlı bir lambanın içerisinden akım geçerken yanmasa bile bir elektrik alanı oluşturacaktır. Cihazın besleme gerilimi ne kadar yüksek olursa, elektrik alanı da o kadar yüksek olacaktır. Elektrik alan şiddeti birim (V/m) olarak gösterilmektedir. Elektrik alan şiddeti, kaynağından uzaklaştıkça hızla azalmakta ve basit yalıtkan cisimlerle engellenebilmektedir (Anonim 2010).

Çizelge 2.3 Elektrik alan ve Elektromanyetik alan karşılaştırması (Dağ ve Palamutcu 2009).

Elektrik Alan	Elektrik alan şiddeti voltajla birlikte artar. Ölçü birimi (V/m)'dir. Cihazlar kapalı iken bile cihazın içerisinde zarar verebilecek voltajları mevcuttur. Kaynaktan uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti azalır. Bina yapı materyallerinin geneli elektrik alanında yalıtım etkisi oluşturabilir.
Elektromanyetik Alan	Akım arttıkça manyetik alan şiddeti artar. Ölçü birimi (A/m)'dir. Ayrıca microtesla (μT) veya millitesla (mT) birimleri de kullanılır. Manyetik alan oluşabilmesi için bulunulan yerde elektrik akımının olması gerekir. Bu durumda cihaz açık halde olması gereklidir. Mesafe arttıkça manyetik alan şiddeti azalır. Manyetik alan şiddetini azaltan materyal sayısı en önemli etkidir.

Elektrik alanlarıyla ilgili dikkat çekilmesi gereken nokta, yalıtkan ufacık bir engelin bile (apartman, ağaç vb.) elektrik alanı ile engelliyor olmasıdır. Yüksek frekanslı elektromanyetik alanların dalga boyları daha kısadır (Trosicand ve Pavicic 2009). Dünya'nın dört bir yanında kuzey-güney doğrultusunda uzanan, kuşların ve balıkların rotalarının bulmalarına fayda sağlayan fakat insanların göremediği dalgalardan oluşmaktadır (Dağ ve Palamutcu 2009).



Şekil 2.4 Elektromanyetik Alan.

Çizelge 2.4 Elektromanyetik Alan Kaynakları (Koklukaya vd. 2017).

Doğal EM Kaynaklar	Güneş
	Bazı uzak yıldızlar
	Yıldırımlar (Atmosferik deşarj)
Doğal Olmayan EM Kaynaklar	Televizyon ve bilgisayarlar
	Elektrik akımı taşıyan yeraltı ve yer üstü
	Elektrik hatları
	Elektrikli ev aletleri
	Mikrodalga fırınlar
	Radyo ve televizyon vericileri
	Telsiz haberleşme sistemleri
	Kablosuz telefonlar
	Hücresel telefon sistemleri (cep telefonları Baz istasyonları)

Genellikle doğal elektromanyetik alanların frekansı 0 Hz'dir. Bu elektromanyetik alanlara da statik alan denilmektedir (Tamam vd. 2016). Doğal elektrik alanların ve doğal elektromanyetik alanlar dışında insanların yapmış olduğu kaynaklardan çıkan elektrik ve elektromanyetik alanlar günlük yaşamımızın tümünü kapsamış bulunmaktadır. Yaşam kalitemizi yükselten, ev ve iş yerlerinde kullanılan bluetooth cihazları, wifi'ler, cep telefonları, baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, radyo frekans dalgaları, televizyon antenleri, düşük ve yüksek frekanslı elektrikli ev aletlerinin çoğu elektromanyetik dalga kaynağıdır.



Resim 2.1 Zararlı elektromanyetik kaynaklar (Yılmaz 2013).

EMA, frekanslarına göre 3 farklı şekilde incelenmektedir.

Bunlar; non-iyonize (iyonlaştırıcı olmayan), iyonize, iyonize partiküllerdir.

a) İyonize; X ışınları, Gama ışınları, Kozmik ışınlardır.

Sağlık alanında tedavi amaçlı kullanılmaktadır. X ışınları yüksek dozda uygulanması sonucunda doku ölümü, cilt yanıkları ve kanser gibi birçok hastalıklara neden olduğu bilinmektedir (Kılıçkap, Erdiş 2013).

b) Non iyonize; Radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlarıdır. Mikrodalga fırın, saç kurutma makinesi gibi sıklıkla kullanılan elektrikli ev cihazları, televizyon ve bilgisayar ekranları, uydu iletişim sistemleri, radyo ve televizyon istasyonları, cep telefonları ve baz istasyonları non iyonize elektromanyetik radyasyonuna örnek verilmektedir (Kılıçkap, Erdiş 2013).

c) İyonize Partiküller; Beta parçacıkları, alfa parçacıkları nötronlardır.

- Alfa parçacıkları: 2 proton ve 2 nötrondan oluşan ve pozitif yüklü bir helyum çekirdeğidir. İnsan vücudundaki ölü deri tabakası gibi ince maddeler tarafından engellenebilmektedir. Alfa parçacıkları, sadece ağız yolu ile vücuda girdiğinde veya solunması halinde insan sağlığına zarar verebilmektedir (Yaren, Karayılanoglu 2005).

- Beta parçacıkları: Çekirdekteki fazla enerji, çekirdeğin etrafında bir kütle oluşturur ve bu kütle çekirdekte fazladan bir yük alıp bir beta ışını olarak çıkmaktadır. Alfa parçacıklarından daha az madde ile etkileşime girerler ve bu nedenle maddenin daha derinlerine nüfuz edebilmektedirler. Metal ya da plastik gibi maddeler tarafından engellenebilmektedir. Ağız yoluyla vücuda girdiğinde veya solunduğunda sağlık açısından tehlikeli olabilmektedir (Yaren, Karayılanoglu 2005).

- Nötronlar: Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Burada özellikleri nedeniyle herhangi bir maddeye nüfuz edebilmektedir. Doğrudan iyonizasyona neden olmazlar. Ancak atomlarla etkileşimleri iyonlaşmaya neden olabilmektedir. Elektrik yüklü olmadıkları için madde ile zayıf etkileşir, bu nedenle de maddeye kolayca nüfuz edebilirler (Yaren, Karayılanoglu 2005).

2.1.3 Elektromanyetik Kirliliğin Etkisi

Elektromanyetik kirlilik, günlük yaşantımızda veya çevremizde bulunan elektromanyetik dalgaların yoğunluğundan kaynaklanan kirlilik olarak kabul edilmektedir. Elektromanyetik kirlilik, yaşam alanlarımızda bulunan elektrik akımı taşıyan kablolar, radyo frekans dalgaları yayan radyo ve televizyon vericileri, cep

telefonları, baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, trafolar, mikrodalga yayan ev aletlerinin meydana getirdiği dalgalar, tüm canlılar üzerinde tehlike oluşturan elektromanyetik alanlardır (Köklükaya, Selvi 2015).

Elektromanyetik alanların insan vücudu üzerindeki etkilerini en aza indirmek için aşağıdaki yöntemler önerilmektedir.

- Elektrikli aygıtların aynı yerde ve birbirlerine çok yakın konumda kullanılmaması.
- Elektrikli aygıtların uzun süre kullanılmaması.
- Elektromanyetik dalgalara karşı koruyucu ürünlerin, tekstil malzemelerin kullanılması.
- Yararlı besinlerin tüketilmesi (Protein, A ve C vitaminleri vb.) gerekmektedir (Dağ ve Palamutcu 2009).

2.1.3.1 Elektromanyetik Kirliliğin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Elektromanyetik spektrumun non iyonize alandaki elektromanyetik dalgalar, çevreye ısı şeklinde enerji vermektedir (Eren 2014). Başka bir deyişle, radyo frekanslı elektrik alanına maruz kalan canlı bir organizma elektrik alanındaki yüklü parçacıklara, onları hareket ettirmek için bir kuvvet uygular ve bu harekete gösterilen direnç ise ısıyı oluşturmaktadır (Kılıç vd. 2014).

EM radyasyonun vücut tarafından emilmesi sonucunda vücut ısısı dirence ve diğer değişkenlere bağlı olarak 0.25 ile 2 dereceye kadar artış gösterebilmektedir. Vücutta hastalık görülmeden artan bu ısı, organizma içerisinde oluşmasından dolayı vücudun ısı algılayıcısı olan deri, bu ısı değişimini algılayamadığı için vücut ısı sistemi olumsuz olarak etkilenecektir (Şeker ve Çerezci 2000, Kılıç vd. 2014, Şeker ve Çerezci 1997). Dolayısıyla vücudun bağışıklık sisteminin sürekli olarak çökmesi kanser riskini arttıran bir etken olmaktadır. Bu durum ise tıp tarafından kabul görülen bir hastalık sebebi olarak değerlendirilmiştir. (Şeker ve Çerezci 2000).

Yapılan çalışmalarda EMA'nın lösemi, lenfoma, glioma, testiküler kanser, meme kanseri ve göz tümörlerine kadar yol açabileceği söylenmiştir. Bunun dışında nörolojik rahatsızlıklara da yol açtığı araştırmalarca mevcuttur. Örneğin; uyku kalitesinde azalma,

hafıza sorunları, konsantre olamama, öğrenme güçlüğü ve ilerisinde de Alzheimer'e sebep olduğu belirtilmektedir. Fetal ve erken çocukluk döneminde non iyonize radyasyona maruz kalan çocuklarda; otizm, öğrenme bozuklukları, davranış problemleri ve hiperaktivite için bir risk faktörü olarak görülmektedir (Tamam vd. 2016).

Elektromanyetik radyasyonun, insan dokusu ile etkileşiminin bir ölçütü olan ‘‘ Özgül Soğurma Oranı’’ (SAR Specific Absorption Rate) ortaya çıkmaktadır. Özgül Soğurma Oranı (SAR), elektromanyetik enerjinin vücut dokusu tarafından emilme oranıdır. Birimi W/kg'dır.

$$[SAR \text{ (Watt/kg)}, \text{Enerji (Joule) } / \text{ K\u00fctle (kg) } \times \text{ Zaman (saat)}]$$

Olarak hesaplanmaktadır (Dizdar 2004).

Yani; diğ er bir deyişle SAR dokularda emilen ve ısıya d on      r  len g  c u temsil etmektedir. şimdiye kadar yapılmış olan araştırmalar, insan v ucudundaki sıcaklığın 1 derecelik artışını d uzenleyemediğini ve sorunlara neden olduğunu irdelemiştir. (Eren 2014). İnsan v ucudundaki 1 derecelik artışı için 1kg doku başına 4 W g  c emilmesi gerekmektedir. İş hayatında 10 kat, günlük yaşamda ise 50 kat güvenlik payı esas alınmıştır. Limit değerlerde, iş yerleri için 0,4 W/kg, yaşam alanları için 0,08 W/kg olarak tanımlanmıştır. SAR   l  m  nde dokudaki elektrik alan şiddetini ölçmek gerektiğinden SAR oranını doğrudan ölçmek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle limit değerler ölçülebilir büyüklükte oldukları için, elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve g  c yoğunluğu ölçülebilir olarak tanımlanmaktadır (Eren 2014).

Limit SAR değerleri ile ilgili Avustralya/Yeni Zelanda'da RCM, Avrupa'da CE, ABD'de Federal Communications Commission (FCC) ve Kanada'da IC limitleri standart olarak alınabilmektedir. ABD' de, FCC tarafından yürütülen çalışmada, insanların SAR değerine maruz kalma sınırları belirlenmiştir. FCC'nin çalışmasına göre işletmelerin cep telefonu   retimi için referans olarak kullanmaları gereken SAR değerı kilogram doku başına 1,6 W/kg'dır. SAR değerı, etkilenen dokuların şekli ve yapısından, topraklama durumundan ve ortamın iletkenliğinden etkilenmektedir. 100 kHz ve altındaki frekansların çocuklarda kan kanseri riskinin arttırdığı gözlenmiştir. 100 kHz-

300 GHz frekans aralığında elektromanyetik alana maruz kalma nedeniyle vücut sıcaklığındaki artışın 1°C' nin altında olduğu, 30 dakika boyunca vücutta 4 W/kg'dan daha az bir SAR değeri yaratacak ve daha yoğun EMA canlı dokularına zarar verecek ısınmalara sebep olabilmesi yapılan çalışmalarla gözlenmiştir.

Frekansa bağlı olarak elektromanyetik ısıma eşik değerleri, akım yoğunluğu, SAR ve güç yoğunluğu kullanılarak belirlenmiştir. Akım yoğunluğu eşik değeri; 1Hz-10MHz aralığında sinir sistemi üzerindeki etkilere karşı koruma sağlamak ve akım yoğunluğu SAR cinsinden 100kHz-10GHz aralığında dokuların aşırı ısınmasını önlemek ve güç yoğunluğu cinsinden 10GHz-300GHz aralığında dokuların ve vücut yüzeyinin aşırı ısınmasını önlemeyi amaçlamaktadır (Doğan vd. 2018).

2.2 Ekranlama (Kalkanlama)

Ekranlama (kalkanlama) terimi genellikle bir elektronik ürünü veya o ürünün bir kısmını tamamen içine alan metalik bir koruyucu ile muhafaza etmesi olarak tanımlanmaktadır (Clayton 2006).

Ekranlama, frekansa bağlı olarak üç farklı bölgede değerlendirilmektedir.

a. İlk olarak manyetik alan ekranlamasıdır. Bu ekranlama 30 MHz'den düşük olduğunda etki göstermektedir. 100 kHz'in altında ekranlama yapabilmesi için, içeriğindeki demir oranının yüksek olması yada manyetik geçirgenliği yüksek olup, çok kalın bir kalkanlama materyali kullanılması gerekmektedir. Bu alanda delikler ve açıklıkların pek de bir önemi yoktur. Ekranlama materyalinin kalınlığı ve manyetik geçirgenliğinin artması ekranlamayı da arttırmaktadır.

b. İkinci olarak elektrik alan ekranlamasıdır. Bu ekranlama 30 MHz'in daha yüksekinde etkilidir. Ekranlamayı ince metalik materyallerden yapmak mümkündür. Elektriksel bütünlük çok iyi sağlanmalıdır. Bunun için, ekranlama yapısı içinde birbirine temas halinde olan metalik malzemeler arasındaki bağ direncinin düşük olması gerekmektedir. Bu alanda açıklıklar ve delikler önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda 10 MHz'e kadar olan malzemelerde ve 10 MHz'in üzerindeki bağlantılarda, ekranlama etkinliğini

belirlediği söylenmektedir. Bakır, magnezyum, alüminyum, nikel, gümüş vb. iletkenler kullanarak yüksek ekranlama sağlanabilmektedir.

c. Üçüncü olarak ise, düzlem dalga ekranlamasıdır. 300 MHz'in üzerinde olduğunda etkilidir. Ekranlama yapısındaki mühim etken bütün unsurların bağlantıları çok iyi, sıkı, sağlam ve düzgün olmasıdır.

EE için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, manyetik kalkanlama da ferromanyetik materyallerden yapılmış filtrelerle sağlanmaktadır (Eren 2014).

Genel ve profesyonel kullanım için elektromanyetik koruma etkinliği değerleri aşağıdaki Çizelge 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Genel kullanım alanlarında elektromanyetik koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesi (Mısıtık vd. 2012).

Derece	Elektromanyetik Koruma Etkinliği Yüzdesi	Elektromanyetik Koruma Etkinliği (SE)
(5) Mükemmel	> % 99.9	SE > 30 dB
(4) Çok İyi	% 99.9 - % 99	30 dB > SE > 20 dB
(3) İyi	% 99 - % 90	20 dB > SE > 10 dB
(2) Orta	% 90 - % 80	10 dB > SE > 7 dB
(1) Başarısız	% 80 - % 70	7 dB > SE > 5 dB

Çizelge 2.6 Profosyonel kullanım alanlarda için elektromanyetik koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesi (Mısıtık vd. 2012).

Derece	Elektromanyetik Koruma Etkinliği Yüzdesi	Elektromanyetik Koruma Etkinliği (SE)
(5) Mükemmel	SE > % 99.99999 SE	SE ≥ 60 dB
(4) Çok İyi	% 99.9999 ≥ % 99.999	60 dB ≥ SE > 50 dB
(3) İyi	% 99.999 ≥ SE > % 99.99	50 dB ≥ SE > 40 dB
(2) Orta	% 99.99 ≥ SE > % 99.9	40 dB ≥ SE > 30 dB
(1) Başarısız	% 99.9 ≥ SE > % 99.0	30 dB ≥ SE > 20 dB

2.3 Tekstil Malzemeleri İle Kalkanlama

Elektromanyetik dalgalar yaşamımızın her alanında var olup, insan vücudunu etkilemeye hızla devam etmektedir. Vücudumuzu bu etkilerden korumak için çeşitli ürünler kullanılmaktadır. ICRP tarafından 1960 yılında kurulan anti radyasyon

standardına bağlı, polimer teknolojileri kullanılarak oluşturulan tekstil yapıları geliştirilmiştir. Tekstil yzeyi, kaplanmış kumaş, elik lif, bitkisel lif ve diğer mevcut polimer teknolojisi kullanılarak oluşturulan tekstil yapıları örnek verilebilmektedir. Bu zel fiber yapıları sayesinde çeşitli frekans aralıklarında elektromanyetik koruma etkinlik yzdesi %99'un üzerinde olduğu bilinmektedir.

Gelişen teknolojiler ve üretilen materyaller sayesinde kullanım alanlarına göre farklı tekstil yapıları retilenmektedir. Kalkanlama yzeyi olarak kullanılabilen birçok farklı tekstil ürünleri oluşturulabilmektedir. Bitkisel lif veya sentetik lif içeren farklı dokuma veya örme kumaşlar arasından tercih yapılabilir. Bu kumaşlarla perdeden cibinliklere, bebek kıyafetleri ve i amaşlarına, iş elbiselerine, yatak örtülerine ve özellikle askeri ve teknik uygulamalarda kullanılan koruyucu giysilere vb. gibi ekranlama yzeyi olarak kullanılabilen çeşitli tekstil ürünleri geliştirmek mümkün hale gelmektedir (Yılmaz 2013).

2.4 Elektromanyetik Kalkanlama zelliği Olan Malzemeler

Kalkanlama amacı ile kullanılacak materyallerin elektrik iletkenliği mümkün oldukça iyi olmalıdır. Elektromanyetik dalgaların malzeme içerisine penetrasyonunu en aza indirmek bu yzden önem taşımaktadır (Yılmaz 2013).

Kalkanlama amacıyla tercih edilen materyaller 3 farklı kategoride yer almaktadır.

- a. Yüksek performanslı malzemeler; elik, bakır, paslanmaz elik gibi malzemelerden oluşan tekstil yapıları ya da metal kaplı kutu vb. (80-120 dB ekranlama etkinliği)
- b. Standart performanslı malzemeler; İletken metal yzeyli yapılar ya da metal parçaları içeren plastikler vb. (20-40 dB ekranlama etkinliği)
- c. Zayıf performanslı malzemeler; metal özelliği kazandırılmış kumaş yapıları, iletken kağıt malzemeler vb. (15-30 dB ekranlama etkinliği) (Dağ ve Palamutcu 2009).

Bu durumda 30 dB etkinlik değeri ortalama değer olarak kabul edilirken, 40 dB ekranlama etkinliği birçok sorunun çözülebildiğini göstermektedir. Telefon kabloları için ise 80-90 dB kalkanlama etkinliği istenirken, askeri sistemlerde 100-120 dB

kalkanlama etkinliği istenebilmektedir (Kaya ve ifci 2017). (izelge 2.1' de tabloda gösterilmiştir.)

Elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip malzemeler aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

1. Klasik Malzemeler: Elektromanyetik kalkanlamada yaygın olarak tercih edilen materyaller; metal levha, metal ağ ve metal köpük olarak sıralanabilmektedir. Bu tip malzemeler radyo dalgaları, görünür ışık, elektromanyetik ve statik elektriğin etkilerini azaltmaktadır.

Bu azalma miktarı;

- Tercih edilen malzemenin cinsine
- Ekranı oluşturan kısımların bir araya getirilme durumuna
- Elektromanyetik dalgaların frekansına bağlıdır.

İletken yapıdaki tekstiller elektromanyetik radyasyona karşı iyi bir kalkanlama malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Bu tarz tekstil ürünlerine elektriksel olarak iletkenlik özelliği kazandırabilmek için,

- Polimerler ve iletken kompozit malzemeler
- İletken boyalar
- Elektriksel iplik ve kumaşların kullanılmasıyla uygulanmaktadır (Yılmaz 2013).

2. Kompozit Malzemeler: Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla malzemenin makro düzeyde bir araya getirilmesiyle farklı türdeki malzemelerden veya fazlardan oluşan bir yeni özelliklere sahip malzeme sistemidir. Kompozit malzemeler metallere göre daha üstün özellikler sergiledikleri için kompozit malzemelerin kullanımları her geçen gün daha da artmaktadır. Kompozitlerin düşük özgül ağırlığı, bu malzemelerin hafif yapılarda kullanılmasında büyük bir kazanç sağlamaktadır. Üstelik fiber takviyeli kompozitlerin korozyon direnci, ısı ses ve elektrik yalıtım özellikleri de ilgili kullanım alanlarına avantaj sağlamaktadır.

Elektromanyetik girişime (EMI) (Electromagnetic Interference) karşı kalkanlamada kompozit kullanımı bir hayli yaygındır. Kompozit kullanımında en çok tercih edilen 2 yöntem; plastik yüzeylerin iletken malzemelerle kaplanması ve polimerlerin iletken dolgu maddeleri ile birleştirilmesi olarak belirtilmektedir (Yılmaz 2013).

3. İletken Polimerler: İletken polimerler veya kendiliğinden iletken polimerler (ICP) organik polimerlerdir. Genelde bu malzemeler termoplastik özelliklere sahip değildir ve işlenmeleri oldukça güçtür (Avloni vd. 2006).

İletken polimerler elektriksel uyarıcıların mükemmel bir şekilde kontrolünü sağlamaktadır. Çok iyi elektriksel ve optik özellikler göstermektedirler. Bunun yanında yüksek iletkenlik ve ağırlık oranına da sahiptirler. Biyouyumlu olup, biyolojik olarak parçalanabilir ve gözenekli hale getirilmeleri mümkündür (Palanisamy vd. 2017). Başlıca iletken polimerler; Poliasetilen, Polifenilen, Polifenilen vinilen Polifenilen sülfid, Polipirrol, Politiyofen, Polianilindir (Bhadra vd. 2009).

4. İletken Boyalar: Katı bileşenli elektro iletken boya, nikel, gümüş, bakır veya grafit tozu gibi iletken dolgu maddeleri ile karıştırılmış akrilik, reçine gibi bağlayıcılardan oluşmaktadır. İletken boyanın kalkanlama özelliği, boyanın kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, işlevsel amaçlar için kalın ve eşit halde dağılım olacak biçimde boya uygulamak önem arz etmektedir. Bu boyalar doğru kullanıldığında elektromanyetik alanlara karşı koruyucu bir kalkanlama vazifesi göstermektedir (Yılmaz 2014).

5. İletken Tekstil Malzemeleri

5.1 İletken Lif/İplik ve Kumaş: İletken tekstiller; iletken lif eldesi, iletken iplik eldesi ve iletken kumaş eldesi olmak üzere üç farklı metotla üretilmektedir. Kendinden iletken lifler doğal olarak iletken olabilmekte veya sonradan çeşitli yöntemlerle iletkenlik kazandırılabilir (Şamlı ve Ünal 2018).

Çizelge 2.7 İletken Liflerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması (Şamlı ve Ünal 2018).

İletken Lifler	
Doğal İletken Lifler Metalik Lifler Karbon Lifleri Konjuge Polimer Lifleri	Sonradan İletkenlik Kazandırılmış Lifler İletken Takviyeli Lifler İletken Kaplamalı Lifler

Metalik lifler, yüksek elektrik iletkenliği ve iyi elektromekanik özelliklerine rağmen, düşük esneklikleri ve yüksek maliyetleri sebebiyle tekstil alanında belirli uygulamalara sahiptir. Sert ve ağır olduğu için işleme özellikleri zayıf ve diğer malzemelerle uyumlu olamamaktadır.

Karbon Lifleri, petrol bazlı olup, yüksek elektrik iletkenliğine, yüksek dayanıklılığa ve sertliğe sahiptir. Ancak uygulamada tekstil yapılarına entegre edilmesinin zorluğu ve sağlık açısından riskleri nedeniyle konfeksiyonda kullanımı sınırlıdır.

Konjuge polimerler, polianilin, polipirol, politiyofen ve poliperinaftalin gibi iletken polimerler endüstriyel uygulamalarda kullanıldığı gibi iletkenlik özellikleri de değiştirilebilmektedir.

İletken takviyeli lifler, polipropilen, polistiren ve polietilen gibi iletken olmayan malzemelere metal tozları, karbon siyahı, karbon nanotüpler veya konjuge polimerler gibi iletken dolgu maddeleri eklenerek üretilir.

İletken kaplamalı lifler, metal, metal alaşımları, karbon siyahı, karbon nanotüp, veya doğal iletken polimerler gibi oldukça iletken malzemelerle kaplanmış liflerdir. Düşük konforları ve yüksek maliyetinden dolayı uygulama alanları sınırlandırılmaktadır (Şamlı ve Ünal 2018).

İletken lifler, iplikler ve kumaşlar, tekstil materyallerinin metal, metal oksitleri, metal tuzları ile kaplanmasıyla elde edilmektedir. Kimyasal kaplama ve yüksek konsantrasyonlu reçine içerisinde bulunan metal partiküllerle işlem yapılması iletken

lifler elde etmek için kullanılan ticari bir yöntemdir. Bir tekstil ürünün orijinalliğı kaybolmadan iletken kaplama ile iletken bir malzemeye dönüştürebilmektedir. Bu kaplama işlemleri, elektriksiz kaplama, buharlaştırma ile biriktirme, püskürtme, iletken polimerlerle kaplama ve karbonizasyon gibi yöntemlerle lif, iplik veya kumaşların her iki yüzeyine (dokuma, örme, dokusuz yüzey) uygulanabilmektedir (Bedeloğlu vd. 2017).

2.5 Tekstil Yüzeylerin Elektromanyetik Kalkanlama Malzemesi Olarak Kullanımı

Tekstil liflerinin metal lifler ile birlikte bükülerek farklı kompozisyonlu iplikler elde edilmiş ve bu ipliklerden örme, dokuma ve nonwoven gibi kumaşlar üretilmiştir. Bu kumaş yüzeylerinin kalkanlama etkinliğinin ölçülmesi hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Kalkanlama ölçümlerinde, takviye edilmiş metal liflerinin kumaş yüzeylerinde dalga boyu, sinyal kaynağı ile arasındaki mesafe, ortam nemliliğı, yüzeydeki iletken liflerin yoğunluğu, geometrik konumu, kumaş katman sayısı ve kumaş kalınlığı gibi faktörlere dayanarak değışkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

2.6 Tekstil Yüzeylerine Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğı Kazandırılacak Yöntemler

a) Yüzeylerin Doğrudan Kaplanması Yöntemi: Tekstil yüzeyine, iletken katkı maddeleri içeren bir solüsyonun köpük kaplama yöntemiyle veya yüzeyin folyo ile kaplanarak uygulanması sağlanmaktadır. Bu yöntemde önemli olan, kaplamada kumaşların olduğundan daha sert hale gelip hareket esnasında deformasyona uğraması en önemli etkindir.

b) Kimyasal Polimerizasyon Yöntemi: Kumaş yüzeyinde, iletken bir polimerin ve çeşitli kimyasal maddelerin birbiriyle sentezlenmesi sonucunda iletken bir yüzey oluşturulmasıdır.

c) Vakum Kaplama Yöntemi: Metalin vakumlu ortamda buharlaştırılması ve kaplanacak yüzeye ulaşan metal atomların, yoğunlaşması ile edilmektedir. Dengeli bir

dağılım için, çözeltinin özellikleri değiştirilip, kontrollü bir süreç elde edilmesi mümkündür.

d) İyon İmplantasyon Yöntemi: Polimerlerin veya metal iyonlarının ışın yoluyla katı bir hedefe hızlandırıldığı, böylece hedefin, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerinin modifiye edilmesi işlemidir (Yılmaz 2013).

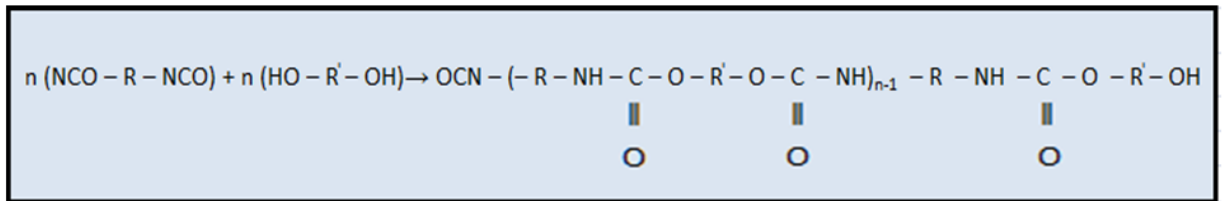
2.7 Katkılı Polimerler ve Tekstil Yüzeyine Kaplama İşlemi

Kaplama, belirli bir viskoziteye sahip sıvı veya polimer bazlı bir bileşiğin tekstil kumaşlarına uygulanması teknolojisidir. Laminasyon ise, bir veya daha fazla tekstil kumaşının yapıştırıcı, reçine ısı veya basınç kullanılmasıyla polimer film, membran veya bir kumaşla birleştirilmesi işlemidir. Kaplanmış kumaşın özellikleri, polimerik malzemenin ve karışımdaki diğer maddelerin özelliklerine, kaplamanın uygulandığı kumaşa ve kaplama işlemine bağlıdır. Günümüzün tercih edilen kumaşları, suni ipek (rayon), poliamid, pamuk, polyester, pamuk/polyester karışımları, cam liflerinden veya ipliklerle dokunmuş, dokuma, örme ve nonwoven kumaşlar kullanılarak yapılmaktadır.

2.7.1 Kaplamada Kullanılan Temel Kimyasal Maddeler

a) Poliüretanlar

Poliüretanlar tipik olarak izosiyanat bağlı ön polimerlerin yanı sıra hidroksil bağlı düşük moleküler ağırlığındaki polieter, poliester, poliamid gibi maddeler tarafından desteklenmektedir. (Şekil 2.6) (Akalin ve Özen 2010).



Şekil 2.5 Üretan Monomeri (Akalin ve Özen 2010).

Poliüretan sentezinde kullanılan izosiyanatlar hammadde olarak kullanılmaktadır. İzosiyanat fonksiyonel grubu içeren bileşiklerin omurgası, alifatik ve aromatik yapılar içermektedir (Topçu 2015).

Çizelge 2.8 Poliüretanların İki Ana Bileşen Tablosu (Anonim 2016).

Alifatik Poliüretanlar	Aromatik Poliüretanlar
• Fiyatları yüksektir	• Fiyatları düşüktür
• Yavaş reaksiyon verirler	• Hızlı reaksiyona girerler
• Solventlere karşı dayanımları azdır	• Solventlere karşı dayanımları fazladır
• Sararma yapmazlar	• Işık altında sararma yapabilirler
• Suya karşı dayanımları azdır	• Suya karşı dayanımları daha iyidirler
• UV ışınlarına karşı çok dayanımlıdır.	• UV ışınlarına karşı dayanımlıdır.

UV ışınlarına dayanıklı alifatik izosiyanatlardan üretilen ürünler, giysi, ayakkabı, el çantaları, naylon ceket ve çadırılık kumaşlarda yüksek oranda kullanılmaktadır. Aromatik izosiyanatlardan hazırlanan polimerler ise çok sert olup, çözücülere karşı mükemmel dirence sahiptir. Endüstriyel kaplamalarda kullanılmaktadır (Akalın, Özen 2010).

b) Binderler (Bağlayıcılar) AC (Saf Akrilik Kopolimerler), S/AC Stiren Akrilik Kopolimerler VA, (Vinil Kopolimerler) PVAc (Polivinil Asetat Kopolimerleri).
Tekstil yüzeyine pigment boyarmaddeler uygulandığında bu boyarmaddelerin liflere tutunmasını sağlayan bağlayıcı bir kimyasal bileşiktir. Liflere tutunur ve pigment partiküllerinin etrafını sararak, film tabakası oluşturmaktadır (Anonim 2016).

	UV DİRENCİ
Butil Akrilat	İyi
Etil Akrilat	İyi
Vinil Asetat	Orta
Akrilonitril	Orta
Stiren	Orta
Bütadien	Kötü
Metil Metakrilat	Mükemmel
Metakrilik Asit	Mükemmel

Resim 2.2 Binderler – Monomerlerin UV Dirençleri (Anonim 2016).

c) Çapraz bağlayıcılar

1. İzosiyonatlar (Alifatik NH_2 – Aromatik NH_2 – Birincil OH – Su – İkincil OH – Üçüncül OH – Fenoldeki OH – COOH)
2. Melaminler (Karboksil- COOH , Hidroksil –OH, Amin-NH)
3. Karbodiimit (Karboksil- COOH ve amin- NH_2)

Avantajları;

- Esnemeyi azaltırlar.
- Suya karşı mukavemeti artırırılar.
- Solventlere karşı mukavemeti artırırılar.
- Çizilme mukavemetini artırırılar.
- Yüzeylere yapışmayı artırırılar.
- Yıkama dayanımını artırırılar.
- Kendisi çapraz bağ yapabilen polimerlerde reaksiyon kabiliyetini artırırılar (Anonim 2016).

d) Kıvamlaştırıcılar (ASE, HASE, HEUR)

- HEUR: Hidrofobik olarak modifiye edilmiş etilen oksit üretan
 - HASE: Hidrofobik olarak modifiye edilmiş alkali çözünür emülsiyon
 - HM-HEC: Hidrofobik olarak modifiye edilmiş Hidroksietil Selüloz (Anonim 2016).
- e) Dolgu maddeleri (Titandioksit, kalsit, silika vb.) (Anonim 2016).**

2.7.2 Kaplamada Kullanılan Polimerler

Polistiren (PS): Polistiren hızlı yanar ve güçlü bir gaz kokusuna sahiptir. Önemli oranda kurum üretmektedir. Asetonlu ortamda hızlıca şişer. UV direnci, darbe direnci ve gerilme direnci iyidir. Düşük maliyete ve kolay işlenebilir özelliğe sahiptir. Ayrıca asitlere, alkalilere ve tuzlara karşı mükemmel bir direnç göstermektedir.

- Erime sıcaklığı 210 - 250 °C'dir.
- Özgül ısısı 1,34 kg/kg °C'dir.
- 1 kg plastiği eritmek için gerekli ısı 268 kJ/kg' dır (İnt. Kyn. 3).

Poliüretan (PU): Poliüretan ürünler, diğer polimerlerin yanı sıra iyi esneklik (yüksek sertlikte bile) ile karakterize edilmektedir. Benzersiz aşınma direnci ve yırtılma mukavemetinin yanı sıra radyasyona karşı çok iyi bir direnç göstermektedir. Poliüretan kullanılmış ürünlerde bozulma görülmemektedir. Poliüretanlar iyi özellikleri sebebiyle UV ışığı ile uygun koşullar altında kürlenme reaksiyonu meydana getirirler (Türel 2013).

Polisülfon (PSU): Polisülfon, mükemmel ısı, kimyasal direnç, tokluk, yüksek sertlik, mukavemet ve iyi elektriksel özellikler gibi yüksek performans özelliklere sahip termoplastik polimer olarak tanımlanmaktadır (Songur ve Acar 2014).

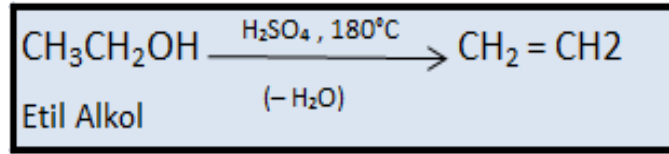
ABS (Akrilonitril Butadien Stiren): UV stabilizatörü gibi katı atık maddeleriyle ürünün direncinin ve ömrünün artmasını sağlamaktadır. Ürün, radyasyona maruz kaldığında oluşabilecek solma ve görünüm bozulması gibi problemleri önlemek ya da azaltmak için ilave edilmektedir.

- Yüksek sertlik
- İyi darbe dayanımı
- İyi yalıtım özellikleri
- İyi aşınma ve esneklik özellikleri
- Yüksek boyutsal kararlılık (mekanik olarak güçlü ve uzun vadeli kararlı)
- Yüksek yüzey parlaklığı ve mükemmel yüzey kalitesi
- Alkalilere ve seyreltilmiş asitlere karşı çok iyi direnç
- Gamma ve X-ray ışınlarına dayanım iyidir (İnt. Kyn. 4).

Polikarbonat (PE): Polikarbonatlar mükemmel derecede ısı sergiler ve alev geciktiricilerle birlikte kullanılmaktadır. Bu direnci bu şekilde daha yüksek bir seviyeye çıkarma gücüne sahiptirler. Darbeye dayanıklı olmaları ve şeffaf yüzeyleri nedeniyle camdan daha sağlam ve dayanıklı materyallerin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca polikarbonatlar camlı güneş gözlüklerinde zararlı güneş ışınlarına karşı %100 UV koruması sağlayabilmektedir. Genelde sera yapılarında, bahçe seralarının, çardakların,

verandaların, terasların ve diğer açık binaların kaplanması güneşten gelen zararlı ışınlardan korumak için polikarbonat kullanılmaktadır (Çırak ve Yakıncı 2020).

Polietilen (PE) : Polietilen petrolden üretilen bir termoplastik bir polimerdir. Polietilen 2 ana gruba ayrılır. Düşük yoğunluklu polietilen (Low Density Polyethylene-LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilendir. (High Density Polyethylene-HDPE)



Şekil 2.6 Polietilen Monomeri (Akalin ve Özen 2010).

Polietilenlerin genel karakteristik özellikleri şöyledir:

- Üstün dielektrik özelliklerine sahiptir.
- Çevre koşullarına dayanıklıdır.
- İşlenebilirliği kolaydır.
- Radyasyon ve UV dayanımı iyidir.
- Çok iyi aşınma dayanımı vardır.
- Nem, asit, yağ, gres ve solventlere dayanıklıdır.
- Yorulma ve yırtılma dayanımı mükemmeldir.

Polietilen genellikle serttir, çok iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Düşük sürtünme katsayısı ve neredeyse sıfıra yakın nem emme özelliği mevcuttur. İşlenmesi kolaydır. -4,5 °C ile +90 °C arasında çalışma sıcaklığına sahiptir. Yumuşaklığın önemli olduğu yerlerde düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), sertlik ve yüksek esnekliğin gerekli olduğu yerlerde yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılmaktadır (Demirci 2009). Düşük yoğunluklu polietilen birçok endüstri uygulamalarında tercih edilmektedir. Örneğin; urgan, halat, çeşitli filtrasyon ürünleri ve koruyucu elbiselerde kullanımı mümkündür. Kimyasal maddelere karşı dayanıklı olmaları, düşük sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmemeleri sebebiyle denizcilikte kullanılan ağ ve halatlar ya da iç mekan duvar kaplamaları, mobilya yüzeyleri, otomobil koltukları,

perdelere, koruyucu giysiler gibi ürünlerin yapımında üstünlük sağlamaktadır (Akalin ve Özen 2010).

Polietilen, yalıtım özelliğinden dolayı kablo ve tel kaplamalarında da kullanılmaktadır. Polietilen UV ışığına maruz kaldığında iyi bir direnç göstermektedir. Örneğin, kablo yalıtımı için polietilene %2-5 karbon siyahı eklenerek polietilen izolasyonu daha dayanıklı hale getirilmesi mümkündür (Demirci 2009).

Yüksek sertlik ve mukavemetin gerekli olduğu yerlerde yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmaktadır (Akalin ve Özen 2010). LDPE'ye göre çekme mukavemeti yüksektir. Ancak darbe dayanımı daha düşüktür. Suya ve kimyasallara karşı mükemmel bir dirence sahiptir. Dış mekan dayanıklılığı LDPE kadar iyi değildir. Isı direnci 100°C'nin üzerindedir. Basıncılı borular, gaz dağıtım boruları, şişeler, bidonlar, variller, ev aletleri ve makine parçaları, izolatörler, oyuncaklar, elektrikli ev aletleri, korozyona dayanıklı dış mekan duvar kaplamaları, boru flanşları, kimyasal fabrikalarda, kıyafetler ve radyasyondan korunma kalkanları olarak üretim yapılmaktadır (Erdem 2008).

Polyester (PES) : Polyesterler günümüz endüstrisinde kullanılan önemli polimerlerden bir tanesidir. En basit haliyle polyester, bir glikolün (veya dialkolün) difoksiyone karboksilli asit (veya diasit) ile polikondenzasyon reaksiyonu ile üretilen moleküllerdir. Glikollerin ve diasitlerin kombinasyonları nedeniyle yüzlerce polyester mevcuttur. Ancak sadece bir düzine kadar ticari bir öneme sahiptir. İnşaat, otomotiv, denizcilik, ambalaj, mobilya veya tekstil gibi hayatımızın çeşitli yerlerinde kullanımı mevcuttur. Örneğin polyesterler; kumaşlar, halılar, lastik kordonları, tıbbi aksesuarlar, emniyet kemerleri, elektronik eşyalar, ambalaj malzemeleri, şişeler vb. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Polyesterler tipik olarak mükemmel kimyasal dirence, nispeten düşük su emilimine ve mükemmel gerilme ve elektriksel özelliklere sahip kristal termoplastiklerdir. Kimyasal yapılarına, kullanılan katkı maddelerine veya işleme koşullarına bağlı olarak şeffaf veya opak olabilmektedir (Schiers ve Long 2003).

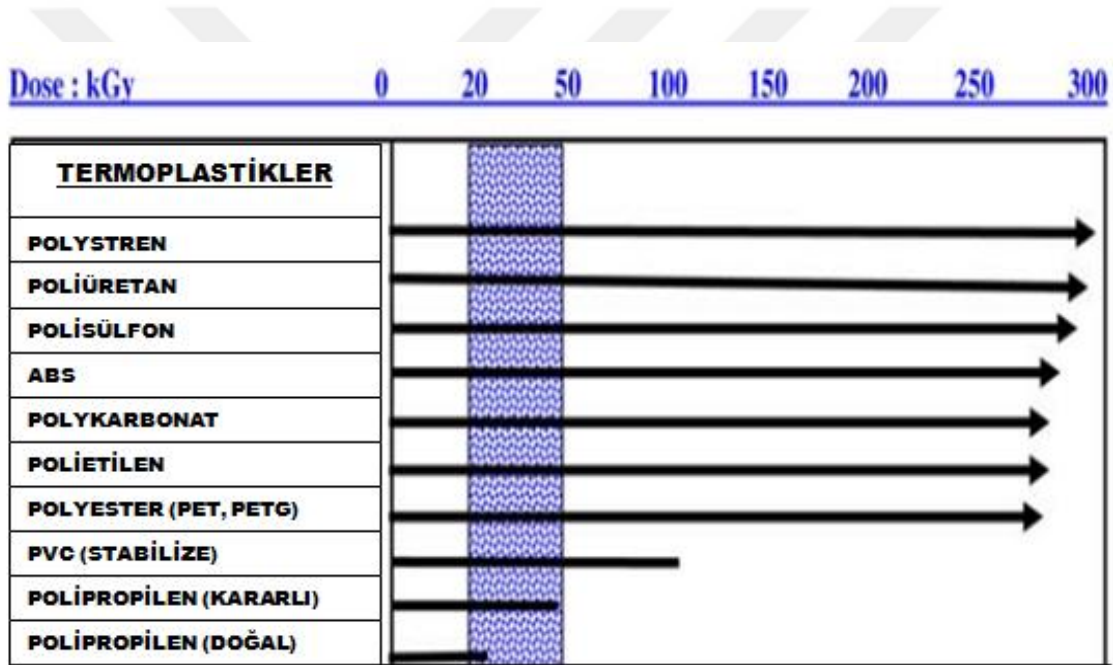
PET (Polietilen tereftalat) polyester ailesi reçinelerinden bir termoplastik reçinedir. PET, farklı kimyasal yollarla sentezlenebildiği gibi sonrasında da farklı ısıl işlemler

yapılarak üretim sağlanabilmektedir. PET tamamen amorf bir yapıya sahip olup, yarı kristal bir formda da bulunabilmektedir. Termoplastik bir polimer olarak, üretim sürecinden sonra fiziksel yapısı ne olursa olsun ek ısı ile işlemle değiştirilip, geliştirilebilmektedir. PET plastiklerinin %45'i elyaflara ilave edilerek kullanılmaktadır. Elyaf olarak üretilen PET, perdelerde, giyimde, döşemelik kumaşlarda ve endüstriyel filtreleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. PET polimeri genelde fotoğraf filmlerinde, manyetik ve X-ışını bantlarında ve elektrik yalıtımı uygulamalarında radyasyona karşı önleyici olarak da kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 5).

Polivinil Klorür (PVC) : Yüksek moleküler ağırlıklı olup, vinil klorür monomerinden elde edilen bir polimer olarak bilinmektedir. Petrol türevi olan etilen, polivinil klorürün ana bileşeni olarak kabul edilmektedir. Vinil klorür monomeri, etilenden ($\text{CH}_2\text{-CH}_2$) bir hidrojen iyonunun uzaklaştırılması ve bunun yerine bir klor atomu bağlanması ile ($\text{CH}_2\text{-CHCl}$) elde edilmektedir. Vinil klorürün hafif kokusu olmasıyla birlikte yanıcı bir gaz olarak da bilinmektedir (Ormancı 2007). PVC'nin ilgi görmesi; düşük maliyeti, mükemmel fiziksel özellikleri, katkı maddeleri ile benzersiz kombinasyonu ve çok çeşitli uygulamalar için kullanılmasıdır. PVC için en yaygın olarak kullanılan dolgu maddeleri kalsiyum karbonat, silika ve barit dolgu maddeleridir (Akalin, Özen 2010). Polivinil klorürün en önemli özelliklerinden birisi yanmaya karşı dirençli olmasıdır. Bu özellik yapısında bulunan klordan kaynaklanmaktadır. Polivinil klorür yandığı zaman, yapısındaki klor atomları açığa çıkmaktadır. Bu durumda yanmayı baskılamaktadır (Ormancı 2007). Polimerin klor içermesi ile güç tutuşurluk özelliği gelişmektedir (Akalin, Özen 2010).

Polivinil klorür kullanımının avantajı olduğu kadar dezavantajı da vardır. Özellikle PVC, kinetik enerjiye maruz kaldığında yani ısıtıldığında veya doğrudan UV ışığına maruz kaldığında C-H ve C-Cl bağlarında kopmalara sebep olduğu görülmektedir. Böylece H^+ ve Cl^- iyonları serbest kalarak hidroklorik asit gazı açığa çıkmaktadır. Dolayısıyla plastik malzemeyi asidik bir hale getirdiği görülmektedir. Bu durumda ise, Dünya Sağlık Örgütü, yaşam alanlarında HCl gazının açığa çıkmasındaki artışın, kanserojen etkilerinin olduğu ve insan sağlığına zararlı olduğunu açıklamıştır (Kavlak 2019).

Polipropilen (PP) : Polietilen ve polivinil klorürden sonra en çok üretilen plastiklerden biridir. Polipropilen; düşük yoğunluk, yüksek ısıl kararlılık, yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıkta işleme kolaylığı, toksik olmaması ve yüksek parlaklık gibi birçok avantajından dolayı plastik sektörünün en popüler ürünlerinden biridir. Ancak, büzülme oranı, düşük sıcaklıktaki zayıf darbe dayanımı, kolay aşınma, düşük UV direnci ve yüksek termal genleşme özellikleri gibi dezavantajları yapı malzemelerindeki uygulamalarını etkilemektedir. PP'ye katı inorganik dolgu maddeleri eklemek, plastik endüstrisinde üretim maliyetini azaltmak, tokluğu, rijitliği, boyutsal kararlılığı ve termal performansı iyileştirmek için yaygın bir uygulama olarak kullanılmaktadır (Şimşek ve Uygunoğlu 2018).



Şekil 2.7 Kaplamada Kullanılan Polimerlerin Radyasyona Gösterdikleri Direnç (İnt. Kyn. 6).

3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında kaplama yöntemi olarak, kimyasal polimerizasyon yöntemi kullanılmıştır. Yapılan kaplama yöntemiyle, kumaşlara yardımcı kimyasal ürünler uygulanmıştır. Pamuk kumaş numunelerinin üzerine uygulanmış katkı polimer ve yardımcı malzemelerden B_2O_3 içerikli kumaş numunelerinin kalınlıkları mikrometre cihazı ile ölçülmüştür. 5cm X 5cm kesilmiş numunelerin her biri için kumaşların her bölgesinden değerler alınıp ortalaması alınarak kumaş kalınlıkları incelenmiştir. Kumaş yoğunluklarını ölçebilmek için ise $d=m/V$ formülünden yola çıkılarak hesaplama yapılmıştır. Bu numunelerin yoğunlukları sırasıyla; PU 0,93 g/cm³, PU+B₂O₃ 1.097 g/cm³, PE 0.80 g/cm³, PE+B₂O₃ 0,944 g/cm³ olarak bulunmuştur. Sonucunda da B₂O₃ maddesinin ilavesiyle kumaşlar üzerinde yoğunlukların daha da arttığı görülmüştür.

Çalışma boyunca uygulanan malzemeler, kullanılan cihazlar, üretim ve karakterizasyon basamakları sırasıyla alt başlıklarla açıklanmıştır.

3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada pamuk-bakır-gümüş (%90 pamuk %9,5 bakır %0,5 gümüş) kompozisyonlarındaki kumaşın 4 farklı komponent ile kumaşların üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Bu kumaşlarda uygulanan ana malzemeler polietilen ve poliüretan polimerleridir. Yardımcı malzemeler ise bor oksit, toluen, epoksi reçine ve sertleştirici gibi malzemelere yer verilmiştir.

Sırasıyla gerçekleştirilen uygulamalar;

1. Pamuk Kumaşa; Sadece Poliüretan + Reçine uygulanmıştır.
2. Pamuk Kumaşa; Sadece Polietilen + Reçine uygulanmıştır.
3. Pamuk Kumaşa; Hem Bor Oksit hem de Poliüretan + Reçine uygulanmıştır.
4. Pamuk Kumaşa; Hem Bor Oksit hem de Polietilen + Reçine uygulanmıştır.

3.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Kumaş yoğunlukların hesaplaması işlemi için yapılmıştır. Afyon Kocatepe Üniversitesi

Yapı ve Malzeme laboratuvarında bulunan Kern marka 0.001g hassasiyetli ve maksimum 610 g ağırlık kapasiteli hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Resim 3.1 Hassas Terazi

Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme ve Yapı laboratuvarında bulunan Manyetik ısıtıcılı karıştırıcı ENDA AT411 Laboratuvarlarda ki kimyasal çözeltileri homojen bir şekilde ısıtarak cam kaplar içerisinde çözündürüp, manyetik alan etkisi ile karıştırma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.2).



Resim 3.2 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı

Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme ve Yapı laboratuvarında, Manyetik karıştırıcı MATİ MK-03 Laboratuvarlarda ki kimyasal çözeltileri ısıtma işlemi kullanmadan sadece çözündürme işlemi yapılarak manyetik alan etkisi ile karıştırma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.3).



Resim 3.3 Manyetik Karıştırıcı

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) Laboratuvarında BAL-TEC SCD-005 Sputter Coater Scanning Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenerek numunelerin karbon kaplanması işlemi yapılmıştır (Şekil 3.4).



Resim 3.4 SEM Cihaz Kaplama

Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM Laboratuvarında LEO 1430 VP model SEM analiz cihazı kumaş numunelerinin yüzeylerinden farklı büyütmelerde görüntüler alınarak mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir. Numunenin içyapısındaki mikro çatlakların ve çözünmemiş maddelerin saptanmasını sağlamıştır (Şekil 3.5).



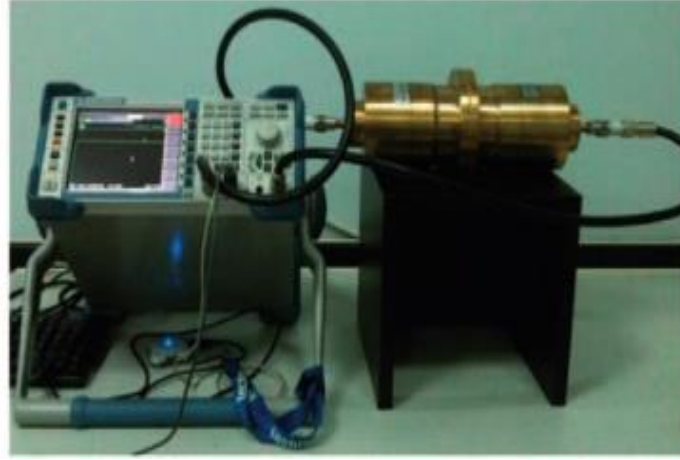
Resim 3.5 SEM+EDX Cihazı

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında Perkin Elmer, Spectrum 100 model FT-IR analiz cihazında kızılötesi (IR) spektroskopi, IR ışınının moleküler üzerinde oluşturduğu titreşimlerin neden olduğu karakteristik frekans değerlerinin kullanılması ile moleküler düzeyde madde analizi yapılması sağlanmıştır (Şekil 3.6).



Resim 3.6 FT-IR Cihazı

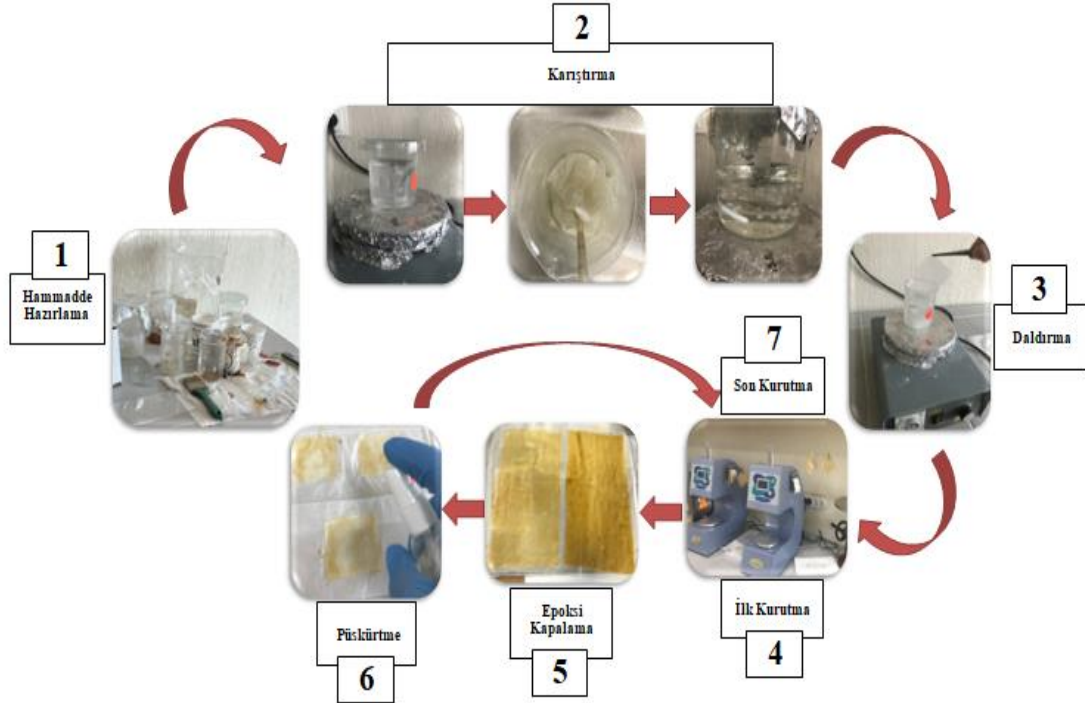
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında Rohde & Schwarz ZVL-Network Analyzer ve numune tutucu Electro-Metrics Inc., model EM-2107 elektromanyetik sinyal üreten ve geri dönüşü ölçen network analizörü 4 farklı kumaş numunelerine uygulanarak kalkanlama ölçüm sonuçları incelenmiştir (Şekil 3.7).



Resim 3.7 Elektromanyetik Kalkanlama Ölçüm Cihazı

3.3 Deneysel Çalışmalar

Bu deneysel çalışmada uygulanan işlem basamakları Şekil 3.1'deki akım şemasında gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Deneysel Çalışmalar Akım Şeması

Bu çalışmada 4 farklı komponent çalışılmıştır.

a) İlk uygulamada polietilen; Polietileni çözündürmek için 100ml toluen içerisine 1,5 g polietilen ilave edilip manyetik karıştırıcı ısıtıcı da 100°C sıcaklıkta 400 devirde yaklaşık 30 dk boyunca çözündürme işlemi yapılmıştır. Karşım çözündükten sonra kumaşları içine daldırıp, polietilenin kumaşların içerisine penetrasyonu gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 saat karışımın içerisinde bekletildikten sonra asarak kurutma işlemi yapılmıştır. Bütün işlemler tamamlandıktan ve tamamen kuruduktan sonra epoksi reçine ve sertleştirici ile 1'e 2 oranında, (8mg/4mg) ısıtmaksızın manyetik karıştırıcı üzerinde 15 dk karışması ile homojen bir karışım elde edilmiştir. Sonra kumaşa ince bir tabaka halinde elle yatırma yöntemi ile uygulanmıştır. 1 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra yapılan çalışma teste gönderilmesi için hazırlanmıştır.



Resim 3.8 Polietilen



Resim 3.9 Polietilen ve toluen karışımı



Resim 3.10 Polietilen karışımı içerisindeki kumaş numuneleri

b) İkinci uygulamada Polietilen + Bor; 5 g Bor oksit 100ml destile suda 400 devir/60dk da 70° C sıcaklıkta ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 1 saat çözünmesi sağlanmıştır. Zamana bağlı olarak karıştırma hızı ve sıcaklık 70°C den 60°C ye kadar düşürülmüştür. Sürenin dolması ile birlikte karışım aşaması sonlandırılmıştır. Sonrasında ön denemeler için planlanan ve 5cmX5cm boyutlarında kesilen 2'şer adet kumaş parçası karışımın içerisine daldırılarak ve oda sıcaklığında 1 gün süre ile bekletilerek bor oksit

çözeltilisinin kumaşların içerisine penetrasyonu gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrasında katı forma gelen kumaşlar üzerinde tortu bıraktığı gözlenmiştir. Bu durumda bor oksitli karışımın içerisinden sıcak halde çıkartılması katı formun kumaş üzerinde o tortuyu görmememizi sağlamıştır. Pürüzsüz bir şekilde kumaşlar kurumaya bırakılmıştır. Kumaşlar kuruyana kadar, polietilen karışımı hazırlanmaya başlanmıştır. Polietileni çözündürmek için yine aynı 1. uygulamada yapılan yöntemler kullanılmıştır. 100ml toluen içerisine 1,5 g polietilen ilave edilip manyetik karıştırıcı ısıtıcı da 100°C sıcaklıkta 400 devirde yaklaşık 30 dk boyunca çözündürme işlemi yapılmıştır. Karışım çözündükten sonra kumaşları içine daldırıp, polietilenin kumaşların içerisine penetrasyonu gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 saat karışımın içerisinde bekletildikten sonra asarak kurutma işlemi yapılmıştır. Bütün işlemler tamamlandıktan ve tamamen kuruduktan sonra epoksi reçine ve sertleştirici ile 1'e 2 oranında, (8mg/4mg) ısıtmaksızın manyetik karıştırıcı içerisinde 15 dk karışması ile homojen bir karışım elde edilmiştir. Sonra pamuk kumaşa ince bir tabaka halinde elle yatırma yöntemi ile kumaşa uygulanmıştır. Reçine tamamen kurumadan hafif nemli olduğu anda bor oksit karışımı püskürtme yöntemi ile kumaşlara uygulanmıştır. Bu şekilde 1 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra yapılan çalışma teste gönderilmesi için hazırlanmıştır.



Resim 3.11 Bor Oksit destile su karışımı



Resim 3.12 Bor Oksitli karışımın kumaş üzerine bıraktığı görüntü

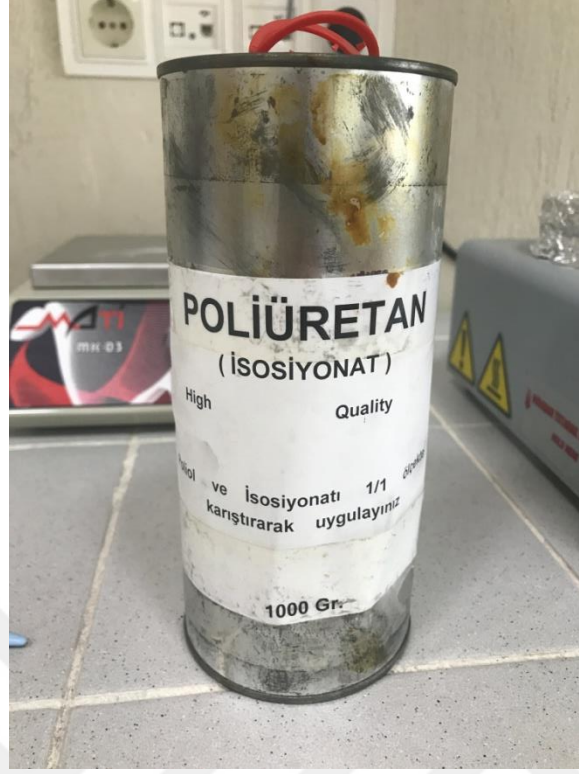


Resim 3.13 Kumaşlara kaplanan reçine + sertleştirici

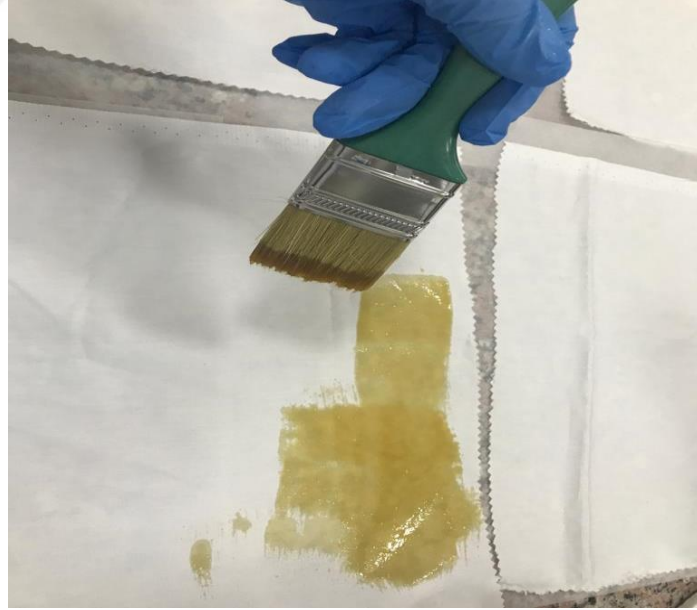


Resim 3.14 Reçine sonrası bor oksit püskürtme yöntemi

c) Üçüncü uygulamada Poliüretan; aromatik izosiyanat poliüretan kullanılmıştır. Kıvamlı bir yapısı olduğundan dolayı planlanan 5cmX5cm boyutlarında kesilmiş 3'er adet kumaş parçalarına elle yatırma yöntemi ile kumaşa uygulanmıştır. Oda sıcaklığında 1 gün süre ile bekletilerek, kuruma işlemi tamamlanmıştır. Aynı işlem kumaşların ön ve arka yüzeylerine yapılmıştır. Bütün işlemler tamamlandıktan ve tamamen kuruduktan sonra epoksi reçine ve sertleştirici ile 1'e 2 oranında, (8mg/4mg) ısıtmaksızın manyetik karıştırıcı içerisinde 15 dk karışması ile homojen bir karışım elde edilmiştir. Sonra pamuk kumaşa ince bir tabaka halinde elle yatırma yöntemi ile uygulanmıştır. kurumaya bırakılmıştır. Bu şekilde 1 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra yapılan çalışma teste gönderilmesi için hazırlanmıştır.



Resim 3.15 Aromatik izosiyanat poliüretan



Resim 3.16 Poliüretanın kumaşa uygulanması

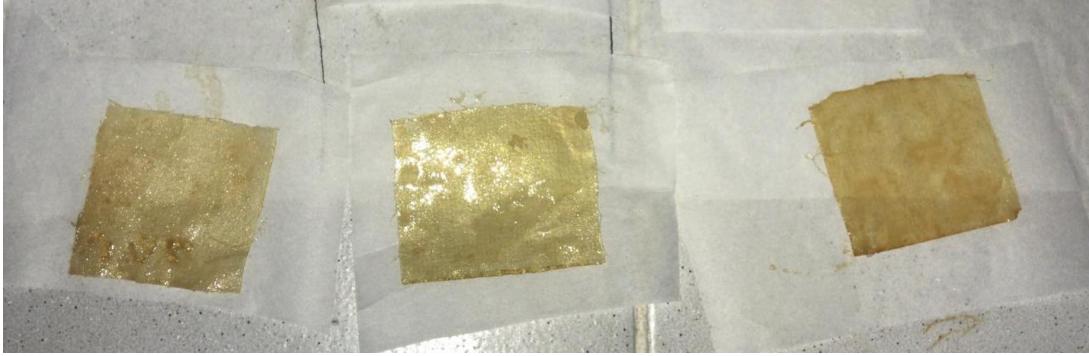


Resim 3.17 Poliüretan+ reçine sonrası görüntü

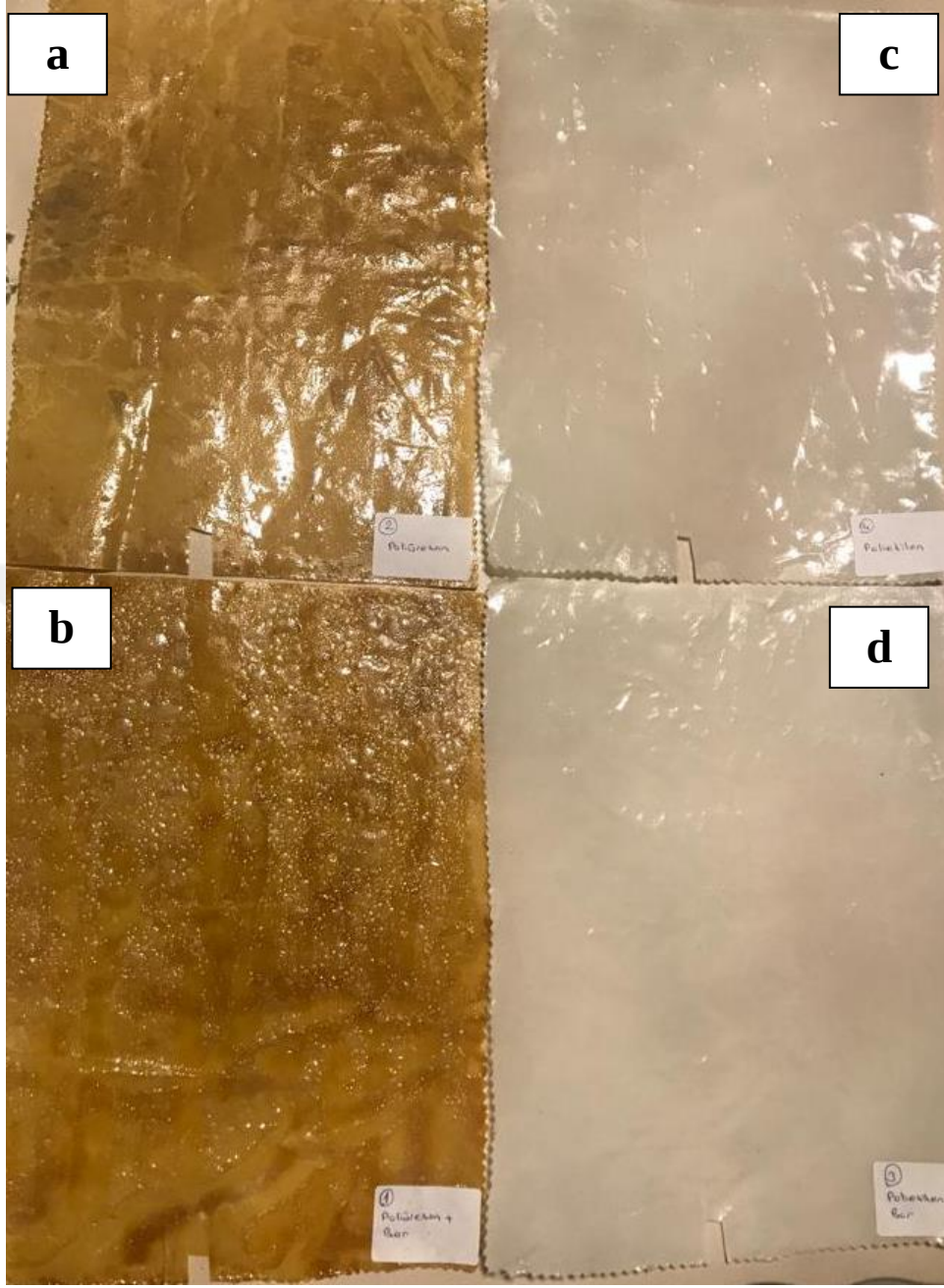
d) Dördüncü uygulamada ise Poliüretan + Bor, üçüncü uygulamada olduğu gibi aromatik izosiyanat poliüretan kullanılmıştır. Kıvamlı bir yapısı olduğundan dolayı planlanan 5cmX5cm boyutlarında kesilmiş 3'er adet kumaş parçalarına elle yatırma yöntemi ile kumaşa uygulanmıştır. Oda sıcaklığında 1 gün süre ile bekletilerek, kuruma işlemi tamamlanmıştır. Aynı işlem kumaşların ön ve arka yüzeylerine yapılmıştır. Kuruma aşaması tamamlandıktan sonra epoksi reçine ve sertleştirici ile 1'e 2 oranında, (8mg/4mg) ısıtmaksızın manyetik karıştırıcı içerisinde 15 dk karışması ile homojen bir karışım elde edilmiştir. Sonra pamuk kumaşa ince bir tabaka halinde elle yatırma yöntemi ile uygulanmıştır. Reçine tamamen kurumadan 2. uygulamada yapılmış olan bor okstit karışımını nemli reçinenin üzerine (yarı kuru yarı ıslak) püskürtme yöntemi ile kumaş üzerine penetrasyonu sağlanmıştır. Her iki yüzeye de aynı işlem uygulandıktan sonra oda sıcaklığında kumaşlar kurumaya bırakılmıştır. 1 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra teste göndermek için hazırlanmıştır.



Resim 3.18 Reçine sonrası asarak kurutma yöntemi



Resim 3.19 Poliüretan, bor oksit ve reçine sonrası görüntü



Resim 3.20 PU (a), PU+B₂O₃ (b), PE (c), PE+ B₂O₃ (d) reçine sonrası görüntüleri

4. BULGULAR

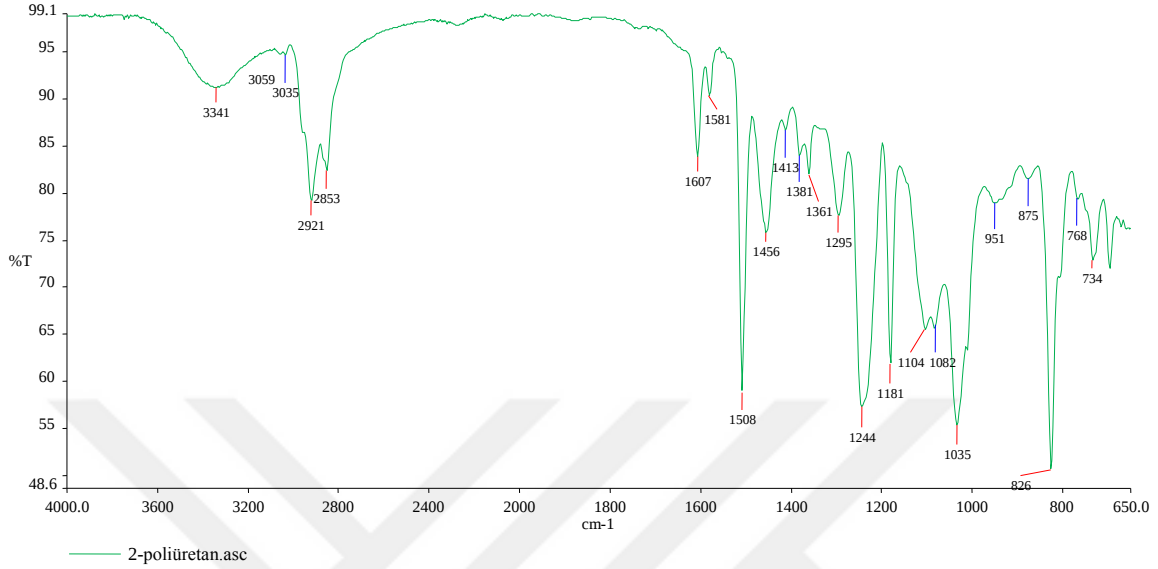
4.1 FT-IR Analizi

Pamuk kumaşın katkılı polimerlerle bağ yapıp yapmadıklarını anlamak için FT-IR spektrumları incelenmiş olup, bulgular elde edilmiştir. Ölçümler, FT-IR spektrumu 400-4000 cm^{-1} aralığında verilmiştir.

Şekil 4.1’de pamuk, bakır ve gümüş karışımı kumaşın, Poliüretan kaplama sonrasına ait kumaşın kaplanmış yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. Burada, pamuk kumaşa ait çoğunlukla C-H bağlarının karakteristik pikleri belirgin bir şekilde görülmektedir. 1500-1607 cm^{-1} aralığındaki orta şiddetli pikler aromatik halkayı göstermektedir. Bu durum poliüretan yapısının oluşumunu ispatlayan bulgudur (Erdik 2007). Poliüretan miktarının artması ile 1508 cm^{-1} ’de görülen poliüretana ait C=C gerilmesi giderek kademeli bir artışa yol açmıştır (Yılmaz vd. 2018). Bu pikler hem alifatik monomerlerin morfolojisinde hem de alifatik karakterli izosiyanat yapısından geldiği için oldukça net bir şekilde görülmektedir. 2853-2921 cm^{-1} arasındaki pik C-H gerilmesine aittir. (Erdik 2007). 3000 cm^{-1} ’den daha yüksek frekansta aromatik ve vinilik C-H pikleri gözlenmektedir. Üretan bağındaki N-H gerilme titreşimi 3341 cm^{-1} ’de daha net görülmektedir (Erdik 2007). Bu sonuçlar Chunga ve ark. (2004) tarafından yapılmış çalışmada polimer farklılığı ile elde edilen sonuçlara paralellik taşımaktadır (Chunga vd. 2004).

Çizelge 4.1 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PU)

Bağ	Belirleme	Dalga sayısı (cm^{-1})
C-H	C-H düzlem dışı eğilme titreşimleri gözlemlenmiştir	734-1000
C-O	C-O gerilme titreşim bölgesinde görülmektedir.	1035-1450
C-H	CH_2 eğilme titreşimlerini ifade etmektedir.	1456-1508
C=C	Çift bağ gerilme bölgesini ifade etmektedir.	1508-1607
C-H	Alifatik C-H gerilme titreşimlerini göstermektedir.	2853-2921
C-H	C-H aromatik halka deformasyonları gözlenmiştir.	3035-3059
N-H	Üretan bağındaki N-H gerilme titreşimi görülmektedir.	3341

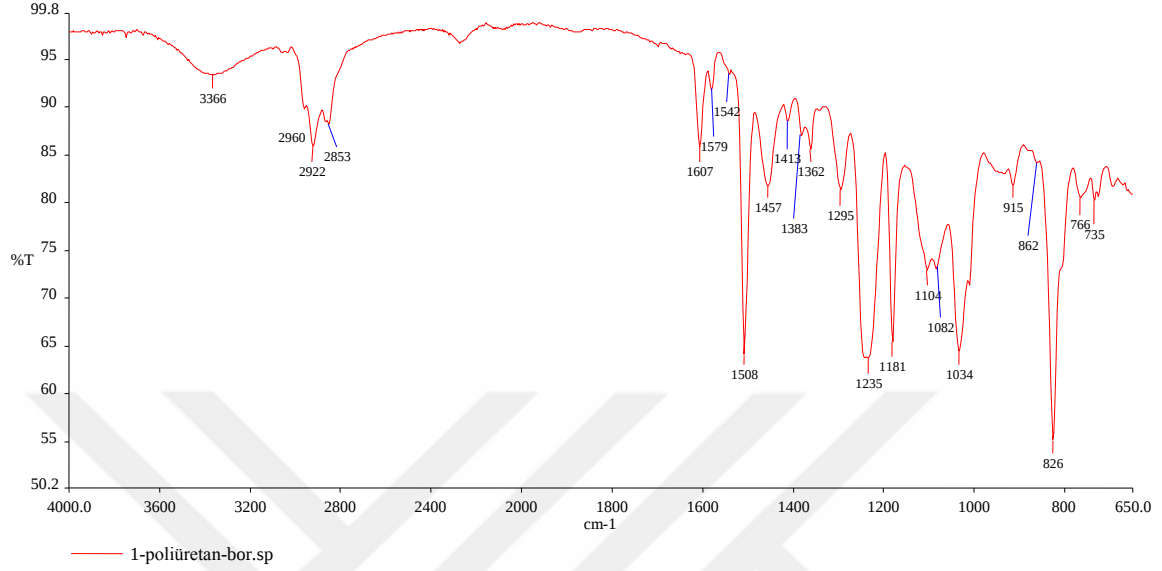


Şekil 4.1 PU FTIR Analiz Değerleri

Şekil 4.2’de pamuk, bakır ve gümüş karışimli kumaşın, Poliüretan+bor kaplama sonrasına ait kumaşın kaplanmış yüzeyinde gerçekleştirilmiştir B_2O_3 oluşumu sırasında 3366 cm^{-1} bandında, yapısında bir miktar -OH grubu kaldığı ve bor oksite bağlı -OH gruplarının olduğu düşünülmektedir. 2853 cm^{-1} ve 2960 cm^{-1} bantları alifatik (-CH-) asimetrik gerilme titreşimleridir. Bu pikler genel olarak alifatik monomer morfolojisi üzerinde alifatik karakterli izosiyanat yapısından geldiği için oldukça belirgin şekilde görülmektedir. 1457 ve 1607 cm^{-1} bandı aromatik yapıyı göstermektedir (Chiono vd. 2014).

Çizelge 4.2 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PU+ B_2O_3)

Bağ	Belirleme	Dalga sayısı (cm^{-1})
C-H	C-H düzlem dışı eğilme titreşimleri gözlemlenmiştir.	735-1000
C-O	Karakteristik aromatik C-H gerilmesi görülmektedir.	1034-1450
C-H	CH_2 eğilme titreşimlerini ifade etmektedir.	1457-1508
C=C	Çift bağ gerilme bölgesini ifade etmektedir.	1508-1607
C-H	Alifatik (-CH-) gerilme titreşimleridir.	2853-2960
O-H	O-H gerilme titreşimleri absorpsiyon pikleridir. Orta şiddette geniş pik görülmektedir.	3366

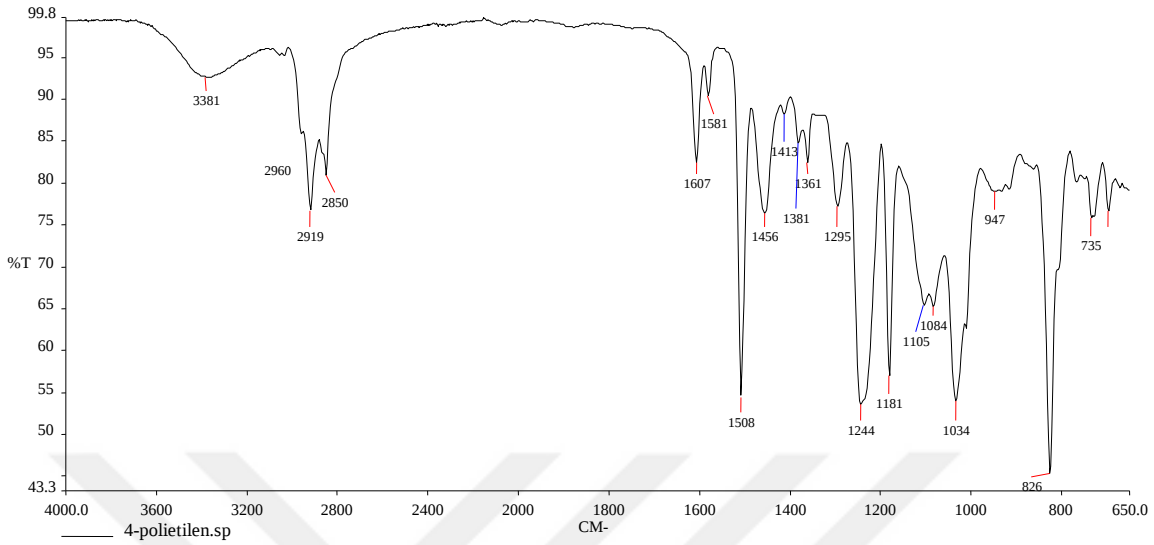


Şekil 4.2 PU+B₂O₃ FT-IR analiz değerleri

Şekil 4.3’de pamuk, bakır ve gümüş karışım kumaşın, Polietilen kaplama sonrasına ait kumaşın kaplanmış yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. 3381 cm⁻¹’de Alifatik C-H titreşimlerin bulunduğu bant bölgesidir. Polietilen tamamen metilen (CH₂) gruplarından oluştuğu için infrared spektrumunda metilen gerilmeleri ve eğilmeleri gözlenecektir. 2850-2960 cm⁻¹ arasındaki pik -CH₂ gerilmesine aittir. Polietilen miktarının artması ile 1508-1607 cm⁻¹ bandında görülen polietilene ait C=C gerilmesi giderek kademeli bir artışa yol açmıştır. 826 cm⁻¹ bandında C-H aromatik halkaların düzlem dışı eğilme titreşimleri gözlenmiştir (Karaca 2017).

Çizelge 4.3 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PE)

Bağ	Belirleme	Dalga sayısı (cm ⁻¹)
C-H	C-H aromatik halkaların düzlem dışı bükülme titreşimlerine aittir	735-1000
C-O	C-O gerilme titreşim bölgesinde görülmektedir.	1034-1295
CH ₂	CH ₂ ve eğilme titreşimlerini ifade etmektedir.	1456-1508
C=C	Çift bağ gerilme bölgesini ifade etmektedir.	1508-1607
C-H	Alifatik C-H gerilmesine aittir.	2850-2960
C-H	Alifatik C-H gerilme titreşimlerin bulunduğu bant bölgesidir.	3381

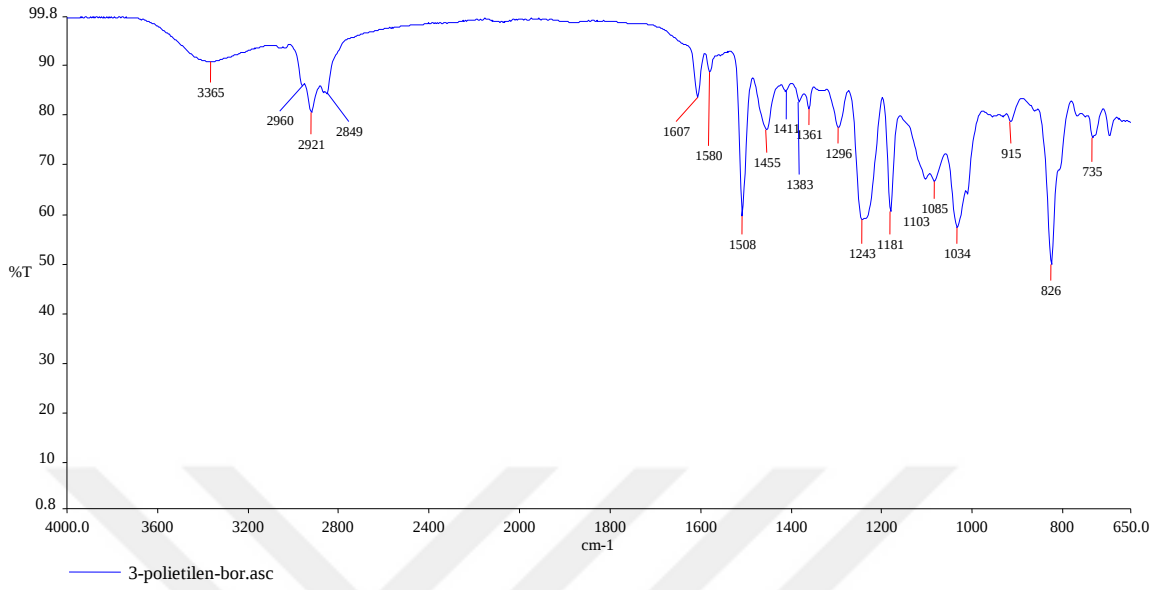


Şekil 4.3 PE FT-IR analiz değerleri

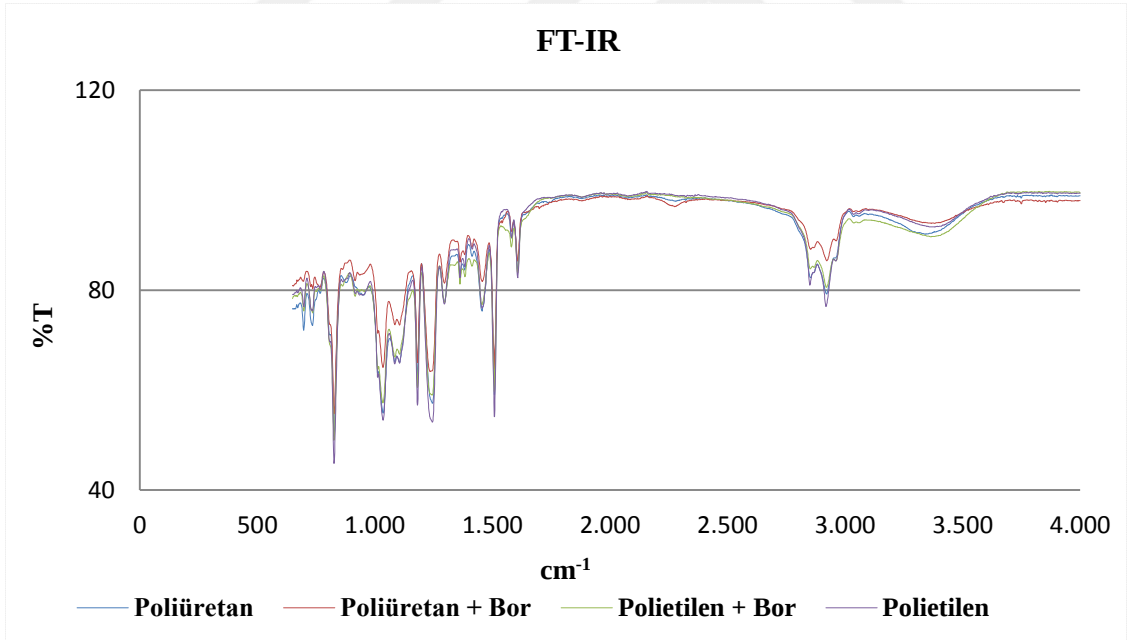
Şekil 4.4’de pamuk, bakır ve gümüş karışımı kumaşın, Polietilen+bor kaplama sonrasına ait kumaşın kaplanmış yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. B_2O_3 oluşumu sırasında 3365 cm^{-1} bandında, yapısında bir miktar -OH grubu kaldığı ve bor oksite bağlı -OH gruplarının olduğu düşünülmektedir (Chiono vd. 2014). $2849\text{--}2960\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pik C-H gerilmesine aittir. Polietilen tamamen metilen (CH_2) gruplarından oluştuğu için infrared spektrumunda metilen gerilmeleri ve eğilmeleri gözlenecektir. $1455\text{--}1508\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pik $-CH_2$ gerilmesine aittir. PE+ B_2O_3 miktarının artması ile $1508\text{--}1607\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen polietilene ait C=C gerilmesinin giderek daha fazla artmasına yol açmıştır. 826 cm^{-1} ’de C-H aromatik halkaların düzlem dışı eğilme titreşimleri gözlenmiştir. (Karaca 2017).

Çizelge 4.4 Dalga sayılarına göre moleküler yapıda oluşan FT-IR bağları (PE+ B_2O_3)

Bağ	Belirleme	Dalga sayısı (cm^{-1})
C-H	C-H aromatik halkaların düzlem dışı eğilme titreşimlerine aittir	735-1000
C-O	C-O gerilme titreşim bölgesinde görülmektedir.	1034-1296
CH_2	CH_2 eğilme titreşimlerini ifade etmektedir.	1455-1508
C=C	Çift bağ gerilme bölgesini ifade etmektedir.	1508-1607
C-H	Pik C-H gerilmesine aittir.	2849-2960
O-H	O-H gruplarına ait titreşimlerin bulunduğu bant bölgesidir.	3365



Şekil 4.4 PE+B₂O₃ FT-IR analiz değerleri

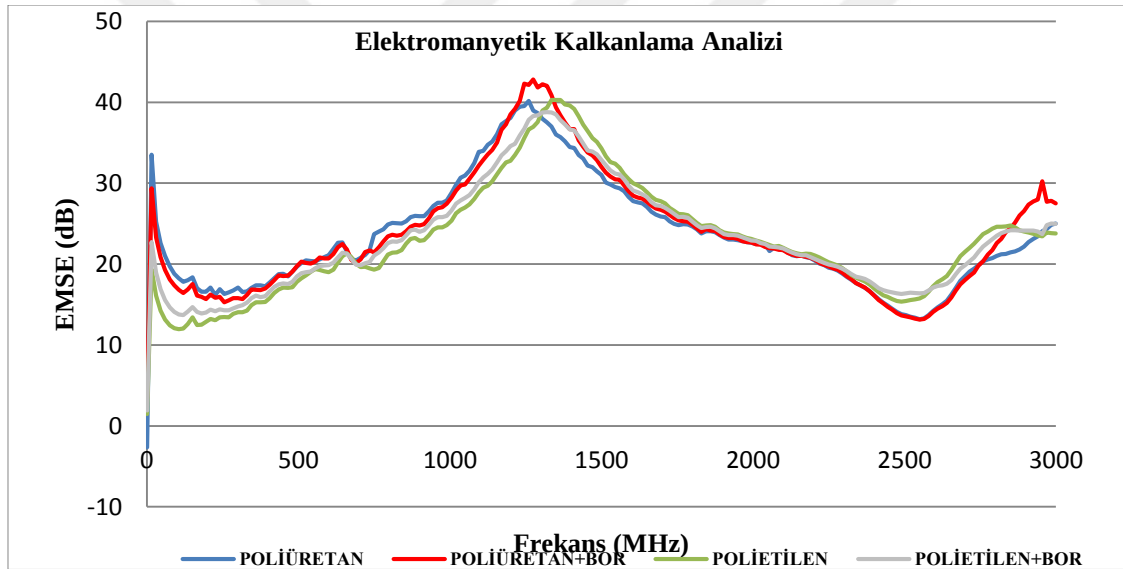


Şekil 4.5 PU, PU+B₂O₃, PE, PE+B₂O₃ üzerindeki FT-IR analiz görüntüleri

4.2 Elektromanyetik Kalkanlama Ölçümü (EMSE)

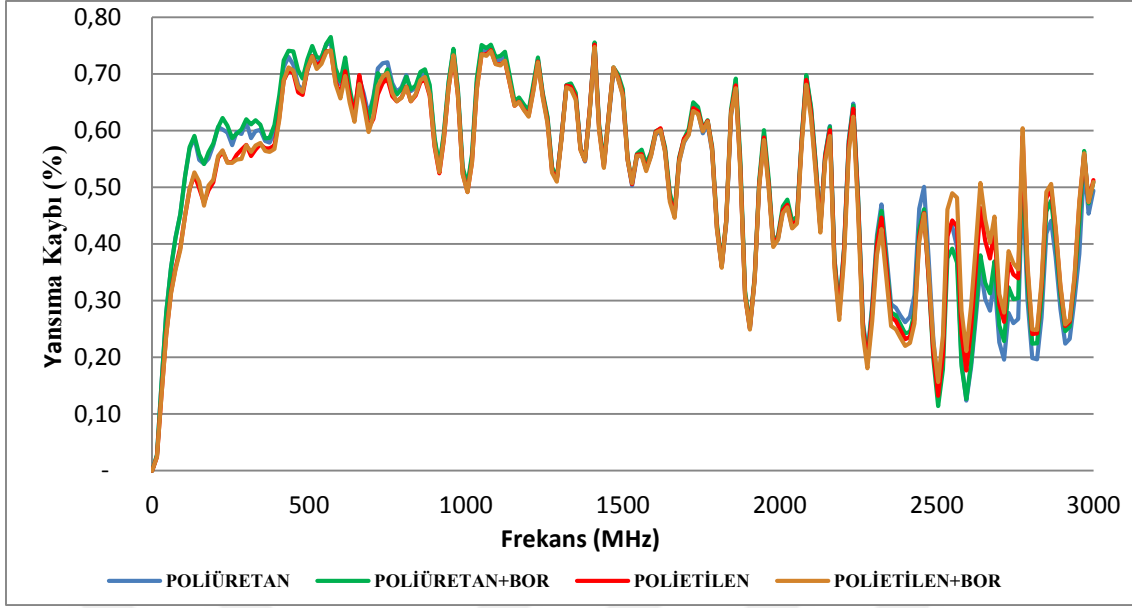
Kaplanan farklı komponentli kumaşların elektromanyetik kalkanlama özellikleri incelenmiştir. 0-3000 MHz arasında ölçüm yapılmıştır.

EMSE değerleri 500-1350 MHz aralığında doğrusal olarak artarak pikler yapan bir EMSE davranışı görülmüştür. 1275 MHz’de PU+B₂O₃ ile kaplanan kumaşın ekranlama etkisi 42 dB’ de en yüksek pik yaptığı gözlenmiştir. Ekranlama etkisi en düşük olan komponent, PE+B₂O₃ ile kaplanan kumaş, 1320 MHz’de 39 dB olarak ölçülmüştür. 2400-2700 MHz aralıklarında pikler düşüş göstermiş, 2700 MHz’den sonra yoğunlaşma ile doğru orantılı bir şekilde piklerde yükselme görülmüştür. (Şekil 4.6)



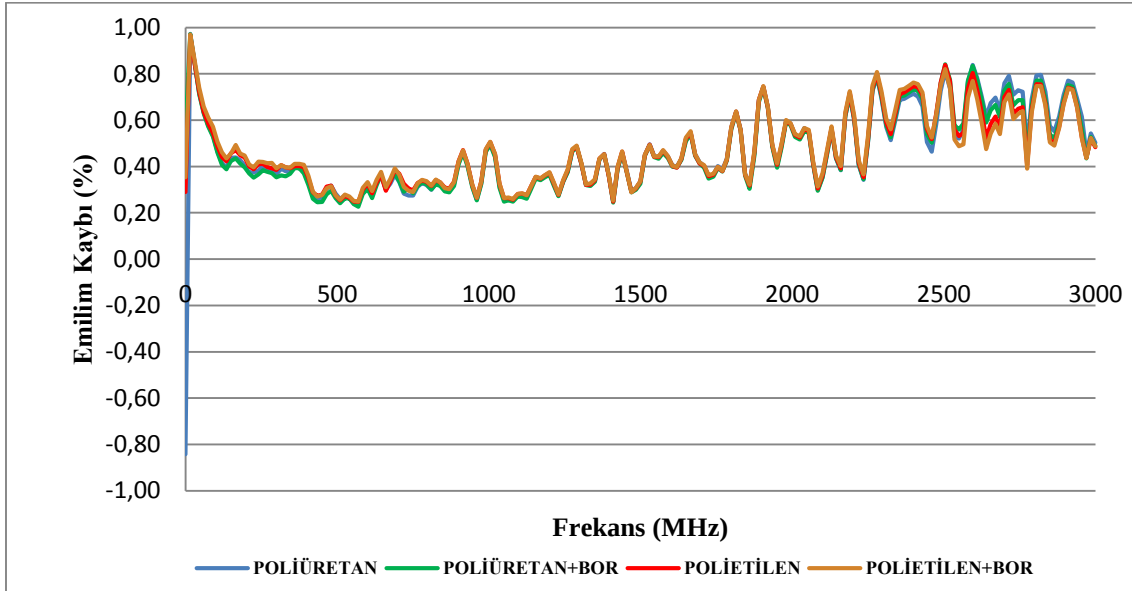
Şekil 4.6 EMSE görüntüleri

Yansıma değerlerinin çok değişken olduğu ve tüm komponentlerdeki değişimin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bütün komponentler için 570 MHz de ise bu değer en üst noktasına ulaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.7 PU, PU+B₂O₃, PE, PE+B₂O₃ kaplı kumaşların frekansa bağlı yansımaya kaybı grafiği

4 farklı komponentlerin kaplama sonuçlarına göre % absorpsiyon değeri görülmektedir. 2500-2600 MHz arasında en üst noktaya ulaştığı gözlemlenmiştir. Bütün komponentler için değerler birbirine çok yakın olup, çok değişken pikler oluşmuştur.



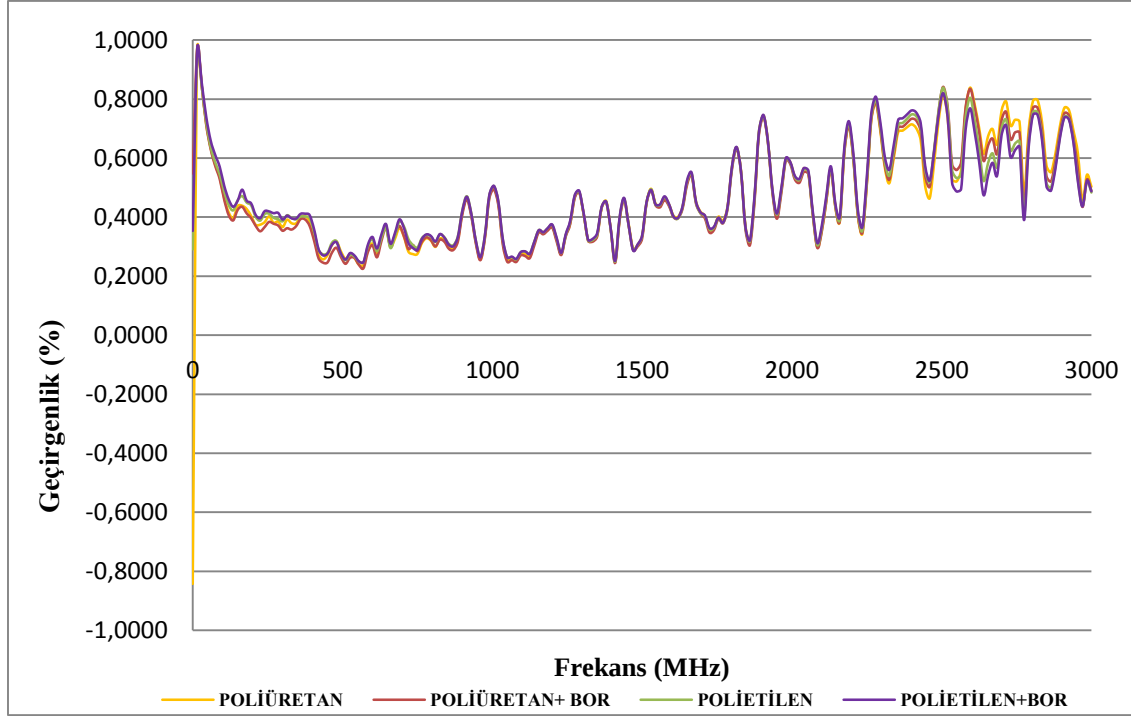
Şekil 4.8 PU, PU+B₂O₃, PE, PE+B₂O₃ kaplı kumaşların frekansa bağlı emilim kaybı grafiği

1200-1300 MHz aralığında PU

1200-1400 MHz aralığında PU+B₂O₃

1300-1400 MHz aralığında PE

1250-1350 MHz aralığında PE+B₂O₃ değerleri arasında elektromanyetik geçirgenliğin en az olduğu noktalar. 1500 MHz'den sonra piklerde hafif artış görülmektedir. 4 farklı komponentlerin de aralarında belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir.



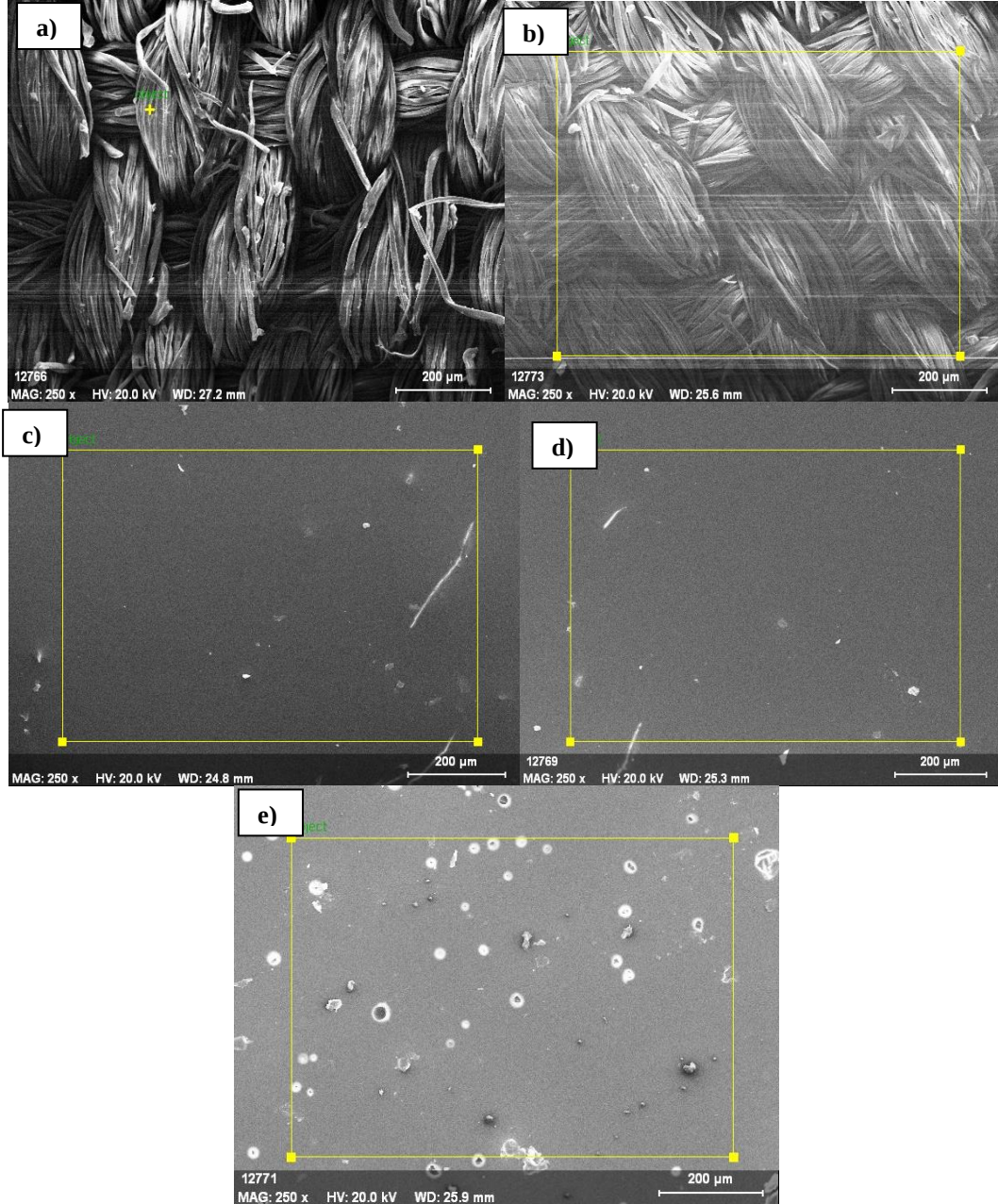
Şekil 4.9 PU, PU+B₂O₃, PE, PE+B₂O₃ elektromanyetik geçirgenlik değişimleri

Bütün bu değerlere bakılarak benzer literatür çalışmaları karşılaştırıldığında; örneğin bir literatürde Polipirol polimerinin iki farklı firma ürünlerinin PES ve pamuk kumaşların kaplamasındaki kalkanlama analizi incelenmiştir. Pamuk kumaşın kaplama sonucu ortaya çıkan EMSE ölçüm değeri 25-35 dB, PES kumaşta ise 5-15 dB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçların elektromanyetik kalkanlama için yeterli olmadığı anlaşılmıştır (Yılmaz 2013).

Başka bir literatürde ise polianilin ve polipirol ile kaplanan kumaşların kalkanlama kalkanlama analizi incelenmiştir. Burada ise Polianilin polimeri ile yapılan kaplamada ortalama %48, polipirolin ise %50 absorpsiyon gösterdiği test edilmiştir (Akşit vd. 2014).

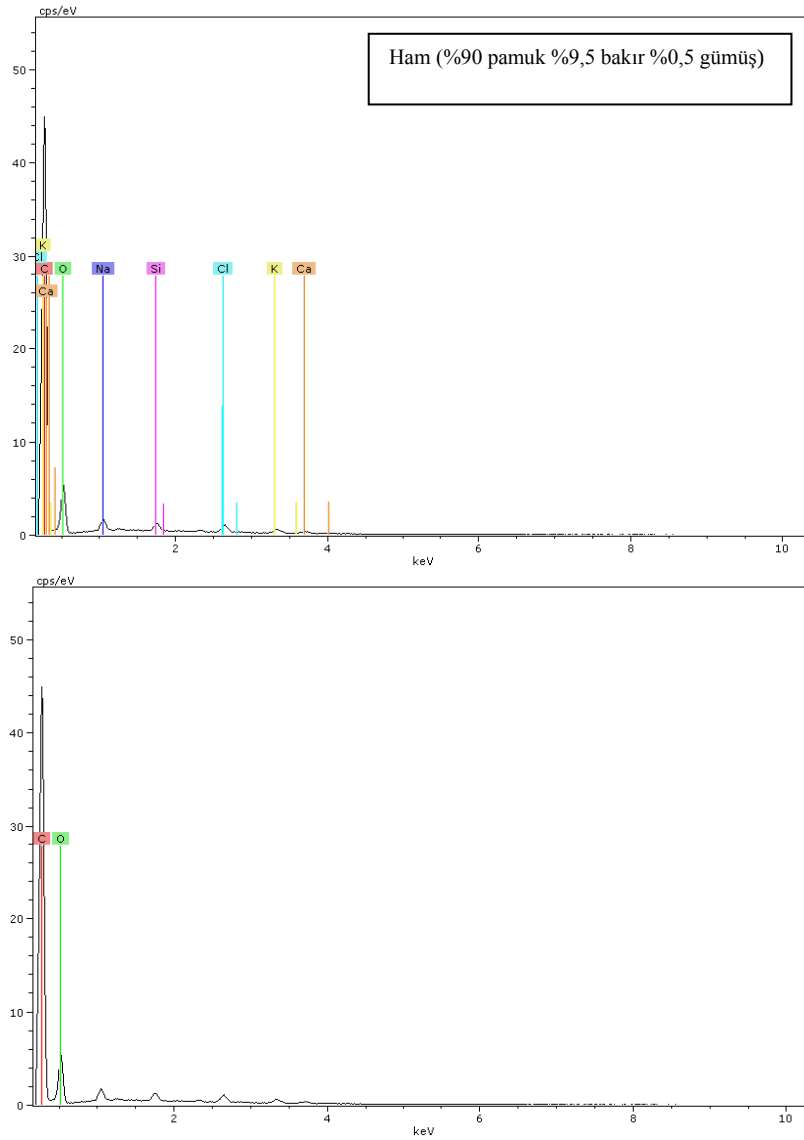
4.3 SEM+EDX Bulguları

SEM, numune yüzeyinin 3 boyutlu görüntülerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Numunelerin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri numunelerin yapısındaki gözeneklerin homojenliği, şekil ve boyutu hakkında sonuçlar çıkarmamızı sağlamaktadır. Ayrıca numunelerdeki mikro çatlakların ve çözünmemiş kalıntıların tespit edilmesini sağlamaktadır.



Resim 4.1 (a) Ham, (%90 pamuk %9,5 bakır %0,5 gümüş) (b) PU, (c) PU+B₂O₃, (d) PE, (e) PE+B₂O₃ ile kaplanmış pamuk kumaşların SEM görüntüleri

Kaplamaları yapılmış pamuklu kumaşların karbon kaplanmasıyla SEM görüntüleri alınarak kumaşların içerisindeki liflerin yapısında oluşan değişiklikler belirlenmiştir. Kaplama yapılmış kumaş numunelerinin 250x, büyütme olarak görüntüleri çekilmiştir. SEM görüntülerinde işlemsiz kumaşlarda liflerin düzgün yüzeyi gözlenirken kaplama yapılmış kumaşlarda kaplama maddesinin lif yüzeyinde film oluşturduğu, karbon içeren kaplama maddeleriyle kaplanan numunelerin lif yüzeylerinde oluşmuş kirliliklerin bulunduğu görülmektedir (Tatlı 2020). Lifler arasındaki boşlukların katkılı polimerler ile kapanmış olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum ise kaplanmış kumaşların hava geçirgenliğinin azaldığının göstergesidir (Tatlı 2020).

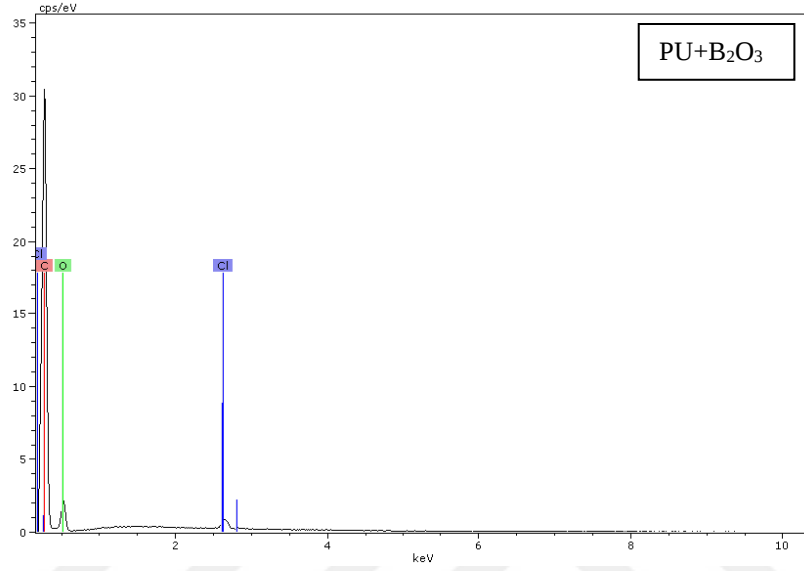


Şekil 4.10 Ham kumaşın bakır ile kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri

Elementler (atomik % değerleri)

Karbon	K seri	34740	35.72	35.72	42.54
Oksijen	K seri	23166	64.28	64.28	57.46

Total: 100.0 %

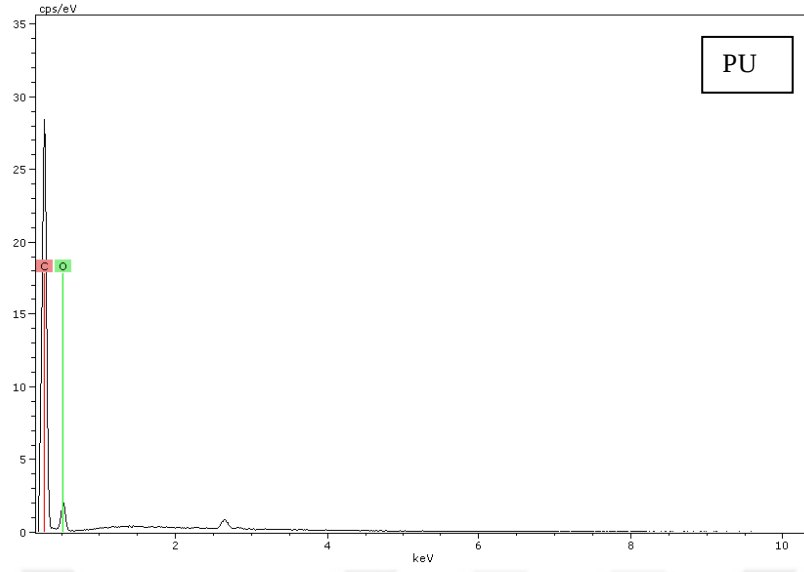


Şekil 4.11 PU+B₂O₃ kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri

Elementler (atomik % değerleri)

Karbon	K seri	126396	66.08	66.08	72.42
Oksijen	K seri	9802	33.19	33.19	27.31
Klor	K seri	4643	0.73	0.73	0.27

Total: 100.0 %

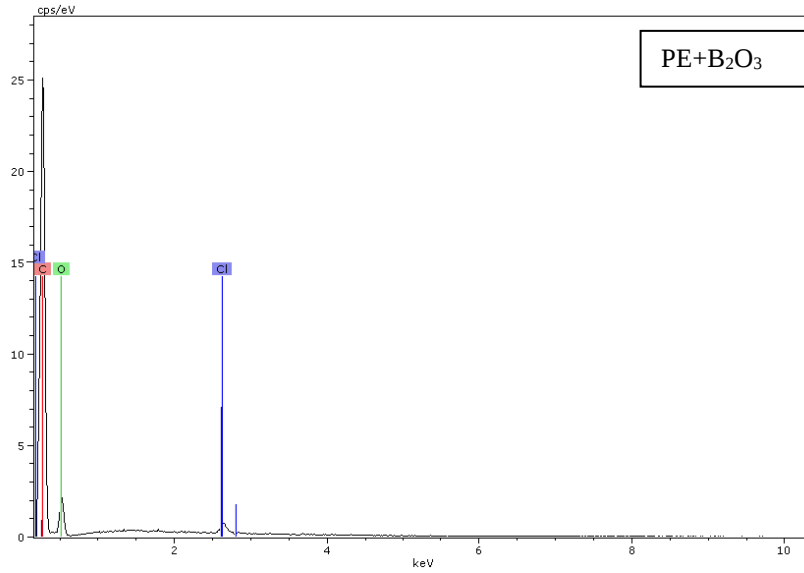


Şekil 4.12 PU kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri

Elementler (atomik % değerleri)

Karbon	K seri	189941	68.11	68.11	73.99
Oksijen	K seri	12945	31.89	31.89	26.01

Total: 100.0 %



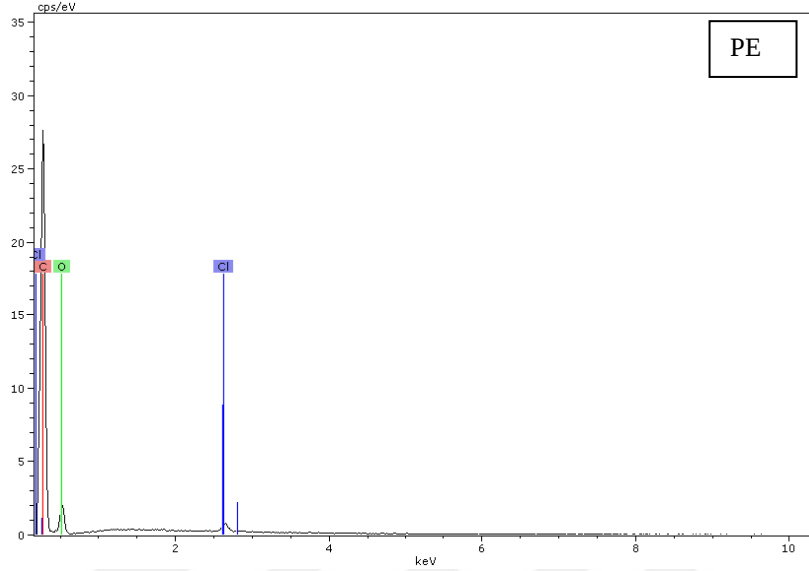
Şekil 4.13 PE+B₂O₃ kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri

Elementler (atomik % değerleri)

Karbon	K seri	96412	64.59	64.59	71.10
Oksijen	K seri	8326	34.63	34.63	28.61

Klor	K seri	3519	0.78	0.78	0.29
------	--------	------	------	------	------

Total: 100.0 %



Şekil 4.14 PE kaplanmış pamuklu kumaşların EDX grafikleri

Elementler (atomik % değerleri)

Karbon	K seri	110821	66.26	66.26	72.59
Oksijen	K seri	8473	33.00	33.00	27.14
Klor	K seri	3854	0.74	0.74	0.28

Total: 100 %

Sonuçlarda düşük oranlarda C ve O atomu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda az miktarda Cl atomu da görülmektedir. Bu durumun analiz sırasında meydana gelmiş olabilecek kirliliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

-Kumaş üzerine uygulanan kaplamaların FT-IR Analizi Sonuçlarına göre;

Poliüretan ve poliüretan+bor için; 2850-2091 cm^{-1} arasındaki pik C-H gerilmesini ifade etmektedir. 3300 cm^{-1} bandında N-H gerilmesi görülürken poliüretan+bor kaplamasında geniş pik O-H gerilmesi görülmektedir. Poliüretan+bor bağ yaptığı için bu O-H pikleri kaybolmuştur. Poliüretan miktarının arttırılması ile her iki kaplamada da 1058 cm^{-1} bandında görülen pamuğa ait C=C gerilmelerinin kademeli olarak daha fazla kaybolmasına yol açmıştır. Kaplama yapılan her bir kumaş poliüretan ve poliüretan+bor kaplamaları ile bağ yaptığı için 1508-1607 cm^{-1} 'de aromatik halka titreşimleri gözlemlenmiştir.

Polietilen ve polietilen+bor için; 2849-2921 cm^{-1} 'deki tepeler CH gerilme tepeleridir. Bu tepeler, düşük yoğunluklu polietilendeki CH_2 gruplarını göstermektedir. Bu pikler polietilen de daha belirgin bir şekildedir. 3365-3381 cm^{-1} 'deki tepeler esterifikasyon reaksiyonundan dolayı selülozdaki kaybolan OH bağlarını göstermektedir. Polietilen+bor da ise; bor adsorpsiyonu sonrası elde edilen FT-IR spektrumunda 826 cm^{-1} 'de görülen pik literatürde bor adsorpsiyon pikleri olarak nitelendirilmiştir. Bu durum polietilen kaplamada pikin gerilemesi olup, yapısında bulunan C-O bağının deformasyonundan kaynaklanmaktadır.

- EMSE, Absorbsiyon, Yansıma, Geçirgenlik Ölçümü Sonuçlarına göre;

Elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin ölçüldüğü EMSE değerlerinde PU+B₂O₃ ile kaplanan kumaşın diğer komponentlere göre daha iyi kalkanlama yaptığı, 1275 MHz'de 43 dB olduğu sonucuna varılmıştır. Genel kullanım için elektromanyetik koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesinde 30 dB'den yüksek bir sonuç olmasıyla mükemmel derecede kalkanlama görüldüğü anlaşılmıştır. Profesyonel kullanım için elektromanyetik koruyucu etkinliğinin değerlendirilmesinde ise 40-50 dB arasında bulunduğu ve iyi derecede kategorize edildiği sonucuna varılmıştır.

Bunların dışında;

PU 1260 MHz'de 40 dB

PU+B₂O₃: 1275 MHz'de 43dB

PE+B₂O₃: 1320 MHz'de 39 dB

PE: 1335 MHz'de 40 dB olarak sonuca ulaşılmıştır.

Değerler birbirine yakın olup, yapılan çalışmalarda herhangi bir olumsuz sonuçla karşılaşılmamıştır. Daha fazla geliştirilerek daha üstün sonuçlar elde edilebilmesi mümkündür.

Kaplaması uygulanan işlemler de yansıma kaybı artarken, poliüretan ve polietilen polimer içeriğinin azalmasıyla da emilim kaybı azalmaktadır.

PU+B₂O₃, yansıma kaybı %52 emilim kaybı %46

PU, yansıma kaybı %51 emilim kaybı %46

PE+ B₂O₃, yansıma kaybı %51 emilim kaybı %47

PE, yansıma kaybı %51 emilim kaybı %46 mekanizması ile kalkanlama sağladığı görülmüştür.

Elektromanyetik geçirgenlik değerleri birbirlerine yakın pikler göstermiştir. Geçirgenliğin en az olduğu katkılı polimer ile kaplanan PU+B₂O₃ olduğu şekil 4.9'da açıkça görülmektedir. Diğer komponentler ile çok yakın değerler olmasına rağmen bu yapılmış çalışma geliştirilebilir nitelik taşımaktadır.

Elektromanyetik geçirgenliği, yansıma değeri ve absorpsiyon değeri EMSE sonuçlarına paralel olarak beklenen şekilde çıkmıştır.

- SEM+EDX Ölçümü Sonuçlarına göre;

Emülsiyonların EDX haritalama grafikleri ve fotoğrafları verilmiştir. İncelendiğinde işlem görmemiş numunede Karbon (C), Oksijen (O), Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Silisyum (Si), Potasyum (K) ve Klor (Cl) elementleri tespit edilmiştir. Aktif karbon ile kaplandığında sadece karbon ve oksijen görülmüştür. Bu sonuçlara işlemsiz kumaş ile diğer reçetelerin uygulandığı kumaşların, işlem görmüş kumaşlara göre EDX sonuçlarında element oranları kıyaslandığında, floroalkiloligosiloksanın kimyasal yapısından dolayı C elementinde artış, O elementinde de azalma görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Akalın M, Özen M S, 2010, Tülbent Esaslı (Dokunmamış) Kumaşlar, Marmara Üniversitesi, 358s, İstanbul.
- Akşit A, Onar N, Kayatekin I, Ebeoğlu M, F, Çelik E, Özdemir İ, 2014, Polianilin ve Polipirol Kaplanan Pamuklu Kumaşların Elektromanyetik Koruyuculuk ve İletkenlik Özellikleri, Tekstil Mühendisleri Odası TMMOB, 67,10-16.
- Anonim, 2010, Elektromanyetik Alanların Etkileri, TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir.
- Anonim, 2016, Tekstilde Kaplama Uygulamaları, Rudolf Duraner RD 111, Bursa.
- Avloni J, Florio L, Henn A R, Lau R, Ouyang M, Sparavigna A, 2006, Electromagnetic Shielding With Polypyrrole Coated Fabrics Eeonyx Corporation Pinole CA94564 USA Deelopment and Applications of Nano and Microscale Layers of Conductive Polymers Applied on to Various Surfaces.
- Bedeloğlu A, Sünter N, Bozkurt Y, 2017, Elektriksel Olarak İletken Tekstil Yapıları Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları, TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası 79, 7-17.
- Bertin, P.E, 1975. Principlesand Praticce of X-Ray Spectrometric Analysis. PlenumPress, 1078 P,New York, USA.
- Bhadra S, Khastgir D, Singha N K, Lee J H, 2009, Progress In Preparation Processing and Applications Of Polyaniline, Progress In Polymer Science, vol. 34, no. 8, 783-810.
- Chiono V, Mozetic P, Boffito M, Sartori S, Gioffredi E, Silvestri A, Rainer A, Giannitelli S M, Trombetta M, Nurzynska D, Meglio F D, Castaldo C, Miraglia R, Montagnani S, Ciardelli G, 2014, Polyurethane Based Scaffolds for Myocardial Tissue Engineering, Interface Focus, 4, 1-11.
- Chunga C, Leeb M, Choeb E K, 2004, Characterization of Cotton Fabric Scouring by FT-IR ATR Spectroscopy, Carbohydrate Polymers 58, 417–420, Korea.
- Clayton, R P, 2006, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 983p, Canada.

- Çırak Z D, Yakıncı D B, 2020, Tıbbi Uygulamalarda Kullanılan Biyouyumlu Biyomalzemeler, İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, 2, 515-526.
- Dağ N, 2010, İletken Tekstil Yüzeylerinde Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğinin Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Denizli.
- Dağ N, Palamutcu S, (2009). Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 3, No: 1, 87-101.
- Demirci M, 2009. Polietilen Evoh Harmanlarının Hazırlanması ve Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, İstanbul.
- Dizdar E N, 2004, Bilgisayar Kullanıcılarında Elektromanyetik Işımların İnsan Sağlığına Etkisinin İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi, 4, 625-628.
- Doğan S, Gören A, Kayacan Ozan, 2018, Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası, 25, 44-52.
- Erdem S, 2008, Çatıda Kullanılan Polimer Kökenli Levhaların Karşılaştırmalı Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 156s, İstanbul.
- Erdik E, 2007, Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Kitabevi, 531s, Ankara.
- Eren S, 2014, EMR Koruma Amaçlı Bikomponent Polyester İplik Üretimi, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi, 178, Bursa.
- İldız D, 2021, Modal Ve Tencel Kumaşların Su Ve Yağ İticilik Performansının Geliştirilmesinde Siklodekstrin Kullanımının Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 74s, Denizli.

- Karaca E, 2017, Yüksek Yoğunluklu Polietilen Hidroksiapatit (YYPE-HA) Nanokompozit Sistemlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Ankara.
- Kavlak İ, 2019, PVC Profil Hamuru Üretiminde Kullanıma Uygun Termal ve UV Dayanımı Yüksek Olan Yeni Nesil Stabilizör ve Katkı Malzemelerinin Araştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 116s, Eskişehir.
- Kaya A İ, Çifci A, 2017, Kaplama Yöntemi İle Ahşap Kompozit Malzemelerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri, Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), 2,180-185.
- Kılıç G, Örtlek, H G, Saraçoğlu, Ö G, 2014. Elektromanyetik Çevre Kirliliği ve Bu Kirlilikten Korunmada Tekstil Çözümleri, TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası, Kayseri, 67, 23-35.
- Kılıçkap S, Erdiş E, 2013, Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alan Cep Telefonları Baz İstasyonları ve Kanser Riski, Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 35, 311-317.
- Koklukaya A N, Yıldırım E, Selvi M, 2017, The Relationship Between Pre-Service Teachers Awareness Levels of Electromagnetic Pollution and Other Environmental Problems, Eurasian Journal of Educational Research, 17-35.
- Köklükaya A N, Selvi M, 2015, Elektromanyetik Kirliliğe Sebep Olan Teknolojik Cihazların Bilinçli Kullanımına İlişkin Farkındalık Ölçeğinin Geliştirilmesi, Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 16, 105-121.
- Mıstık S İ, Sancak E, Usta İ, Koçak E D, Akalın M, 2012, Investigation Of Electromagnetic Shielding Properties Of Boron and Carbon Fibre Woven Fabrics and Their Polymer Composites, Marmara University, Technology Faculty, Department of Textile Engineering, RMUTP International Conference Textiles & Fashion, Bangkok, Thailand.
- Ormancı F S, 2007, Süt Ürünlerinin Ambalajlanmasında PVC Malzemenin Kullanımı ve Migrasyon, Ankara Üniversitesi, Gıda 2007, 4, 187-193, Ankara.

- Palanisamy S, Tunakova V, Militky J, 2017, Fiber Based Structures For Electromagnetic Shielding Comparison Of Different Materials and Textile Structures, Textile Research Journal, 21p, Czech Republic.
- Schiers, J, Long, T E, 2003, Modern Polyesters, Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters, Wiley Series in Polymer Science, 784p, Great Britain.
- Songur Z, Acar M, 2014, Polisülfonun Klorometillenmesi, Journal of the Turkish Chemical Society, 1, 14-16.
- Su C, Suarez D L, 1995, Coordination of Adsorbed Boron A FT-IR Spectroscopic Study, Environmental Science Technology, 29, 302-311.
- Şamlı B E, Bahadır Ünal Z, 2018, Giysi Üretiminde İletken Kumaşların Kullanımı, Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), 3, 445-451.
- Şeker S, Çerezci O, 1997, Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 468s, İstanbul.
- Şeker S, Çerezci O, 2000, Radyasyon Kuşatması, Elektriğin ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 189s, İstanbul.
- Şimşek B, Uygunoğlu T, 2018, İnce Agregata ile Yer Değiştirmiş Olan CaCO_3 Takviyeli ve Takviyesiz Polipropilenlerin Geleneksel Beton Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 1338-1342.
- Tamam C, Evrensel M, Tamam Y, 2016, Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Bilimsel Tamamlayıcı Tıp, Regülasyon ve Nöralterapi Dergisi, 10, 19-25.
- Tatlı M, 2020 Tekstil, Yüzeylerine Kaplama Yöntemi İle Fonksiyonel Özellik Kazandırılması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Denizli.
- Topçu G, 2015, UV Işınları İle Sertleşebilen Hidrofobik Poliüretan Yüzey Kaplama Malzemelerinin Geliştirilmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, İstanbul.

- Trosic I, Pavicic I. Disturbance of Cell Proliferation in Responseto Mobile Phone Frequency Radiation Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, 2009, 60: 109-15.
- Türel B, 2013, Fosfin Oksit ve Sülfon İçeren Poliüretanların Sentezi ve Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 144s, İstanbul.
- V. Prasad Kodali, 1996,Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE Press.
- Yaren H, Karayılanoglu T, 2005, Radyasyon ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 2005:4 (4), Ankara, 199-208.
- Yılmaz R, 2013, Kaplama Tekstil Yüzeylerinin Elektromanyetik Kalkanlama Performansının Araştırılması, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, Tekirdağ.
- Yılmaz R, 2014, Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler, Electronic Journal of Vocational Colleges, 1, 136-150.
- Yılmaz R, Ağırhan A Ö, Ağırhan M, 2018, Pirol İle Kaplanan Karbon Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi, Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11, 159-178.
- Zamanian A, Hardiman C, 2005, Electromagnetic Radiationand Human Health: A Review of Sourcesand Effects, High Frequency Electronics, pp. 16-26.

İnternet Kaynakları

1-http://www.zamandayolculuk.com/html-3/em_spektrum.htm, 05.06.2022

2-<http://www.acikbilim.com/2013/11>, 09.06.2022

3-<https://tr.wikipedia.org/wiki/Polistiren>, 27.09.2022

4-<https://nsb-polymers.de/tr/abs-akrilonitril-butadien-stiren/>, 27.09.2022

5-<https://www.aldemirltd.com/polymer>, 27.09.2022

6-https://gammapak.com/img/belge/polimer_direnc.pdf, 08.09.2022

