T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİANİLİN POLİESTER (PANI/PES) VE POLİANİLİN POLİAMİD (PANI/PA) KOMPOZİT KUMAŞLARININ OLUŞTURULMASI, ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİKLERİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma Zehra ENGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. İsmail USTA

İSTANBUL 2011

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİANİLİN POLİESTER (PANI/PES) VE POLİANİLİN POLİAMİD (PANI/PA) KOMPOZİT KUMAŞLARININ OLUŞTURULMASI, ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİKLERİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma Zehra ENGİN

(522808002)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. İsmail USTA

İSTANBUL 2011

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım boyunca yakın ilgisini esirgemeyen, bana yol gösteren, kıymetli bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Doç.Dr. İsmail USTA'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Erhan SANCAK'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışma aşamasında beni destekleyen, laboratuar çalışmalarımda benden yardım ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Zehra YILDIZ'a ve Arş. Gör. Onur ATAK'a , saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim süresince yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen babam, annem ve kardeşim Furkan ENGİN'e çok teşekkür ederim.

Destekleriyle beni yalnız bırakmayan Firdevs GÜRE ve Derya KARATAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Mart, 2011 **Fatma Zehra ENGİN**

İÇİNDEKİLER

SAYFA

TEŞEKKÜR ..... **i**

İÇİNDEKİLER ..... **ii**

ÖZET ..... **viii**

ABSTRACT ..... **ix**

SEMBOLLER ..... **x**

KISALTMALAR ..... **xii**

ŞEKİLLER ..... **xv**

TABLOLAR ..... **xxi**

BÖLÜM I. GİRİŞ ve AMAÇ **1**

I.1. GİRİŞ **1**

BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER **6**

II.1 ELEKTROMANYETİK ALANLAR **6**

II.1.1 Elektrik Alan **6**

II.1.1.1. Sürekli Yük Dağılımının Elektrik Alanı **9**

II.1.1.2. Gauss Yasası **12**

II.1.2. Manyetik Alan **13**

II.1.2.1. Manyetik Kutuplar **15**

II.1.2.2. Manyetik Alan Parametreleri **17**

II.1.2.3. Faraday Yasası **18**

II.1.2.4. Manyetik Kuvvet **18**

II.1.2.5. Akım ve Manyetik Kuvvet **19**

II.1.3. Elektromanyetik Alanlar **19**

II.1.3.1. Elektromanyetik Kuvvet **20**

II.2. ELEKTROMANYETİK DALGALAR **20**

II.2.1 Elektromanyetizmanın Temel Denklemleri **22**

II.2.1.1. Gauss Yasası **23**

II.2.1.2. Faraday Yasası **24**

II.2.1.1. Ampere Kanunu **26**
II.2.1.2. Maxwell Denklemleri **27**
II.2.2. Elektromanyetik Dalgaların Üretilmesi **28**
II.2.3. Elektromanyetik Dalgaların Yayılması **29**
II.2.3.1. Dalga Denklemlerinin Çıkarılması **29**
II.2.3.2. Dalga Denklemlerinin Çözümü ve Yayılma Hızı **31**
II.2.3.3. Elektromanyetik Dalgaların Gücü, Alan Şiddeti, Taşıdığı Enerji ve Poynting Vektörü **35**
II.2.3.4. Polarizasyon **37**
II.2.4. Elektromanyetik Dalgaların Kutuplanması ve Algılanması **38**
II.3. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM **38**
II.4. ELEKTROMANYETİK DALGA KAYNAKLARI **46**
II.5.ELEKTROMANYETİK DALGALARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ **47**
II.5.1 Elektromanyetik Dalgaların Genel Etkisi **51**
II.5.1.1. Dokular Üzerine Etkisi **51**
II.5.1.2. Göz Üzerine Etkisi **54**
II.5.1.3. Kulak Üzerine Etkisi **54**
II.5.1.4. Sinir Sistemi Üzerine Etkisi **54**
II.5.1.1. Üremeyle İlgili Dokular Üzerine Etkisi **54**
II.5.1.2. Dolaşım Sistemi ve Kan Üzerine Etkisi **55**
II.5.1.3. Bağışıklık Sistemi Üzerine Etkisi **55**
II.5.2. Cep Telefonu ve Etkileri **56**
II.5.2.1. Termal Olmayan Etki **57**
II.5.2.2. Termal Etki **59**
II.5.3. Baz İstasyonları ve Etkileri **60**
II.5.4. Tv ve Radyo Antenleri ve Etkileri **61**
II.6. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA **62**
II.6.1. Elektromanyetik Kalkanlama Mekanizması **63**
II.6.2. Kalkanlama Etkinliği **64**
II.6.3. Kalkanlama Etkinliği Ölçümünde Kullanılan Yöntem ve Standartlar **68**
II.7. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİ OLAN TEKSTİL YAPILARI **69**
II.7.1. İletken Tekstil Yapıları Oluşturma Yöntemleri **69**

II.7.1.1. İletken Katkı Malzemeleri Ekleyerek Oluşturulan Tekstil Yapılarının Kalkanlama Etkinliği **71**
II.7.1.2. İletken Liflerle Tekstil Liflerinin Bir Arada Eğrilmesiyle Oluşan İletken İpliklerden Elde Edilen Yüzeylerin Kalkanlama Etkinliği **72**
II.7.1.3. İletken Tekstil Yüzeylerinin Katmanlar Halinde Yada Dolgu Materyalleriyle Birlikte Oluşturdukları İletken Kompozitlerin Kalkanlama Etkinliği **75**
II.8. İLETKEN POLİMERLERİN TEKSTİL YÜZEYLERİNE MUAMELE EDİLMESİ İLE İLETKEN YAPILARIN OLUŞMASI VE ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLERİ **79**
II.8.1. İletken Polimer Kaplı Kumaşların X Bandı, W Bandı Ve Radyo Frekans Aralıklarındaki Kalkanlama Davranışı **79**
II.8.2. Polianilin Kaplı Kumaşlarının Kalkanlama Etkinliği **81**
II.8.3. Polipirol/PET Kumaş Kompozitinin Elektrokimyasal Polimerizasyon İle Oluşumu Ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği **82**
II.8.4. Polipirol Kaplı Poliester/Likra İletken Kumaşın 1-18ghz Frekans Aralığında Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi **84**
II.8.5. Polipirol Kaplı Naylon/Likra İletken Kumaşın Elektromanyetik Kalkanlama Ve Radyasyon Absorbsiyon Etkinliğinin Ölçülmesi **87**
II.8.6. Polipirol Kaplı Poliester Dokusuz Yüzeylerin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği **89**
II.9. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİ OLAN TEKSTİL YAPILARININ KULLANIM ALANLARI **91**
II.10. İLETKEN POLİMERLER **92**
II.10.1. Elektriksel İletkenlik **95**
II.10.1.1. Polimerlerde Elektriksel İletkenlik **97**
II.10.2. İletken Polimerlerin Yapısı **97**
II.10.3. İletkenlik Mekanizması **99**
II.10.3.1. Band Kuramı **100**
II.10.4. Doplama İşlemi **105**
II.10.5. Atlama (Hopping) Olayı **109**
II.10.6. İletkenlik Polimerlerin Sentezi **110**
II.10.6.1. Kimyasal Yöntem **110**

II.10.6.2. Elektriksel Yöntem **111**
II.11. POLİANİLİN **112**
II.11.1. Polianilinin Tarihçesi **112**
II.11.2. Polianilinin Yapısı **112**
II.11.3. Polianilinin Sentezi **114**
II.11.3.1. Kimyasal Polimerizasyon **114**
II.11.3.2. Elektrokimyasal Polimerizasyon **118**
II.11.3.3. Kalıpla Polimerizasyon **119**
II.11.3.4. Enzimatik Polimerizasyon **119**
II.11.3.5. Fotokimyasal Polimerizasyon **119**
II.11.3.6. Plazma Polimerizasyon **120**
II.12.POLİANİLİNİN ELEKTRİKSEL İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ **120**
II.12.1. Polianilinin Doplanması **122**
II.12.2. Polianilinin İletkenliğine Etki Eden Faktörler **124**
II.13. POLİANİLİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ **126**
II.14. POLİANİLİNİN ÇÖZÜNÜRLÜK VE İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ **127**
II.15. POLİANİLİNİN KULLANIM ALANLARI **128**
BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI **130**
III.1 ARAŞTIRMA YÖNTEMİ **130**
III.2 DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER **130**
III.2.1. Kullanılan Kumaşlar **130**
III.2.2. Kullanılan Kimyasallar **131**
III.2.3. Kullanılan Cihazlar **131**
III.3. YAPILAN ÇALIŞMALAR **131**
III.3.1. Poliester ve Poliamid Kumaşlar Üzerine Polianilinin Polimerizasyonu İle Kompozit Kumaşların Üretimi **131**
III.3.1.1. Poliester kumaş üzerine 0,8 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu **134**
III.3.1.2. Poliester kumaş üzerine 0,5 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyon **134**
III.3.1.3. Poliester kumaş üzerine 1,2 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu **134**

III.3.1.4. Poliamid kumaş üzerine 0,8 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu....135
III.3.1.5. Poliamid kumaş üzerine 0,5 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu....135
III.3.1.6. Poliamid kumaş üzerine 1,2 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu....136
III.3.2. Elde Edilen Kompozit Kumaşlara Uygulanan Testler ve Yöntemleri....136
III.3.2.1. Mukavemet Testi....136
III.3.2.2. Patlatma Mukavemeti Testi....137
III.3.2.3. FTIR Analizi....137
III.3.2.4. Elektromanyetik Dalgaları Kalkanlama Etkinliği Testi....138
III.3.2.5. İletkenlik Testi....139
III.3.2.6. Yıkama Testi....140
III.3.2.7. SEM Analizi....140
BÖLÜM IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA....142
IV.1.MUKAVEMET TESTLERİNİN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI....142
IV.2. PATLATMA MUKAVEMETİ TESTLERİNİN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI....144
IV.3. FTIR ANALİZİ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI....145
IV.4. ELEKTROMANYETİK DALGALARI KALKANLAMA ETKİNLİĞİ TESTLERİNİN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI....150
IV.4.1.EMSE sonuçları ve Karşılaştırılması....150
IV.4.1. Absorbsiyon sonuçları ve Karşılaştırılması....153
IV.4.1. Yansıtma sonuçları ve Karşılaştırılması....155
IV.4.1. Geçirgenlik sonuçları ve Karşılaştırılması....157
IV.5. İLETKENLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI.. 159
IV.6. YIKAMA TESTLERİ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI....160
IV.7. SEM GÖRÜNTÜLERİ VE KARŞILAŞTIRILMASI....163
BÖLÜM V. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER....166
V.1. GENEL SONUÇLAR....166
V.2.ÖNERİLER....169

KAYNAKLAR **171**
ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

POLİANİLİN POLİESTER (PANI/PES) VE POLİANİLİN POLİAMİD (PANI/PA) KOMPOZİT KUMAŞLARININ OLUŞTURULMASI, ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİKLERİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, polianilinin; poliamid örme kumaşa ve poliester dokuma kumaşa farklı monomer konsantrasyonlarında, kimyasal polimerizasyonla polimerize edilerek kaplanmasıyla iletken kompozit kumaşlar oluşturuldu. Elde edilen bu kompozitleri oluşturan bileşenlerin etkileşimi ve yapıdaki bağlar FTIR ile; elektromanyetik dalgaları kalkanlama ve absorbsiyon özellikleri; 15- 3000 MHz aralığında Network Analyzer'da kompozitin elektromanyetik dalga geçirgenliği ölçülerek incelendi. Elektriksel özellikleri iki uç metoduyla yüzey özdirenci ölçülerek, yüzey yapıları SEM analizi ile, mekanik özellikleri ise; tekrarlı yıkamalar, patlatma ve kopma mukavemeti testleri yapılarak incelendi.

İletken PANI/PES kompozitlerinde 0,8 M da 7,20 dB kalkanlama ve 36 kΩ/sq yüzey özdirenci değeri, PANI/PA kompozitlerinde 0,5 M da 6,74 dB kalkanlama değerleri ile 20kΩ/sq yüzey özdirenci değerleri elde edildi. Ayrıca PANI/PES kompozitte %73 ve PANI/PA kompozitte %74 absorbsiyon değeri ölçüldü. Tekrarlı yıkamalar sonucunda PANI/PES kompozitlerinde iletkenlik ve kalkanlama değerlerinde hızla düşüş gözlemlenirken, PANI/PA kompozitlerinde daha az miktarlarda düşüş gözlemlendi. Mukavemet testleri sonucunda PANI/PES kompozitlerinde mukavemetin monomer oranı arttıkça arttığı, fakat belirli bir noktadan sonra azaldığı; PANI/PA kompozitlerinde ise monomer konsantrasyonuna bağlı olarak mukavemetin arttığı, fakat işlem görmemiş kumaşa göre azaldığı tesbit edildi. FTIR analizi sonucunda; her iki kompozittede yüzey ile polianilin arasındaki etkileşimin varlığı, polimerizasyonun olduğu ve sonuç olarak iletken polianilinin kumaşlara bağlandığı, SEM görüntüleri incelendiğinde ise; tüm kompozitlerde polimerin kaplanmış kumaş yüzeyine belirli oranlarda tutunduğu tesbit edildi.

Mart, 2011 **Fatma Zehra ENGİN**

ABSTRACT

PRODUCTION AND INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECTIVENESS AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYANILINE POLYESTER (PANI/PES) AND POLYANILINE POLYAMID (PANI/PA) COMPOSITE FABRICS

In this study conductive composite fabrics were produced from polyester woven and polyamid knitted fabrics by chemical polymerization of aniline. The bond type between polymer and surface were obtained from FTIR. Elektromagnetic shielding behaviour of manufactured composites was carried out in the frequency range from15 MHz to 3000 MHz by using Network Analyzer. Electrical proporties of composites were examined with the two probe method. Surface morphologies of composites were investigated by SEM analysis. Mechanical properties of composites were investigated by carrying out rewashing, burst and tensile strenght test

Conductive PANI/PES composite give 7,20 dB value of shielding behaviour and 36kΩ/sq value of surface resistivity at 0,8M aniline concentration. Conductive PANI/PA composite give 6,74dB value of shielding behaviour and 20 kΩ/sq value of surface resistivity at 0,5M aniline concentration. The absorption studies of conducting polyaniline-coated fabric shows that 73% of the energy is absorbed by PANI/PES and 74% of the energy is absorbed by PANI/PA. The conductivty and shielding behaviour of PANI/PES composites are decreased significantly and more rapidly than those of PANI/PA composites after washing. Tensile strength of PANI/PES composites increase as concentration of aniline increases but then it suddenly decreases. On the other hand, burst strenght of PANI/PA decreased after treatment with aniline but they showed better values by high concentration of aniline. The presence of interaction between polyaniline and fabrics, found as a result of conductive polyaniline polymerization, were determined after FTIR analysis. The distribution of particles on the surface of composites were found out with SEM analysis.

Mart, 2011 **Fatma Zehra ENGİN**

SEMBOLLER

B : Manyetik Akı Yoğunluğu (weber/m2)

Bm : Manyetik Alan Genliği

c : Işık Hızı (m/s)

d : Malzeme Eni (m)

e : Taşıyıcı Yük Miktarı

E : Elektrik Alan (N/C veya Volt/metre)

Em : Elektrik Alan Genliği

F : Kuvvet (Newton)

f : Frekans

fa : Atlama Frekansı

H : Manyetik Alan (Amper/metre)

h : Planck Sabiti (keVs)

i : Akım (Ampere)

J : Akım Yoğunluğu (amper/m2)

k : Dalga Sayısı

kx : Anilin/ Oksidant Oranı

l : Uzunluk (metre)

M : Mol/ Litre

m : kütle (gram)

n : Yük Yoğunluğu

nan : Anilin Mol Sayısı

nox : Oksidant Mol Sayısı

ne : Alınan verilen Elektron Sayısı

N : Atom Sayısı

N(E) : Bölge Yoğunluğu

Nd : Zincir Uzunluğu (m)

P : Güç (Watt)

p : Bağıl Faz Hızı (m/s)

q : ElektrikselYük (coloumb)

r : Uzaklık (m)

Re : Direnç (Ω)

R(a) : Atlama Mesafesi (m)

t : Zaman (s)

ds : Diferansiyel kesit alanı (m^2)

S' : Poyting Vektörü(W/m2)

ν : Yükün Hızı (m/s)

V : Potansiyel (volt)

u : Taşıyıcının Hareketliliği (m2/Vs)

U : Enerji (joule)

w : Elektrod Eni (m)

Z : Empedans (Ohm)

φ : Elektrik Alan Akı Yoğunluğu (Coloumb/m2)

ϕ : Manyetik Akı (weber)

γ : Kütle Çekim Sabiti

ρ : Yük yoğunluğu (Coloumb/m3)

ε : Elektriksel Geçirgenlik Katsayısı (Farad/m veya C2/Nm2)

μ : Manyetik Geçirgenlik Katsayısı (Henry/m)

λ : Dalga Boyu

υ : Faz Hızı (m/s)

ω : Açısal Hız (rad/sn)

η : Kırılma İndisi

$\nabla\cdot$: Diverjans Operatörü (1/m)

$\nabla\times$: Rotasyon Operatörü (1/m)

δ : Deri Kalınlığı

σ : Elektriksel İletkenlik (1/Ωcm)

ϭ : Öz iletkenlik (S/cm)

τ : Malzeme Kalınlığı (cm)

χ : Yüzey Öz Direnci (Ω/sq yada Ω m)

α : Dalga Fonksiyonu Düşüşü

κ : Boltzman Sabiti

β : Malzeme İncelme Katsayısı

ψ : Doğrusal Yük Yoğunluğu (C/m)

KISALTMALAR

A : Absorbe Edilen Dalga

$AlCl_3$: Alüminyum Klorür

AQAS : Anthraquinone-2-Sulfonic Asid

AMPS : Advanced Mobile Phone System

AM : Amplitude Modified

APS : Amonyum PerSülfat

AsF_5 : Arsenik Penta Florid

B' : İçten Yansıyan Dalga

BM : Birleşmiş Milletler

CB : İletkenlik Bandı

$CuCl_2$: Bakır Klorür

CELT : Constrained Energy Lopped Transform

CNW : Coated Nonwoven

CWKF : Co- Weaving-Knitting Fabrics

DBSA : Dodesil Benzen Sülfonik Asit

DMAc : Dimetil Asit Amid

DNA : Deoksi Ribonükleik Asit

ECP : Electro Chemical Polimerization

ED : Elektromanyetik Dalgalar

EEG : Elektro Ense Folagram

EB : Emeraldine Base

Eg : Band Eşik Enerjisi

ELF : Extremely Low Frequence

eV : Elektrovolt

emk : Elektro Motor Kuvveti

EM : Elektro Manyetik

EMF : Electro Magnetic Fields

EMI : Electro Magnetic İnterference

ESD : Electro Static Discharge

EMSE : Electro Magnetic Shielding Effect

$FeCl_3$ **:** Krom Sülfonik Asit

$FeCl_4$ **:** Ferrik Klorid

FM **:** Frequency Modified

FDTD **:** Finite-Difference Time –Domain Method

GSM **:** Global System for Mobile

HCl **:** Hidroklorik Asit

H_2O_2 **:** Hidrojen Peroksit

H_2SO_4 **:** Sülfürik Asit

HMPA **:** Heksa Metil Fosfor Amid

HNO_3 **:** Nitrik Asit

HRP **:** Yaban Turbu Peroksit

HOMO **:** Highest Occupied Moleculer Orbital

I **:** İsabet Eden Dalga

IR **:** Infrared

ICNIRP **:** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

ICRP **:** International Commission on Radiological Protection

ILO **:** International Labour Organization

IL **:** Insersiyon Kaybı

ITO **:** Inidyum Tinoksit

$K_2Cr_2O_7$ **:** Potasyum Dikromat

LEB **:** Leuco Emeraldine Base

LUMO **:** Lowest Unoccupied Moleculer Orbital

mmf **:** Manyeto Motor Kuvveti

MD **:** Mikro Dalga

mSAN **:** m-Aminobenzen Sülfonik Asit

meOH **:** Metil Alkol

NH_3 **:** Amonyak

NMP **:** N-Metil-2- Pirolidin

NK **:** Naturel Killer

NRPB **:** The National Radiological Protection Board

$(NH_4)_2S_20_8$ **:** Amonyum Persülfat

PA **:** Poliamid

PANI **:** Polianilin

PAN **:** Poliakrilonitril

PET **:** Poliester

PES **:** Poliester

PNB **:** Pernigraniline Base

PP **:** Polipiropilen

PPy **:** Polipirol

pTSA **:** p-Toluen Sülfonik Asit

PVA **:** Polivinil alkol

P05 **:** Poliester/PANI 0,5 M konsantrasyonlu

P08 **:** Poliester/PANI 0,8 M konsantrasyonlu

P12 **:** Poliester/PANI 1,2 M konsantrasyonlu

R **:** Yansıyan Dalga

RF **:** Radio Frequency

RFI **:** Radio Frequency Intrference

RNA **:** Ribonükleik Asit

RTCY **:** Rotor Twisted Conductive Yarn

SAR **:** Specific Adsorption Rate

SBP **:** Soya Fasülyesi Peroksidi

SE **:** Kalkanlama Etkinliği

SNW **:** Spunbond Nonwoven

Sp **:** Spin Açısal Moentumu

SS **:** Stainless Steel

T **:** İletilen Dalga

TEM **:** Transmission Electron Microscopy

TMU **:** Tetra Metil Üre

TUİK **:** Türkiye İstatistik Kurumu

UV **:** Ultra Viole

UHF **:** Ultra High Frequency

WHO **:** World Health Organization

VB **:** Bağ Bandı

VRH **:** Variable Hopping Range

05N **:** Poliamid/PANI 0,5 M konsantrasyonlu

08N **:** Poliamid/PANI 0,8 M konsantrasyonlu

12N **:** Poliamid/PANI 1,2 M konsantrasyonlu

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil II.1 Elektrik Alanda Artı ve Eksi Yüklere Etkiyen Kuvvetlerin Yön ve Doğrultuları 8
Şekil II.2 Elektrik Alan Çizgileri 10
Şekil II.3 Pozitif Yüklü Bir Tabakanın Elektrik Alan Çizgileri ve Zıt Yüklü Levhalar Arasındaki Elektrik Alan Çizgileri 11
Şekil II.4 Birim Yüzey Elemanından Geçen Çizgi Sayısı 12
Şekil II.5 Manyetik Alan Çizgileri 13
Şekil II.6 Manyetik Alan Çizgilerinin Yönünün Bulunması 14
Şekil II.7 Bir mıknatısta Manyetik Alan Çizgilerinin Yönü. 16
Şekil II.8 Dünyanın Manyetik alanının Şematik Gösterimi 16
Şekil II.9 Dünyanın Dönüş Ekseni İle Dipolün Ekseni Arasındaki Yaklaşık Olarak 11 Derece Farkın Şematik Gösterimi 17
Şekil II.10 İki Şekilde Elektromanyetik Dalganın Y-X Düzlemine Paralel Bir Düzlem İçinde Z Ekseni Boyunca İlerlemesi 21
Şekil II.11 Elektromanyetik Dalga İle Onu Üreten Kaynak Arasındaki İlişki 28
Şekil II.12 Elektromanyetik Dalganın Yayılması 28
Şekil II.13 Düzlemsel Elektromanyetik Dalganın Şematik Gösterimi 31
Şekil II.14 Elektromanyetik Dalgaların Kutuplanmış Halde Anlık Görünümü 38
Şekil II.15 Bir Dalganın Şematik Gösterimi 39
Şekil II.16 Bir Dalganın Enerjisi Frekansı ve Dalga Boyu Arasındaki İlişki 40
Şekil II.17 Elektromanyetik Spektrum 41
Şekil II.18 Kara Cisim Eğrisi 42
Şekil II.19 Isısal ve Isısal Olmayan Işınımların Göreli Değişimleri 42
Şekil II.20 Beyaz Işığın Bileşenlerine Ayrılması 44
Şekil II.21 Dünya'ya Güneşten Gelen UV Radyasyonun Büyük Bir Kısmının Yüzeye Ulaşmadan Önce Atmosferdeki Ozon Tabakası Tarafından Emilmesi 44
Şekil II.22 Elektromanyetik Spektrum Üzerinde İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Bölgelerin Frekanslarına Göre Yeri 46
Şekil II.23 Kontrolsüz Etkilenme İçin Sınır Değerleri 51

Şekil II.24 Elektromanyetik Radyasyon Sonucu Dokularda Meydana Gelen Isınma Modeli 59
Şekil II.25 Elektromanyetik Dalgaların Kalkanlanmasının Şematik Gösterimi 65
Şekil II.26 Materyallerin Yüzey Özdirençlerine Ve Kullanım Aralıklarına Göre Sınıflandırılması 67
Şekil II.27 Tekstil Yapılarının İletken Hale Getirilmesi İçin Kullanılan Değişik Yöntemlerin Şematik Gösterimi 70
Şekil II.28 Metal İplik Takviyeli Tekstil Yapısı 72
Şekil II.29 Paslanmaz Çelik Lif Takviyeli Poliester İplik..... 73
Şekil II.30 Kumaşların Yüzey Özdirençlerinin ve Kalkanlama Faktörünün Karşılaştırılması 73
Şekil II.31 Dokuma Kumaşlardaki Açık Grid Formlarının Şematik Gösterimleri 73
Şekil II.32 EM Kalkanlama Etkinliği Üzerine Metal Çeşidinin Etkisi 74
Şekil II.33 Dikişle Bağlamada 1,2 Ve 3 Katlı Yapıların Kalkanlama Etkinlikleri 75
Şekil II.34 İğnelemeyle Oluşturulan Dokusuz Yüzeylerin Kalkanlama Etkinlikleri 75
Şekil II.35 Kaynaşmamış İplik 76
Şekil II.36 Örme Kumaşların Geometrik Gösterimi 76
Şekil II.37 Örme Kumaş Kompozitlerin Frekanslara Göre EMSE Değerleri 77
Şekil II.38 Dokuma Kumaşların ve CWFK Kompozitlerin Detayları 78
Şekil II.39 CWFK Kompozitlerin Kalkanlama Değeri 78
Şekil II.40 Çeşitli Metalize Edilmiş Dokusuz Yüzeylerin Kalkanlama Etkinliği 78
Şekil II.41 Polianilin Kaplı Kumaşın Kalkanlama Etkinliği 80
Şekil II.42 Muamele Görmemiş Slika Kumaş ve Polianilin Kaplı Slika Kumaş 81
Şekil II.43 Oksidant Tipinin PPy Konsantrasyonuna ve Özdirence Etkisi; Yüzey Aktif Mevcudiyetinin PPy Konsantrasyonuna ve Özdirence Etkisi 83
Şekil II.44 Kimyasal Polimerizasyon ve Elektrokimyasal Polimerizasyon ile Oluşturulan Numunelerin SEM Görüntüleri 83
Şekil II.45 Kimyasal Polimerizasyon ve Elektrokimyasal Polimerizasyon ile Oluşturulan Numunelerin Yüzey Dirençleri..... 84
Şekil II.46 Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği SE Absorbsiyon ve Yansıma Kayıplarının Özdirencin Değişimine Göre Değişimi..... 84
Şekil II.47 Polipirol Kaplı Poliester Likra Lifleri SEM Görüntüsü 85
Şekil II.48 Farklı Polimerizasyon Zamanlara Göre PTSA İle Doplanmış Yapının Yüzey Öz Direnci 86

Şekil II.49 Farklı Dopant Miktarlarına Göre A) 60 Dk Ve B) 180 Dk Polimerizasyon Sürelerinde Nispi Geçirgenlik 86
Şekil II.50 a)3 Farklı Numune İçin Yansıma ve Absorbsiyon Yüzdeleri b) Toplam Kalkanlama Etkinliği 87
Şekil II.51 Polipirol Kaplı Nylon Lifinin Görünümü 87
Şekil II.52 Absorbsiyon ve Yansıtmanın Toplam Kalkanlamadaki Oranı ve Aralarındaki İlişki 88
Şekil II.53 15-16 Ghz Frekans Aralığındaki Radyasyona Maruz Kalmış a) İletken Olmayan b)İletken Kumaşın Değerleri 89
Şekil II.54 Polipirol Kaplı Poliester SEM Görüntüsü 90
Şekil II.55 Farklı Yüzey Özdirençlerine Sahip 6 Numunenin(3,6,7,9,18,40 Ω/Sq) TEM Hücresinde Ölçülen İnsersiyon(İletim) Kayıpları Değerleri 90
Şekil II.56 Kalkanlama Materyali Olarak Tekstillerin Günlük Hayatta Kullanımına Örnekler. 92
Şekil II.57 Yaygın Olarak Kullanılan Bazı İletken Polimerlerin Kimyasal Yapıları 94
Şekil II.58 Teflondan (Yalıtkan) Bakıra (İletken), Diğer Maddelerinkiyle Polimer İletkenliğinin Kıyaslanması 95
Şekil II.59 Sıcaklık Değişimine Bağlı Olarak İletken Polimerlerin Ve Metallerin İletkenliklerinin Değişimi 96
Şekil II.60 Konjuge Çift Bağ 97
Şekil II.61 Elektron İletiminin Şematik Gösterimi 98
Şekil II.62 Elmas(a) ve Grafit(b) Kristal Örgüleri ve Poliasetilen Zinciri (c) 99
Şekil II.63 Molekül Boyutuna Göre Enerji Seviyeleri 100
Şekil II.64 İletkenler, Yarı İletkenler Ve Yalıtkanlar Maddeler Arası Farkı Gösteren Bant Aralığı 101
Şekil II.65 Serbest Elektron Modeli 102
Şekil II.66 Konjuge İletken Polimer Sistemlerinde π ve π^*Orbitalleri Arası Mesafe 104
Şekil II.67 İnstrik Maddelerde Elektron Iletimi 105
Şekil II.68 a)Polipiroldeki Yük Dağılımı b) Enerji Bandlarının Görünümü 106
Şekil II.69 Poliasetilen için Polaron ve Bipolaron Yapıları 107
Şekil II.70 Poliasetilen İçin Polaronun Zincir Boyunca Hareketi 107
Şekil II.71 Solitonların ve Oluşum Mekanizmalarının Şematik Gösterimi 108
Şekil II.72 Doplanmış İletken Polimerlerin İletkenliklerinin Bakır Ve Civayla İlişkili Olarak Gösterimi 108

Şekil II.73 Doplanmış İletken Polimerlerin Özellikleri 108
Şekil II.74 Intersoliton Zıplama 109
Şekil II.75 Polianilinin Temel Oksidasyon Basamakları Ve Bu Basamaklarda Oluşan Formları 113
Şekil II.76 Anilinin Yükseltgenme Ürünleri 113
Şekil II.77 Polimerizasyon Işleminin Aşamaları. 115
Şekil II.78 Buhar Fazında Polimerizasyonun Şematik Gösterimi 118
Şekil II.79 Yarı 1D Yüksek Anizotropik (PANI) İle Tipik Kristalin Maddelerin Sıcaklık Değişimine Bağlı İletkenlik Özdirenç Değişimlerinin Karşılaştırılması 121
Şekil II.80 Polianilinin Kristalin- Amorf Heterojen Yapısı 122
Şekil II.81 Polianilinin Oksidadif Merkezli Doplanması 123
Şekil II.82 Polianilinin Asit Temelli Doplanması 123
Şekil III.1 Destilasyon İşlemi 132
Şekil III.2 Polimerizasyon İşlemi 133
Şekil III.3 Polimerizasyonun Tamamlanması 133
Şekil III.4 İnstron Marka 4411 Model Mukavemet Ölçüm Cihazı 136
Şekil III.5 Autoburst Digital SDL-Atlas Patlatma Mukavemeti Test Cihazı 137
Şekil III.6 Perkin Elmer 100 ATR-FTIR cihazı 138
Şekil III.7 RODHE & SCHWARZ ZVL- Network Analyzer Cihazı 138
Şekil III.8 Ölçüm Numunesi ve Referans Numunesi 139
Şekil III. 9 Keithley 8009 Resistivity Test Fixture cihazı 139
Şekil III. 10 Polaron Range Sputter Coater-SC7620 (altın kaplama cihazı). 141
Şekil III. 11 SEM, JEOL Ltd., JSM-5910LVcihazı 141
Şekil IV.1 İşlem Görmemiş (%) PES Kumaş (0) Ve 0,5-0,8-1,2 M (Mol/Litre) Anilin Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların Mukavemet Değerleri 143
Şekil IV.2 İşlem Görmemiş (%) PES Kumaş (0) Ve 0,5-0,8-1,2 M (Mol/Litre) Anilin Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların Uzama Değerleri 144
Şekil IV.3 İşlem Görmemiş (%) PA Kumaş (0) Ve 0,5-0,8-1,2 M (Mol/Litre) Anilin Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların Patlama Mukavemet Değerleri 145

Şekil IV.4 İşlem Görmemiş (%) PES Kumaş ve (P05)0,5M- (P08) 0,8M-(P12)1,2 M Anilinin Poliester Kumaşa Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların FTIR Değerleri 147
Şekil IV.5 İşlem Görmemiş (%) PA Kumaş ve (05N)0,5M- (08N) 0,8M-(12N)1,2 M Anilinin Poliamid Kumaşa Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların FTIR Değerleri 148
Şekil IV.6 PANI/PES Kompozit Kumaşlarının (P05-P08-P12) 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki 15- 3000 MHz Frekans Aralığında Kalkanlama Değerleri 150
Şekil IV.7 PANI/PA Kompozit Kumaşlarının (05N-08N-12N) 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki 15- 3000 MHz Frekans Aralığında Kalkanlama Değerleri 151
Şekil IV.8 PANI/PA ve PANI/PES Kompozit Kumaşlarının Anilin/APS Oranlarına Göre Kalkanlama Değerlerinin Karşılaştırılması 152
Şekil IV.9 PANI/PES Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki % Absorpsiyon Değerleri 154
Şekil IV.10 PANI/PA Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki % Absorpsiyon Değerleri 154
Şekil IV.11 PANI/PES Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki % Yansıtma Değerleri 156
Şekil IV.12 PANI/PA Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki % Yansıtma Değerleri 157
Şekil IV.13 PANI/PES Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki % Geçirgenlik Değerleri 158
Şekil IV.14 PANI/PA Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki % Geçirgenlik Değerleri 158
Şekil IV.15 PANI/PES ve PANI/PA Kompozit Kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin Konsantrasyonlarındaki Yüzey Özdirenç Değerlerinin Karşılaştırılması 159
Şekil IV.16 0,5-0,8-1,2 M Anilin Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların Tekrarlı Yıkamalar Sonucu EMSE Değerlerinin Değişimi 161
Şekil IV.17 0,5-0,8-1,2 M Anilin Polimerizasyonuyla Oluşmuş Kompozit Kumaşların Tekrarlı Yıkamalar Sonrası Yüzey Özdirenci Değerlerinin Değişimi 162
Şekil IV. 18 PANI/PES kompozitlerinin SEM Görüntüleri 164

Şekil IV. 19 PANI/PA kompozitlerinin SEM Görüntüleri 165

TABLOLAR

SAYFA NO

Tablo II.1 Maxwell Denklemleri 27
Tablo II.2 Başlıca Elektromanyetik Tayf Bantları ve Yaklaşık Sayısal Değerleri 45
Tablo II.3 Günlük Hayatta Karşılaşılan 110V ve 60 Hz Şebeke Frekansındaki Elektrik Alan Şiddetleri 50
Tablo II.4 Türkiye'de Kontrolsüz Etkilenme İçin Sınır Değerleri..... 51
Tablo II.5 Kalkanlama Etkinliği ve Koruma Miktarı 67
Tablo II.6 Kalkanlama Değerleri ve Nitelikleri 68
Tablo II.7 İletken Tekstil Yapılarının Oluşum Yöntemine Göre İletkenlik Değerleri 70
Tablo II.8 Pes Matrisli Farklı İletken Katkı Materyallerinden Oluşan İletken Kompozitlerin Kalkanlama Özelliklerinin Karşılaştırılması 72
Tablo II.9 Örme Kumaşların Özellikleri..... 76
Tablo II.10 Özdirenç Değerleri..... 80
Tablo II.11 Polianilin Kaplı Tekstil Kumaşlarının Yüzey Direnci Değerleri..... 81
Tablo II.12 Polianilin Kaplı Kumaşların 101 GHz Da Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği Değerleri..... 82
Tablo II.13 Kumaşların Absorbsiyon Yansıma İletkenlik ve Sıcaklık Artışı Değerleri.... 89
Tablo II.14 Kompozitlerin Yansıma, Absorbsiyon Kayıpları , İnsersiyon ve Toplam Kalkanlama Değerleri 91
Tablo II.15 Değişik Asitlerle Doplanmış Polianilinin İletkenlik Değerleri..... 126
Tablo II.16 Polianilinin Özelliklerine Göre Kullanım Alanları..... 129
Tablo III.1 %100 Poliester Dokuma Kumaş..... 130
Tablo III.2 %100 Poliamid Örme Kumaş..... 131
Tablo IV.1 Mukavemet ve Kopma Uzaması Değerleri..... 142
Tablo IV.2 Patlama Basıncı ve Patlama Süresi Değerleri..... 144
Tablo IV.3 Kompozitlerin Farklı Gerilimlerdeki Yüzey Özdirençleri 159
Tablo IV.4 Yıkama Sonrası EMSE Değerleri..... 160
Tablo IV.5 Yıkama Sonrası Yüzey Özdirenç Değerleri 162

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde insan gereksinimleri ve teknolojik ihtiyaçların birçok farklılık göstermesi nedeniyle tekstil yapılarından estetik ve konfor özellikleriyle beraber elektromanyetik ışınlara karşı koruma gibi fonksiyonel özelliklerde beklenmektedir. Özellikle teknolojinin gelişimine paralel olarak gelişen cep telefonu başta olmak üzere, ev ve iş yerlerindeki bilgisayar ve elektrikli diğer eşyalar gibi birçok elektronik aletin; yüksek gerilim hatlarının ve radarların, kızıl ötesi ışın ve radyasyon yaydığı bilindiğine göre, hayatın her alanında bir şekilde elektromanyetik dalgaların yarattığı kirliliğe maruz kalınmaktadır. Bu kirlilik canlının elektromanyetik dengesini bozmaktadır. Elektromanyetik dalgalar bu dengeyi bozarken vücuttaki dokuları ısıtarak ve kimyasal değişimlere yol açarak zarar vermektedir. Bu kirlilik gözle görülemeyişi, etkisinin çoğu zaman doğrudan hissedilemeyişi ve uzun zaman sonra birikerek görülmesi nedeniyle insanlar tarafından yeterince önemsenmemektedir. Oysaki bu etkileşim sonucu ortaya çıkan etkiler göz ardı edilmeyecek boyuttadır.

Birleşmiş Milletler Telekomünikasyon Ajansının verdiği bilgiye göre dünyada cep telefonu kullanan kişi sayısı 2010 yılı itibariyle 4,6 milyara ulaşmış bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) istatistiklerine göre ise 2010 yılı verilerine göre Türkiye'de 65 milyon cep telefonu abonesi bulunmaktadır. Bu kadar geniş bir kitle tarafından kullanılıyor olması sebebiyle elektromanyetik dalgalar ve bunların etkisi konusunda üzerinde en fazla tartışma yapılan ve tehlikesi araştırılan kaynak cep telefonlarıdır. Başta dünya sağlık örgütü WHO ve BM olmak üzere pek çok uluslar arası kuruluş elektromanyetik radyasyon ve cep telefonlarıyla ilgili çalışmaları destekleyerek etkilerini kesin olarak belirlemeye çalışmaktadır. Cep telefonu-beyin tümörü ilişkisini inceleyen INTERPHONE çalışması 13 ülkede yapılmış ve 7 yıl sürmüş olup, 10 yıl ve daha fazla süreyle cep telefonu kullanan

binlerce hasta incelenmiş ve beyin tümörü oluşumunun, cep telefonu kullanmayanlara göre 1.5 kat arttığı belirlenmiştir. [16] Bir organizmaya elektromanyetik dalga geldiğinde, DNA ve RNA'nın hücre yenilemesini engellemektedir. Ayrıca elektromanyetik dalgalara maruz kalanlarda, depresyon, lösemi, santral sinir sistemi kanserleri, melanom ve akciğer kanseri gibi bazı hastalıkların olasılıklarının arttığına ilişkin bulgular tespit edilmiştir.[14,15]

Yapılan araştırmalar sonucu ortaya çıkan tehlikeler göz önüne alınarak, bu zararlı ışınların insan vücuduna girmesini engelleyecek, çevreyle uyumlu tekstil yapılarının tasarlanması gerekli hale gelmiştir. Bu etkilerden vücudumuzun korunabilmesi amacı ile 1960 yılında kurulmuş olan Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından geliştirilmiş olan Anti radyasyon Standardına bağlı olarak bunların sınırlandırılmasına yönelik hem dünyada hem de ülkemizde pek çok sınır değerleri belirlenmiş ve elektromanyetik kalkanlama terimi ve kalkanlama materyalleri geliştirilmiştir.

Diğer yandan elektromanyetik radyasyonu azaltmak sadece insan vücudu için değil, elektronik sistemlerin gelişimi ve bilgilerin korunması için de günümüzde elzemdir. Ayrıca askeriyede mikrodalga silah teknolojileri, radarlar gibi pek çok sistemde de elektromanyetik dalgaları kalkanlama önemlidir.

Elektromanyetik kalkanlama elektromanyetik alanın iki saha arasındaki etkisinin kısıtlanması yani elektromanyetik dalgaların yolunun kesilmesi ve onların direncini kırma projesi olarak belirlenebilir. Kalkanlamanın amacı elektromanyetik dalgalara karşı biyolojik varlıkları ve dalgalara hassas elektronikleri koruma işidir ve kalkanlama materyali tarafından elektromanyetik dalgaların absorbsiyonunu ya da yansıtılmasını ifade eder.

Özel tasarlanmış tekstil yapıları farklı frekans aralıklarında ve farklı koruma etkinlik alanlarında (dB) %99' dan daha yüksek değerlerde koruma ile elektromanyetik kalkanlama sağlayabilmektedir.

Elektromanyetik kalkanlama özelliği yapının iletkenliği, manyetik geçirgenliği ve kompleks dielektirik içeriğinin maksimize edilmesi sonucu maksimum olur. Bu yüzden kalkanlama özelliği olan tekstil yapılarının eldesi için öncelikle o yapının iletken olması ya da iletken hale getirilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere sentetik tekstil liflerinin üretiminde kullanılan polimerin tipik özgül direnci 10^{10} ohm seviyesinden daha yüksektir. Bu durum elektiriği çok iyi yalıtan bir materyale uygundur. Bu yüzden bu yalıtkan yapıları iletken hale getirmek için bugüne kadar

pek çok yöntem denenmiştir. Bu yapıların üretimi için; iplik üretim safhasında sentetik polimer liflerine metal partikülleri, metal tuzları veya karbon partikülleri eklenerek iletken lifler ya da metal lif takviyeli iplikler oluşturulmakta ya da; dokuma veya örme yüzey oluşturulurken metal iplikler kullanılmakta, kumaş iletkenliğini geliştirmek içinse; kumaşlar üzerine iletken tabakalar kaplanmakta veya iletken dolgu maddeleri eklenmektir.

Klasik metal ve karbon takviyeli tekstil yapıları mükemmel iletkenlik değerleri yüzünden pek çok EMI kalkanlama uygulamalarında kullanılmaktadır. Fakat metal takviyeli tekstil yapıları işlenme zorluğu, geri dönüşüm olmaması, esnek olmamaları ve kompozitlerde zayıf lif ve metal arası tutunma yüzünden; metal yüzey kaplamaları, toz veya lifler ile doldurulmuş polimer kompozitler veya kaplamalar ise; düşük yırtılma veya çizilme dayanımlarından dolayı dezavantajlıdır. Karbon yapılar ise işlenme ve boyanma ile mukavemet problemleri yaratmaktadır.

Tüm bu dezavantajlardan dolayı metallerin elektriksel iletkenlik özellikleri ile polimerlerin esneklik, hafiflik ve kimyasal açıdan inert olan özelliklerinin birleştirilerek tek bir malzemede toplanması amacıyla yapılan araştırmalar sonucunda başka bir alternatif olarak bizimde bu çalışmada kullandığımız iletken polimerler; iletken yapıların ve kalkanlama materyallerinin oluşturulmasında son yıllarda kullanılmaktadır.

Kendi örgüsü içerisinde doğrudan elektronlar üzerinden ileri düzeyde elektriksel iletkenliği sağlayabilen polimerler iletken polimer olarak tanımlanmaktadır. İletken polimerler 1980'lerde iletkenliklerinin keşfinden sonra sentetik metallerin yeni bir sınıfı olarak teknolojide çok geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Poliasetilen (PA), Polipirol (PPy), Polianilin (PANI) gibi metallere yakın iletkenlik gösteren pek çok iletken polimer sentezlenebilmektedir.

Günümüzde elektromanyetik dalgaları absorbe etmek yansıtmaktan çok daha önemli bir özellik haline gelmiştir. Özellikle mikro dalga absorbanları askeriyede radarlarda, ayrıca cep telefonlarına karşı, bilgisayarlarda ve diğer elektroniklerde yüksek frekans ve hızlı dalgalara karşı hassas yapılarda son yıllarda kullanılmaktadır. Metal takviyeli tekstil yapılarının kalkanlama etkinliği yansıma kayıplarına bağlıdır. Metalik yüzeylere çarpan dalgalar deri kalınlığı etkisi yüzünden geri yansırlar bu yüzden metalik malzemeler elektromanyetik dalga absorbanı olarak kullanılamazlar. Metal esaslı koruyucu malzemelerden farklı olarak, iletken polimerler 30MHz-30GHz mikrodalga frekans bölgesinde elektromanyetik ışımayı yansıtma ile

uzaklaştırmanın yanında absorbe ederekte kalkanlama yapmaktadırlar. Ayrıca metallik iletkenliği ve diğer özellikleri yüzünden iletken polimerlerle kaplı yalıtkan tekstil yüzeyleri görülebilir UV (UV-Vis-NIR) aralıklarında ve RF ve W bandı aralığında kalkanlamada da metalik lif ve toz kompozitlerinin yarattığı galvanik korozyon ya da friksiyon nedeniyle iletkenlik kayıplarına neden olmadan daha iyi performanslar göstermektedir. İletken polimerlerle kaplı tekstil yüzeyleri işleme kolaylığı, hafif, fleksibil ve çevreci oldukları ve mekanik özellikleri çok fazla değiştirmeden iletkenlik sağladığı için tekstil yapılarında iplik, kumaş üretiminde ve kompozit yapımında avantajlı olarak kullanılmaktadır.

İletken polimer olarak tekstilde yaygın bir şekilde polyaniline (PANI) ve polypyrrole (PPY) kullanılmaktadır. Fakat benzenoid halkalarının kimyasal biçiminden dolayı sabit karakteristik bir yapıya sahiptirler. Genelde çözünmezler. Bu yüzden lif olarak çekilmeleri zordur. Son yıllarda, araştırmacılar iletken polimerlerin pek çok alanda kullanılabileceği düşüncesiyle sentezi, özellikleri, kararlılıkları ve işlenebilirliği üzerine odaklanmışlardır. Yapılan çalışmalarda kompozitlerde katkı materyali olarak ya da yalıtkan polimerlerle karışım halinde veya tekstil yüzeylerine kaplanarak kullanılabilecekleri görülmüştür.

Bu yöntemlerden herhangi biriyle elde edilen iletken dokuma, örme veya dokusuz yüzey yapılar; yapısal düzenleri, fleksibiliteleri, kullanışlı olmaları nedeniyle yeni nesil, multifonksiyonel ve interaktif tekstillerin oluşumu için öncü olmaktadırlar. İletken kumaşlardan EMI kalkanlaması, ESD koruması ve RFI korumasında düşük ağırlık ve konfor özellikleri yüzünden faydalanılmaktadır.

Bu çalışma için seçilen Polianilin ısıl ve kimyasal stabilitesinin iyi olması, düşük fiyatı, kolay sentezi, doping seviyesine bağlı olarak yüksek iletkenliği, çevresel kararlılığı ve redoks özelliğinden dolayı iletken polimerler arasında önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden iletken yapıların oluşturulmasında en çok çalışılan polimerdir ve elektriksel iletkenliğin gerektiği askeri ve sivil endüstride elektromanyetik kalkanlama sağlayan, elektro statik dissşarj önleyen, tıp alanında, veri saklanmasında, iletiminde, mikro elektronikler, uzaybilmi ve akıllı tekstillerde kullanılacak kumaş, iplik ve kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

Yüzey olarak seçilen poliamid ise sağlamlık, sertlik ve kimyasal maddelere dayanım nedeniyle günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle elektrik endüstrisinde; diğer endüstrilerde kompozit üretiminde, zemin kaplamalarında, teknik tekstillerde, uzay bilminde ve nükleer uygulamalarda kullanılabilmektedir.

İletkenliği arttırılmış poliamid sayesinde elektromanyetik kalkanlama özelliği olan yüzey kaplamaları, halı yada güneşle direkt temas etmeyen perdeler veya kıyafetler oluşturularak insan vücudu elektromanyetik dalgalardan korunabilecek mikro elektroniklerde (elektrostatik yükleme birikimi sonucu lokal ısınmanın ,elektronik komponentlerin erken ısınmasını önlemede), toz tutmayan yüzeylerin oluşmasında, uzay biliminde ise; uzay strüktürlerinin oluşumunda kullanılabilirlik performansı artacaktır. Poliester ise kimyasallara, güneş ışığına, mikro organizmalara ve diğer pek çok etkene karşı dayanım özellikleri ve mukavemeti yüzünden başta perde olmak üzere halı ve döşemelik kumaşlarda masa örtülerinde, ev tekstilinde kullanılan tüm kumaşlarda, günlük hayatta kullanılan kıyafetlerde ve diğer aksesuarlarda, teknik tekstillerde, manto olarak ya da karışım ipliklerde ve kompozitlerde en çok kullanılan liftir. Bu yüzden kalkanlama etkinliği olan poliester kumaşlar günlük hayatta her an her yerde kullanılabilecektir.

Bu çalışma; polianilin poliamid ve polianilin poliester kompozit yapılarının oluşturulması; polianilinin kumaş yapıları ve yüzeyleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve yorumlanması; poliamid ve poliester kumaşlarının anilin ile muamelesi sonucu elektriksel özelikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliklerinin belirlenmesi ve kıyaslanması, kompoziterin mukavemetinin belirlenmesi; ayrıca tekrarlı yıkamalar sonrası iletkenlik ve kalkanlama etkinliğinin kalıcılık süresinin ve miktarının belirlenmesiyle PA ve PES ile polianilinin bağ yapıp yapmadığını belirleyerek oluşturulan yapıların sürekli kullanıma mı uygun yoksa tek kullanımlık mı olduğu belirlenmesi ve elde edilen tekstil yapılarının birbirlerine ve diğer yöntemlere göre avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Bu amaçla Anilin monomeri kumaş üzerinde kimyasal polimerizasyon yöntemiyle uygun oksidant kullanılarak polimerize edilmiş ve kompozitlerin fiziksel, mekaniksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir.

.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1.ELEKTRO MANYETİK ALANLAR

Alan, yükler tarafından yüklerin etraflarında oluşan, yüklerin karakterine göre ve yükten uzaklığa bağlı olarak (ayrıca yüklerin hareketine bağlı olarak) değişen; yüklerin birbirlerine olan etkilerini ve bu etkilerin yönünü açıklamak için ortaya konulmuş bir kavramdır.[1] Fiziksel olayların anlatımında kolaylık sağlanması amacıyla alan kavramı geliştirilmiştir. İlgilendiğimiz fiziksel olay için seçilen koordinant sisteminin belirli bir noktasına, aynı anda karşılık gelen fiziksel büyüklükler bir alan oluştururlar. Alan değişkeni vektörel veya skaler bir büyüklükte olabilir.[2]

Alana, sadece yükün karakterini gösterebilme yetisi de denebilir. Bir yük, bir başka yüke etki etmek için ya fiziksel olarak dokunur ya da yükler alanlarının ortak etkileşimiyle aralarında bir itme ya da çekme kuvveti uygularlar.[1] Alanı tanımlayan fiziksel büyüklükler zamanla değişebileceği gibi sabit değerlide olabilirler.[2]

Alan etkileri, yüklü parçacıklardan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Yani, etki $1/R^2$ ile azalır. [1]

Elektrik ve manyetik alan elektromanyetizmanın en temel kavramlarıdır. Elektromanyetizma elektrik akımı ile manyetik alanın meydana getirilmesi olayıdır. Bu iki alanın Faraday ve Maxwell tarafından birleştirilmesi sonucunda elektromanyetik alan oluşmuştur.[1]

II.1.1.Elektrik Alan

Elektriksel alan, durgun bir yükün maruz kaldığı elektriksel kuvveti temsil eder. [3]Yani herhangi bir bölgeye konmuş elektrik yüklü bir cisim üzerine, elektriksel kökenli bir kuvvet etkiyorsa bu noktada bir elektrik alan vardır denir.

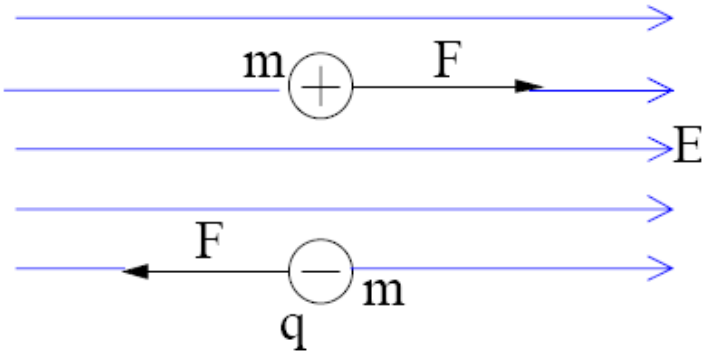
Elektirik alanı hesaplamak için, kuvvetlerin elektrik kökenli olup olmadığını anlamak gerekir bunun için yüklü bir cismi (deneme yükü adı verilir) bir bölgeye koyup, bu deneme yüküne diğer tüm yüklerden kaynaklanan kuvveti belirleyerek; deneme cismi yüklü veya yüksüz olduğunda üzerlerine etkiyen kuvvetler karşılaştırılır. [2,3] Fakat deneme yükü de çevresinde bulunan bütün yüklere bir kuvvet uygulayacaktır. Bu yükler metal içinde iseler, harekete geçmelerine neden olacaktır. Bu zorluğu yok etmek için, deneme yükünün çok özel bir özelliğe sahip olduğu varsayılır. Yani deneme yükü, komşu yükler üzerine hiçbir kuvvet uygulamayan hayalî bir yük olarak alınır. Pratikte, deneme yükünün çok küçük ve çevresinde bulunan yükler üzerine oluşturacağı kuvvetin ihmal edilecek kadar küçük olduğu varsayılır.[3]

Deneme cismi yüklü olduğunda ona etkiyen tüm kuvvetler elektriksel kökenlidir. Kuvvet vektörel bir büyüklük olduğundan elektrik alanda büyüklüğü ve doğrultusu olan vektörel bir büyüklüktür. Elektrik alan kavramına bir nicelik kazandırmak için, elektrik alan şiddeti E denilen bir niceliği tanımlanır. E, vektörel bir nicelik olduğundan, herhangi bir noktadaki yönü, bu noktadan geçen alan çizgilerinin yönü ile aynı yön alınır. E'nin büyüklüğü ise, bu noktaya konmuş olan pozitif bir deneme yüküne etkiyen **F** kuvvetinin deneme yükü değeri qo' a oranı olarak tanımlanır. Buna göre elektrik alan vektörü;

$$\boldsymbol{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \qquad \text{(II.1)}$$

dir. Belli bir elektrik alandaki pozitif yüklü cisim elektrik alan doğrultusu ve yönünde bir kuvvet etkisinde kalır. Negatif yüklü cisim ise elektrik alana ters yönde bir kuvvet etkisinde kalacaktır (Şekil II.1). Elektrik alanın SI sistemindeki birimi N / C dur[2]. Elektrik alan elektrik yüklerinin 1coulomb değerindeki pozitif bir yüke uyguladığı kuvvettir. E, birim yük başına kuvvet olduğundan, bazen pozitif deneme yükü başına düşen kuvvet olarak da ifade edilir. [2,3]

Yüklerin çevresinde elektrik alan çizgileri vardır. Yükler bu alan çizgileri yardımıyla birbirine kuvvet uygularlar. Eğer nötronda olduğu gibi, yükün elektrik alan çizgileri yoksa, elektriksel kuvvetten etkilenmez. Elektrik alan çizgileri pozitif yükten negatif yüke doğrudur.[4]



Şekil II.1 Elektrik alanda artı ve eksi yüklere etkiyen kuvvetlerin yön ve doğrultuları[5]

Bir elektrik alanın her noktasında bir **E** alan vektörü vardır. Bu noktaya konulan küçük bir yüke etkiyen kuvvet (II.1) bağıntısına göre,

$$\boldsymbol{F} = q \times \boldsymbol{E} \qquad (\text{II.2})$$

hesaplanır.

Elektrik alan E vektörü ile gösterilir. E bir vektördür ve yönü vardır. Eksi yük için elektrik alan vektörü E radyal (yükten olan doğrusal uzaklık) olarak eksi yüke doğru yönelmiştir. Artı yük içinse durum, radyal olarak yükten dışarı doğrudur. Bu vektörün anlamı R kadar bir uzaklıkta bulunan artı birim yük üzerine etki eden kuvvetin büyüklüğü ve yönüyle aynı olmasıdır. Yani R kadar uzaklığa konan bir artı birim yükün, ne kadar kuvvet ve ivme ile nereye doğru hareket edeceğini göstermektedir. Elektrik alan vektörünün şiddeti $1/R^2$ ile orantılı olarak azalır.[1]

Elektrik yükleri sonlu büyüklükteki cisimler üzerinde dağılmışlarsa, bu yükler sonsuz küçük dq elemanına bölünebilirler ve bunların integrali alınarak bileşke elekrik alan şiddeti aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir;

$$\mathrm{dE} = \left[\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right] \times \left[\frac{\mathrm{dq}}{\mathrm{r}^2}\right] \qquad (\text{II.3})$$

$$E = \int dE \qquad (\text{II.4})$$

Noktasal yükler arasındaki Coulomb yasası, noktasal kütleler arasındaki kütlesel çekimi veren Newton yasasına aşağıda görüleceği gibi oldukça benzerdir. (γ evrensel kütle çekim sabiti)

$$F = \gamma \frac{(m \times \dot{m})}{r^2} \qquad \text{(II.5)}$$

Diğer taraftan bir elektrik alan şiddetinin tanımıda kütlesel çekim alanının tanımıyla aynıdır.

$$G = \frac{F}{\dot{m}} \quad \text{veya} \quad G = \gamma \int \left(\frac{dm}{r^2}\right) \qquad \text{(II.6)}$$

II.1.1.1.Sürekli Yük Dağılımının Elektrik Alanı

Yüklerin bulundukları sistemden belli bir uzaklıktaki noktada oluşturdukları etki incelenirken, birbirine yakın olan yüklerden oluşan sistem, bir hacim veya yüzey üzerinde sürekli biçimde dağılmış toplam yüke eşdeğer olarak ele alınabilir.

Sürekli yük dağılımı olan bir sistemin elektrik alanını hesaplamak için, sistem herbirinde Δq yüklerinin bulunduğu küçük parçalara ayrılır. Bu küçük parçacığın Δq dan r uzaklıkta bir noktada oluşturduğu elektrik alanı hesaplanır. Böylece diğer bütün yüklü parçacıkların katkılarını da toplayarak istenilen noktadaki toplam elektrik alanını aşağıdaki gibi bulunur;

Δq için $\Delta E = k \left(\frac{\Delta q}{r^2}\right) r \qquad \text{(II.7)}$

Yük dağılımı için $E = k \sum_i \left(\frac{\Delta q_i}{r_i^2}\right) r_i \qquad \text{(II.8)}$

dir. Burada **r** ve $\mathbf{r_i}$ birim vektörleri göstermektedir. Eğer yükler arasındaki uzaklık elektrik alanı bulunacak noktaya göre çok küçükse, son ifade

$$E = k \lim_{\Delta q\ i \to 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \ r_i \ = k \int \frac{dq}{r^2} \ r \qquad \text{(II.9)}$$

halini alacaktır. Son bağıntıya ait hesaplamalar vektörel integral işlemi olduğundan yükün bir doğru boyunca veya bir hacme düzgün olarak dağıldığı varsayılır. Bu nedenle de tanımlamalar ve yük yoğunluğu kavramı kullanışlı olacaktır. Buna göre bir Q yükü bir V hacmine düzgün olarak dağılmışsa birim hacim başına düşen yük;

$\rho = Q/V \qquad \text{(II.10)}$

ile tanımlanır. Burada ρ nun birimi C/m^3 dür.

Bir Q yükü A yüzeyine düzgün olarak dağılmışsa birim yüzeye düşen yüzeyce yük yoğunluğu ve elektrik alan akısı;

$$\varphi = Q/A \qquad \text{(II.11)}$$

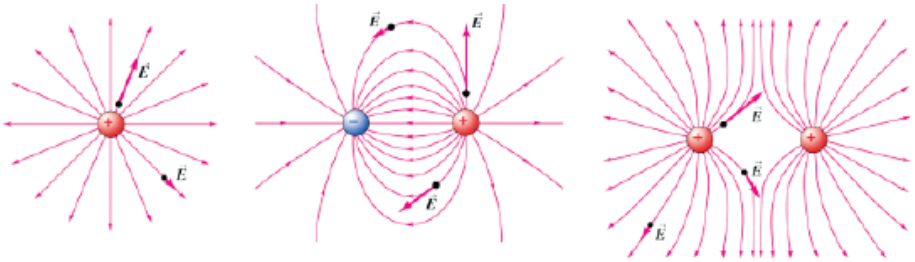
dır. Burada φ nın birimi C/m^2 dir.

Bir Q yükü l uzunluğundaki bir doğru boyunca düzgün olarak dağılmışsa yük yoğunluğu

$$\psi = Q/l \qquad \text{(II.12)}$$

dir. Burada ψ nın birimi C/m dir. Yük bir hacim, yüzey veya doğru üzerinde düzgün olmayacak şekilde dağılmışsa

$\rho = dQ/dV$ (II.10a) $\varphi = dQ/dA$(II.11a) $\psi = dQ/dl$ (II.12a) olur.[1]



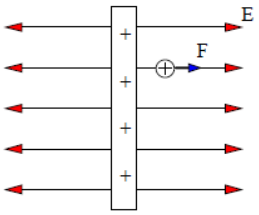
Şekil II. 2a **Şekil II. 2b** **Şekil II. 2c**

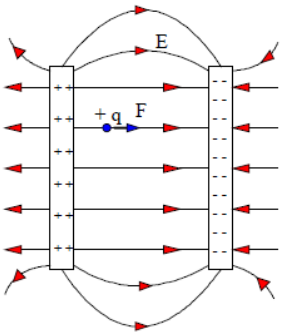
Elektrik alan vektörü, elektrik alan çizgilerini oluşturur ve çizgilerin nerden nereye doğru gittiğini gösterir (şekil II.2a).[1] Elektrik alan çizgileri denilen bu çizgiler uzayın herhangi bir bölgesinde elektrik alanına aşağıdaki gibi bağlıdır;

1. **E** alan vektörü elektrik alan çizgisine teğettir.

2. Alan çizgilerine dik birim yüzeyden geçen çizgilerin sayısı, o bölgedeki elektrik alan şiddeti ile orantılıdır. Böylece, alan çizgileri birbirlerine yakınsa **E** alanı büyük, uzak olduğunda da küçüktür. Alan düzgün olursa kuvvet çizgileri paralel olarak gösterilir.[2]

Elektrik alan çizgileri sürekli değildir, bir pozitif yükten çıkarlar ve negatif yükte son bulurlar. Bunun nedeni yüklü bir iletken içinde yükün ve alanın olmamasıdır.[2] İki zıt kutuplu yük için elektrik alan çizgileri, artıdan çıkıp ekside son bulur. İki farklı çizgi hiçbir zaman bir diğer çizgiyi kesmez (şekil II.2b). Aynı kutuplu iki artı veya eksi yük içinse, yüklerden çıkan çizgiler birbirlerini kesmeyecek bir biçimde birbirlerini büker ve sonsuzda son bulur (şekil II.2 2c). [1]





Şekil II. 3a **Şekil II. 3b**

a)Pozitif yüklü bir tabakanın elektrik alan çizgileri

b)Zıt yüklü levhalar arasındaki elektrik alan çizgileri

Elektrik alanın iletken bir yüzeye teğet bileşeni olamaz. Eğer böyle olsaydı iletken içindeki elektrik yükleri hemen harekete geçerdi ve o zaman elektrostatik konusu olmazdı. Buna göre, elektrik alan çizgilerinin daima bir iletkenin yüzeyine dik olarak çıkması ve ona dik olarak yaklaşması gerekmektedir. İletken bir madde içinde elektrik alan çizgileri olamaz.[2]

Alan çizgileri sadece kuvvetin yönünü göstermekle kalmaz aynı zamanda kuvvetin göreceli büyüklüğünü de belirtir. Kütle-çekim alanında olduğu gibi, elektrik alanın şiddetide, alan çizgilerinin sık ya da seyrekliği incelenerek tahmin edilebilir. Kuvvetin daha şiddetli olduğu yerlerde kuvvet çizgileri birbirlerine yakın, zayıf olduğu yerlerde ise birbirlerinden uzaktır. Elektriksel alan, yüklü cisimlerin başka bir yüklü cisme uyguladığı elektriksel kuvveti tasvir eder.[3]

Düzgün bir E, elektrik alanın kendisine dik bir s yüzeyinden geçirebileceği alan çizgisi sayısı

$$N = \varepsilon_0 \times E \times S \text{ dır.} \qquad \text{(II.13)}$$

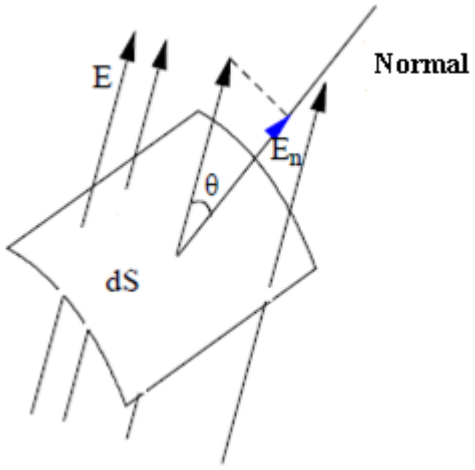
Diğer taraftan kuvvet çizgileri hiç bir zaman kesişmezler. Eğer elektrik alan çizgileri yüzeye dik değilse, elektrik alanla dS yüzeyinin normali arasında θ açısı varsa bu sonlu yüzeyden geçen toplam elektrik alan çizgi sayısı

$$N = E \times dS \times \cos\theta \text{ olur.} \qquad \text{(II.14)}$$

1 / εo = 36 π. 109 olduğundan, (ρ =Q/V) bağıntısına göre bir Coulombluk pozitif yükten $36.\pi.10^9$ sayısı kadar alan çizgisi çıkar.[1]

II.1.1.2.Gauss Yasası

İçinde (+Q) yükü bulunan bir küresel yüzeyden geçen elektrik alan kuvvet çizgilerinin N toplam sayısı, sayıca (Q) ya eşittir. Gauss yasası bu ifadenin genelleştirilmiş şeklidir. Gauss yasasına göre, cebirsel toplamı (+Q) olan bir yük dağılımı kapalı bir yüzey içine kapatıldığında bu yüzeyin bir yüzey elemanı ds' ise; (Şekil II.4) buradaki **E** alan vektörü bütün yük dağılımı nedeniyle A noktasındaki alan şiddetidir ve yüzey elemanına normal ile bir θ açısı yapmaktadır. Bu yüzey elemanından geçen elektrik alan kuvvet çizgisi sayısı;



Şekil II.4 Birim yüzey elemanından geçen çizgi sayısı

$$dN = \varepsilon_0 \, (E cos\theta) ds = \varepsilon_0 \, E_n \, ds \qquad \text{(II.15)}$$

ve kapalı yüzeyden geçen toplam elektrik kuvvet çizgisi sayısı;

$$N = \int dN = \varepsilon_0 \int E_n \, ds \qquad \text{(II.16)}$$

olur.

N = Q = Σ Q olduğu bilinmektedir. Böylece;

$$\varepsilon_0 \int E \, ds \, cos\theta = \varepsilon_0 \int E_n \, ds = \sum Q \qquad \text{(II.17)}$$

$$\varphi = \int E_n \, ds \qquad \text{(II.18)}$$

ve φ'ye ***elektrik alan şiddeti akısı*** denildiğinden en son eşitliği

$$\varphi = \int E_n \, ds = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum Q \qquad \text{(II.19)}$$

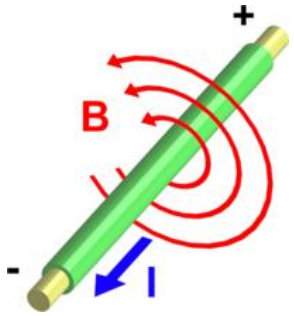
olarak elde edilir. Gauss tarafından verilen bu bağıntı elektromanyetizmanın dört temel yasasından biridir. ***Gauss yasasına göre****; Her hangi bir kapalı yüzeyden çıkan toplam akı, bu kapalı yüzey içindeki net elektrik yükünün* $\frac{1}{\varepsilon_0}$ *katına eşittir.*

Kıvıl alan, elektriksel alan veya elektrik alanı, elektriksel yükü çevreleyen uzayın bir özelliği olup, içerisinde bulunan yüklü nesnelere elektriksel güç aracılığı ile etki eder.[1]

II.1.2. Manyetik Alan

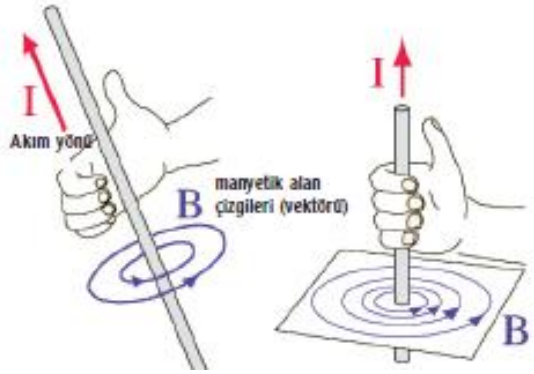
Elektrik alan, bir gözlemciye göre duran yüklerin (parçacıkların) oluşturduğu bir alan çeşidi iken, manyetik alansa bir gözlemciye göre düzgün doğrusal (ivmesiz) hareket eden yüklerin (parçacıkların) oluşturduğu bir alan olarak tanımlanmaktadır. Manyetik alan da elektrik alanı gibi vektörel (büyüklüğü ve yönü olan) bir niceliktir.[1]

Manyetik alan vektörü, B simgesiyle gösterilir. Ve manyetik alan vektörünün yönü, yüklerin hareket yönüne diktir. Manyetik alan çizgileri, elektrik alan çizgilerinin aksine bir yükte başlayıp bir yükte son bulmazlar. Tersine, alan çizgileri kendi üzerine kapanan eğriler oluştururlar. Bunun yanında, elektrik alan çizgileri gibi birbirlerini kesmezler.[1]



Şekil II.5 Manyetik alan çizgileri [4]

Şekildeki çubukta ok yönünde akan akım (*I*) çubuğun çevresinde bir manyetik alan ($\vec{B}$) oluşturur.[4] Manyetik alanın yönünün bulunmasında bilimsel otoritelerce kabullenilmiş olan sağ el kuralı geçerlidir. Sağ el kuralı, sağ el başparmağını akım yönünde tutup diğer parmakların tel etrafında dolandığında manyetik alan vektörünün yönünün bulunmasını sağlar. [5]



Şekil II.6 Manyetik alan çizgilerinin yönünün bulunması

Elektrikte hareket eden yükler, artı yükler olarak kabul edilir ve eksi yüklerin tersi yönünde aktığı kabul edilir. Teoriler ve hesaplar artı yüklerin hareketine göre çözülür. Manyetik alan çizgilerinin sıklığı, akım geçen telden radyal uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır. [1]

Manyetik alan çizgileri her zaman kapalıdır; ama bazı durumlarda manyetik alan çizgilerini sanki N kutuplu bir uçtan çıkan ve S kutuplu bir uca doğru hareket eden çizgiler olarak da düşünebilir. Bu durum, elektrik alan çizgilerinin artı kutuptan eksi kutba yönelmesine benzetilebilir.[1]

Manyetik alan deyince öncelikle akla mıknatıslar gelir. Çünkü mıknatıslar manyetik alan oluştururlar. Manyetik alanı incelerken öncelikle maddelerin mıknatıslık özelliklerini incelemek gerekmektedir. Bunun için maddenin atomal boyutta incelenmesi gerekmektedir.

Atom çekirdeği etrafında dönen elektronlar, sanki bir tel üzerinde hareket eden yükler gibi (bir sarımlık bir selonoid (bobin) veya tel halka gibi) manyetik alanlar oluştururlar.

Elektronların yörünge hareketi sonucu oluşturdukları bu manyetik alana, atomların manyetik dipol momenti denir. Eğer ki yörüngede zıt yönde hareket eden bir çift elektron varsa, bu atomun manyetik dipol momenti sıfır olur. Yörüngelerinde tek sayılı elektronlar (çiftlenmemiş elektronlar) bulunduran atomlar, küçük mıknatıslar gibi davranırlar.

Bazı maddelerde bu küçük atomik mıknatısların manyetik dipol momentleri her yöne doğru rastgele dağılmıştır. Bu dağılım sonucu yöne bağlı (vektörel) toplam manyetik dipol momentleri, birbirlerini nötrleyerek sıfır manyetik alan oluştururlar. Eğer ki, demir gibi bir element düzgün bir manyetik alan etkisinde belli bir süre bekletilirse, bu elementin her bir atomu, manyetik dipol momentlerini bu etkisi

altında kaldıkları manyetik alan yönüne çevirmeye çalışırlar. Büyük bir çoğunlukla manyetik dipol momentleri aynı yöne bakan bu atomların yöne bağlı (vektörel) toplam manyetik dipol momentleri, maddenin kendi oluşturduğu manyetik alana eşittir. Böylece bir mıknatıs oluşturulmuş olur. Atomların dizilişleri ne kadar düzgünse maddenin manyetik alanı da o kadar güçlüdür. Doğal mıknatısların oluşumu da bu sisteme benzer şekildedir. Yerin altındaki bazı maddeler dünyanın manyetik alanına göre atomlarının dizilişlerini düzenler ve doğal mıknatısları oluştururlar. Bazı maddeler, atomlarının özelliklerine göre manyetizma özelliği kazanırlar.[1]

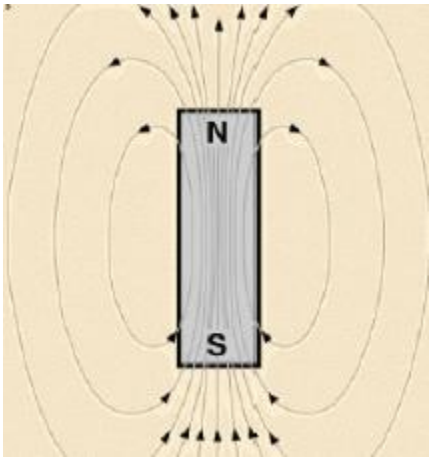
Michael Faraday, araştırmaları neticesinde maddelerin, manyetik alana tepki verdiğini ve bu tepki sonucunda etkileşimin olduğunu ortaya koymuştur ve verdikleri tepkiye göre maddeleri üç grupta toplanabildiğini göstermiştir;[4]

- Diyamanyetik maddeler: Zayıf bir şekilde etkilenenler; Bağıl manyetik geçirgenlikleri $\mu r < 1$ olan bu tür maddeler, güçlü bir manyetik alana dik şekilde kendilerini yönlendirirler. Diyamanyetizma, tek sayıda elektronlara sahip ve tamamlanmamış içi kabuğu olmayan maddelerde görünür. Radyum, potasyum, magnezyum, hidrojen, bakır, gümüş, altın ve su diyamanyetik gruba girerler.
- Paramanyetik maddeler : Bağıl manyetik geçirgenlikleri $\mu r > 1$ olan bu tür maddeler, güçlü bir manyetik alana paralel şekilde kendilerini yönlendirirler. Paramanyetizma çift sayıda elektronlara sahip maddelerde görülür. Hava, alüminyum ve silisyum paramanyetik gruba girer.
- Ferromanyetik maddeler: Kuvvetli bir şekilde mıknatıslardan etkilenen maddelerdir, Demir, nikel, kobalt ve alaşımlarını içeren maddeler bu gruba girer. [5]

II.1.2.1.Manyetik kutuplar

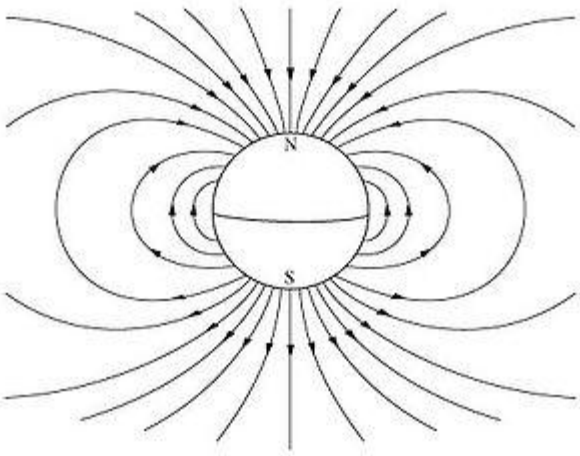
Maddelerin mıknatıslanma özelliklerini inceledikten sonra manyetik kutup kavramına değinilecek olursa; Bir mıknatısı kütle merkezinden asıldığında bir ucunun kuzeyi diğer ucunun güneyi gösterdiği gözlemlenir. Kuzeyi gösteren uca mıknatısın kuzey kutbu (N) , güneyi gösteren uca ise mıknatısın güney kutbu (S) denir. Mıknatısın aynı kutupları birbirini iter, zıt kutupları ise birbirini çeker. İtme ya da çekme kuvvetleri kutup şiddeti ile doğru, aradaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Elektriksel yük konusundaki coulomb kuvveti gibi kutupların birbirlerine

uyguladıkları manyetik kuvvet skaler olarak birbirine eşit, fakat zıt yönlüdür. Bir mıkantısın ikiye bölünmesi sonucu bölünen her bir parçanın **K**, **G** biçiminde yeniden kutuplaştığı görülür.[4] Manyetik alan çizgileri mıknatısın N kutbundan S kutbuna doğrudur. Bir mıknatısta N kutbunu terk eden çizgiler havada sürekli bir yörünge izleyerek S kutbuna ulaşırlar.[5]



Şekil II.7 Bir mıknatısta manyetik alan çizgilerinin yönü.

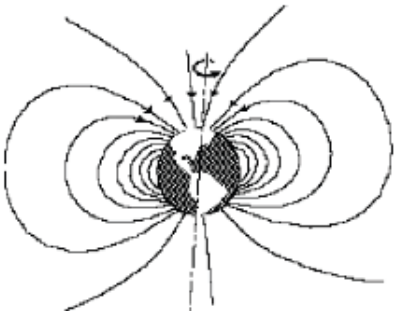
Mıknatıslar gibi Dünya da manyetik alan oluşturur.



Şekil II.8 Dünyanın manyetik alanının şematik gösterimi

Yerin Manyetik Alanı yaklaşık bir çift kutuptur. Coğrafi olarak da kuzey ve güney kutuplar olarak adlandırılırlar. Yerin manyetik alanı, dünyanın sıvı dış çekirdeğindeki konveksiyon akımları ile oluşur. Dış çekirdekteki konveksiyon hareketleri, zaman içinde manyetik alanı oluşturur. Yeryüzü çekirdeğinin içi katı, dışı sıvı demir termal hareketlerle kendi manyetik alanlarını oluşturur. Atomların yeterli bir güçle ve düzenli bir şekilde yer değiştirmesi ve yönlendirmesi kalıcı mıknatıslanmaya neden olduğundan dünyanın kabuğunda kalıcı mıknatıslanma

yaratır. Yani Dünya etrafı manyetik alanla çevrelenmiş büyük küresel bir mıknatıs gibidir. [4]



Şekil II.9 Dünyanın dönüş ekseni ile dipol ekseni arasındaki 11 derecelik sapma

Dünya manyetik alanı, kuzey ve güney kutupları olan, merkezde yerleşmiş bir dipol mıknatıs çubuk olarakta tanımlanır. Dünyanın dönüş ekseni ile dipolün ekseni arasında şekilde de görüldüğü üzere yaklaşık olarak 11 derece fark vardır. Bu kuzey ve güney coğrafi kutuplarla, manyetik kutupların üst üste gelmediğini gösterir. Yerin içindeki dev mıknatıs Coğrafi kuzey-güney doğrultusuyla yaklaşık 11-15 derece lik bir açı yapacak şekilde konumlandığından pusulanın gösterdiği yön tam olarak coğrafi kuzey yönü olmayıp 11-15 derece arasında sapma yapar.[1]

II.1.2.2. Manyetik Alan Parametreleri

Bu zamana kadar manyetik alanın varlığı sadece manyetik alan çizgileriyle açıklandı. Şimdi manyetik alanla ilgili parametreler tanımlanıp aralarındaki ilişkiler verilecektir.

Elektromotor kuvveti (emk); elektrik devrelerinde akım dolaşımını sağlayan büyüklüğe elektromotor kuvveti denir. [5]

Manyetomotor kuvveti (mmf); manyetik alan çizgilerinin oluşumunu sağlayan kuvvete manyetomotor kuvveti denir.[5]

Manyetik akı

Birim yüzeyden geçen manyetik alan çizgileri sayısının ölçüsüne manyetik akı denir. Birimi Weber'dir.

$E_{m\ akı} = B \times A$ formulü kullanılır. (II.20)

A m^2 olarak kesit alanı

B Manyetik alan yoğunluğu weber/m^2 [5]

Manyetik alan şiddeti

Manyetik alan şiddeti malzemelerin yada ortamın manyetiklenme özelliğinin ölçüsüdür. "H" büyüdükçe manyetik alandaki akı miktarı da büyüyecektir. [5]

$$H = \frac{B}{\mu} \qquad \text{(II.21)}$$

B Manyetik alan yoğunluğu weber/m^2

μ malzemenin manyetik geçirgenliği Henry/m [5]

Manyetik alan, günlük yaşantımızda her yerde karşımıza çıkar. İçinden akım geçen herşey manyetik alan oluşturur. Mıknatıslar manyetik alan oluşturur. Dünyanın akışkan olan iç kesimleri manyetik alan oluşturur. (bkz şekil II.7 ve II.8).[1]

II.1.2.3.Faraday Yasası

Manyetik alanın nasıl meydana geldiği ve özelliklerinden sonra manyetik alanın çevresini nasıl etkilediği incelenecek olursa; bunun için elektrik alan ile manyetik alanın arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaranlardan birisi olan faraday kanunu incelenmelidir. [5]

Sabit bir manyetik alan içinde iletken bir çerçeve hareket ettirilirse manyetik alanın zamanla değişim hızı ile doğru orantılı olarak oluşan emk ;

$$\mathrm{E} = -\frac{d\phi}{dt} \text{ ile verilir.} \qquad \text{(II.22)}$$

Çerçeve sabit tutulup mıknatıs hareket ettirilirse yine aynı emk oluşur. Bu yeni tür elektrik alan; mıknatısın hareket ediyor olmasından, yani manyetik alanın değişiyor olmasından kaynaklanmaktadır. O halde değişen bir manyetik alan bir elektrik alan oluşturur. Bu faraday kanunudur.[6]

Faraday kanunu aynı zamanda transformatörlerin çalışmasının esasını da oluşturmaktadır.

II.1.2.4.Manyetik Kuvvet

Bir $\vec{\mathrm{B}}$ manyetik alanı içinde, $\vec{\mathrm{v}}$ hızıyla hareket eden bir Q test yüküne etkiyen manyetik kuvvet ;

$$\vec{\mathrm{F}}_{\text{man.}} = \mathrm{Q} \cdot (\vec{\mathrm{v}} \times \vec{\mathrm{B}}) \text{ ile verilir.} \qquad \text{(II.23)}$$

Jenaratörlerin çalışma prensibi buna dayanır.

II.1.2.5.Akım ve Manyetik Kuvvet

Bir manyetik alan içerisinde akım taşıyan bir iletkene etkiyen kuvvet;

$\vec{F}_{man.} = I \cdot \vec{\ell} \times \vec{B}$ ile hesaplanır. (II.24)

Motorların çalışma prensibi buna dayanır.

II.1.3.Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik alan elektrik alan ve manyetik alandan oluşur yani bu iki alanın birleştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Elektromanyetik kuvvet ise elektrik kuvveti ve manyetik kuvvetin birbirleri ile ilişkisidir. Elektrik alan ile manyetik alan arasındaki ilişkinin ortaya konması sonucu elektromanyetizma bilimi ortaya çıkmıştır. Elektromanyetizma elektrik akımı ile manyetik alanın meydana getirilmesi olayıdır. Elektrik alan ve manyetik alan arasındaki ilişki ilk olarak 1819 yılında Oersted tarafından tespit edilmiş daha sonra, Coulomb, Ampere, Biot, Savart ve Gauss'un teorik ve deneysel çalışmalarıyla elektrik ve manyetizma ile ilgili gelişmeler sağlanmıştır. [5]

Deneysel açıdan elektrik ve manyetizmaya en büyük katkının Michael Faraday tarafından yapıldığı söylenebilir. Faraday'ın deneysel ve kuramsal bulguları James Clerk Maxwell'in ortaya koyduğu elektromanyetizma kuramına temel oluşturmuştur. 1821 yılında elektromanyetik konusunda ilk deneylerini yapan Faraday'ın amacı manyetik kuvvetleri, elektrik gücüne dönüştürmekti. Yaptığı ilk dört deneyde başarısızlığa uğrayan Faraday bir sonraki deneyinde başarılı oldu. İletken bir teli manyetik alana dik olarak hareket ettirdiğinde, iletkene bir kuvvet etkidiğini gösterdi. Böylece elektromanyetik indüklemeyi, elektrik motorunu ve dinamoyu keşfetmiş oldu. [6,4]

James Clerk Maxwell; 1873 yılında yayınladığı " Elektrik ve Manyetizma Üzerine İncelemeler " adlı eserinde, kendisinden önceki bilim adamlarınca o güne kadar bulunmuş olan elektrik ve manyetizma yasalarını sistemli bir bütünlük içinde matematiksel bir yapıya kavuşturarak dört denklem altında toplamıştır. Bu denklemler Maxwell denklemleri olarak bilinmekte ve kuantum fiziği öncesi bilinen bütün elektrik ve manyetik fenomenleri açıklamaktadır. Maxwell değişken elektrik ve manyetik alanların birbirlerinden ayrı olarak var olamayacağını göstermiş, elektromanyetik alan ve dalga kavramlarını geliştirmiştir. Işığında bir

elektromanyetik dalga olduğunu belirleyerek, elektromanyetik dalgaların ışık hızında yayıldığı sonucuna varmıştır.[6]

Maxwell'in varlığını öngördüğü elektromanyetik dalgalar, onun ölümünden sekiz yıl sonra Heinrich Hertz tarafından laboratuvar koşullarında elde edilmiştir. Hertz, 1883 yılında, Maxwell'in elektromanyetizma kuramı üzerinde çalışmaya başlamıştır. 1885 –1889 yılları arasında elektromanyetik dalgaları laboratuvarda üretmeyi ve dalgaların boylarını ve hızını ölçmeyi başarmıştır.[6]

II.1.3.1.Elektromanyetik kuvvet

Elektrik kuvveti ve manyetik kuvvetin birbirleri ile ilişkisi sonucu doğar. Elektromanyetik kuvvetin temel parçacıklara etki ederken gösterdiği özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- Kuvvet, elektrik yükü üzerine evrensel bir şekilde etkir.
- Kuvvet, çok büyük bir menzile sahiptir (manyetik alanın yıldızlarası etkisi vardır).
- Kuvvet oldukça zayıftır. Kuvvetin şiddeti, elektron yükünün karesinin 2hc (2 x Planck sabiti x ışık hızı)'na bölümüne eşittir. Bu oran yaklaşık 1/137,036 dır.
- Bu kuvvetin taşıyıcısı; durgun kütlesi sıfır, spini 1 olan ve foton denilen bir parçacıktır. Fotonun kendisinin elektrik yükü yoktur. [4]

II.2. ELEKTROMANYETİK DALGALAR

Elektromanyetik dalgalar zamanla birlikte değişen, birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen, elektrik ve manyetik alanlardan oluşur. Eğer zamanla değişim yoksa, elektrik alan ve manyetik alan birbirlerinden bağımsız olarak bulunabilirler. Yani durgun bir yük veya düzgün doğrusal hareket yapan bir yük, elektromanyetik dalga yayınlamaz.

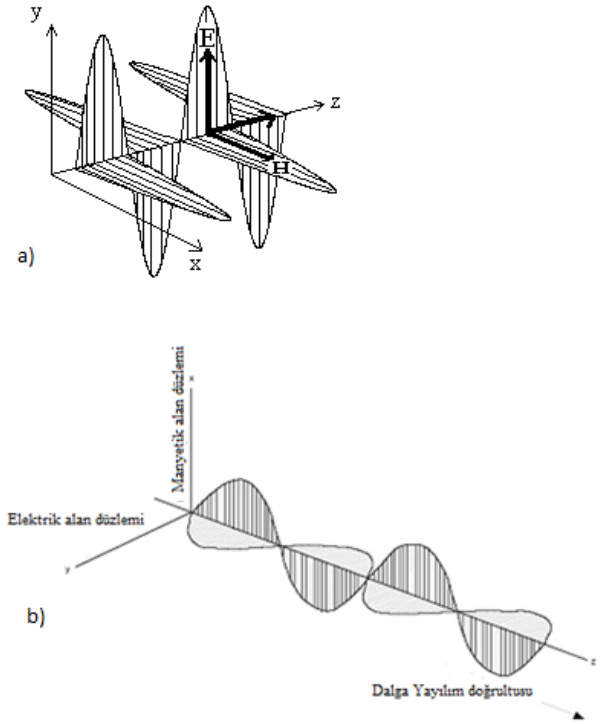
Zamanla değişim gösteren durumlarda, elektrik alan ve manyetik alan birbirine tamamen bağlıdır. Yani elektrik alan değişimi, manyetik alan oluşturur; manyetik alan değişimi de elektrik alan oluşturur. Bu değişim sinüzodial (sinüs fonksiyonunun şekli) bir eğri şeklindedir. Bir ortamda elektrik alanı değiştirmek için yüklü cisimleri ivmeli hareket ettirmek gerekir. Dolayısıyla ivmeli hareket eden yükler elektromanyetik dalga yayar. [3,6,7]

Elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Yayılan dalgalar, titreşen yüklerden çok uzaklarda algılanabilirler. Ayrıca, elektromganetik dalgalar enerji ve

momentum taşırlar ve bu nedenle bir yüzey üzerine basınç uygularlar. Elektromağnetik Dalgalar uzayda enerji iletim modelidir. [6,8]

Değişken bir manyetik alan oluşturmak için, iletkenden alternatif akım geçmesi yeterlidir. Yani alternatif akım geçen bir iletkenin çevresinde hem elektrik alan hem de manyetik alan oluşur. Bu da çevreye elektromanyetik dalga yayıldığını gösterir.

Elektromanyetik dalgayı oluşturan elektrik alan ve manyetik alan birbirlerine diktir. Elektromanyetik dalganın ilerleme yönü her iki alana da dik doğrultudadır.



Şekil II.10 Yukarıdaki şekil (a) ve (b) de elektromanyetik dalganın Y-X düzlemine paralel bir düzlem içinde Z ekseni boyunca ilerlemesi görülmektedir. [6,8]

Maxwellin çalışmalarına göre Elektromanyetik dalgaların ilerleyebilmeleri için bir ortam gerekmez ve bu dalgalar uzay boşluğunda 2.998 x 10^8 m/s 'lik (3.10^8 m/s) yani ışık hızıyla ilerler. Elektromanyetik dalgalar polarize edilebilirler.

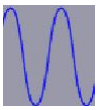
Bir elektromanyetik dalganın üç temel özelliği vardır.

Dalgaboyu (λ) : Bir dalgada eş fazdaki iki nokta arasındaki uzaklık olarak tanımlanır.

Frekans (f) : saniyedeki dalga sayısı olarak tanımlanır. Hz-1

Enerji (U) : foton enerjisi olarak tanımlanır.

U = h.ν λ = c / ν c = 300.000 km/sn (ışık hızı)

- Kısa dalgaboyu, yüksek frekans, yüksek enerji 

- Uzun dalgaboyu, düşük frekans, düşük enerji 

II.2.1.Elektromanyetizmanın Temel Denklemleri

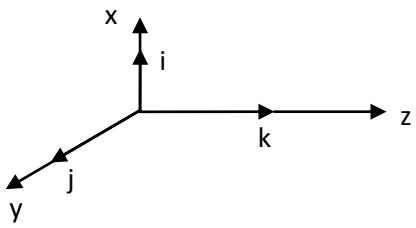
Elektromanyetik dalga teorisinin temelini atan James Clerk Maxwell' in toparladığı, elektrik ve manyetik özelliklerle bu alanların maddeyle etkileşimlerini açıklayan dört denklem; bütün elektromanyetik olayların incelenmesinde başlangıç noktasını oluşturur. Bu dört denklem sırasıyla, elektrik alanın elektrik yükler tarafından oluşturulduğunu (Gauss Yasası), manyetik alanın kaynağının, manyetik yük olmadığını, yüklerin ve değişken elektrik alanların manyetik alan ürettiğini (Ampere-Maxwell Yasası) ve değişken manyetik alanın elektrik alan ürettiğini (Faraday' ın İndüksiyon Yasası) gösterir. Maxwell'in topladığı bu dört denklemin her birini ayrı ayrı incelemeden önce, denklemlerin oluşturulması sırasında kullanılacak teoremler ve işlemler incelenecektir;

Aşağıdaki bağıntılardaki işaretlerin anlamları:

(x) : Vektörel çarpım

(.) : skala çarpım

$$\nabla = i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}$$



(Birim vektörleri)

Diverjans: Diverjans ingilizcede ıraksama anlamına gelir. $\vec{\nabla}\cdot\vec{V}$ ile gösterilir. $\vec{\nabla}\cdot\vec{V}$, bir noktadaki $\vec{V}$ vektör çizgilerinin ne kadar ıraksadığının bir ölçüsüdür.

Diverjans Teoremi (Gauss Teoremi) : Diverjansın hacim integrali, bu hacmi saran yüzeyde aldığı değere eşitir.

$$\int_{\text{hacim}} (\vec{\nabla}\cdot\vec{V})\cdot dV = \oint_{\text{yüzey}} \vec{V}\cdot d\vec{S} \qquad \text{(II.25)}$$

Rotasyonel: Rotasyonel $\vec{\nabla}\times\vec{V}$ ile gösterilir ve $\vec{V}$ vektörünün bir nokta etrafında dolanış miktarının ölçüsüdür.

Rotasyonel vektörel bir fonksiyona bağlı olan vektörel bir fonksiyondur.

$$\vec{\nabla}\times\vec{V}=\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ V_x & V_y & V_z\end{vmatrix}$$ ile hesaplanır. [6,8]

Stokes Teoremi: Rotasyonel'in bir yüzey parçası üzerindeki integrali, bu yüzeyi çevreleyen eğri üzerinde aldığı değere eşittir.

$$\int_{yüzey}(\vec{\nabla}\times\vec{V}).d\vec{S}=\oint_{egri}\vec{V}\cdot d\vec{\ell} \qquad (II.26)$$

II.2.1.1.Gauss yasası

Elektrik alan için; Bu denklemde elektrik alanın kaynağının yük yoğunluğu olduğu belirtilmektedir. Bir yüzey parçası üzerindeki $\vec{E}$ alanının akısı φ (yani $\int\vec{E}\cdot d\vec{S}$) , o yüzeyi kesen çizgilerin sayısıyla yani o yüzey içerisindeki toplam yükle doğru orantılıdır. Bir yükü çevreleyen kapalı bir yüzeyden geçen akı q/ε_0 olur.

$$\oint\vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{q}{\varepsilon_0}$$ elde edilir. (II.27)

E= elektrik alan N/C

dS= sonsuz küçük *S* yüzeyinin diferensiyal vektör elemanı birimi m^2

q= elektrik yükü birimi coulomb

ε_0= boşluğun elektriksel geçirgenlik katsayısı

$\varepsilon o: 8{,}854\times10^{-12} = \frac{1}{36\times10^9}$ farad/metre

$\vec{E}$'nin Diverjansı: Gauss kanununda verilen (II.27) ifadesine diverjans teoremi uygulanırsa;

$$\oint_{yüzey}\vec{E}\cdot d\vec{S}=\int_{hacim}(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}).dV=\frac{q}{\varepsilon_0}$$ olur. (II.28)

Burada $q=\int\rho.dV$ olduğundan

$$\int(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}).dV=\frac{\int\rho.dV}{\varepsilon_0}\quad\Rightarrow\quad\vec{\nabla}\cdot E=\frac{\rho}{\varepsilon_0}$$ bulunur.[8] (II.29)

Bu denklemin fiziksel anlamı; Elektrik yükleri arasındaki etkileşme kuvveti, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters, yüklerin çarpımıyla doğru orantılıdır. Yükler, bir iletkenin dış yüzeyinde yer alırlar.

Manyetik Alan için; Bu denklem manyetik yükün olmadığını belirtmektedir. Yani herhangi bir kapalı yüzeydeki manyetik alanın akısı sıfırdır.

$$\oint\vec{B}\cdot d\vec{S}=0 \qquad \text{(II.30)}$$

B= manyetik akı yoğunluğudur. Birimi Tesla veya weber/metrekare

dS= sonsuz küçük S yüzeyinin diferensiyal vektör elemanı birimi m^2

Bu ifade için skaler çarpım;

$$\nabla.\vec{B}=\frac{dBx}{dx}+\frac{dBy}{dy}+\frac{dBz}{dz}$$

Buna göre diverjans teoremi alınırsa denklemin diferansiyel ifadesi;

$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}=0$ olur. (II.31)

Bu denklemler ile elektrik alan ve manyetik alan bulunabilir.

Bu iki bağıntının fiziksel anlamı; Elektrik alan çizgileri pozitif yükten ıraksar; manyetik alan çizgileri akım çevresinde dolanır. Elektrik alan çizgileri pozitif yükten başlar, negatif yükte biter. Manyetik alan çizgileri hiçbir yerden başlamaz veya bitmez. Ya kapalı bir eğri oluşturur ya da sonsuza giderler.

$\vec{E}$ alanının tersine $\vec{B}$ alanı için noktasal bir kaynak yoktur. Yani elektrik yükün manyetik karşılığı yoktur. $\vec{\nabla}\cdot\vec{B}=0$ ifadesinin fiziksel anlamı da budur.

II.2.1.2. Faraday Yasası

Bu denklemin anlamı elektrik alanın vektörel kaynağının, zamanla değişen manyetik akı olduğudur. Herhangi bir kapalı eğri üzerinde elektrik alanın

sirkülasyonu (dolaşımı), eğrinin çevrelediği yüzey üzerindeki manyetik akının negatifinin zamanla değişimine eşittir.

Faraday kanununa göre, sabit bir manyetik alan içinde hareket ettirilen iletken çerçevede indüklenen gerilim denklem (II. 22) deki gibi $E = -\frac{d\phi}{dt}$ ile verilir.

$$\oint E.dl = \frac{-d\phi B}{dt} \quad , \qquad \text{(II.32)}$$

İse Faraday kanununun integral ifadesidir.

$\frac{-d\phi B}{dt}$ = manyetik akının zamanla değişimini veren ifadedir.

dl= yüzeyi çevreleyen *C* kontürünün teğetsel diferensiyal vektör elemanı birimi metre

Manyetik ve elektrik alanların zamana göre değişimleri vektörel çarpıma göre bağıntıları şu şekilde hesaplanır;

$$\nabla \times E = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{d}{dx} & \frac{d}{dy} & \frac{d}{dz} \\ Ex & Ey & Ez \end{vmatrix}$$

Bu bir determinant gösterimi olup açılarak yazılırsa;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = i\left(\frac{dEz}{dy} - \frac{dEy}{dz}\right) + j\left(\frac{dEx}{dz} - \frac{dEz}{dx}\right) + k\left(\frac{dEy}{dx} - \frac{dEy}{dy}\right)$$

Stokes teoremine göre denklemin diferansiyel ifadesi;

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \int (\vec{\nabla} \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \cdot \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \text{olur.} \qquad \text{(II.33)}$$

Buradaki (-) işareti Lenz kanununun bir ifadesidir. Lenz kanununa göre;"indüksiyon akımının yönü kendisini meydana getiren sebebe zıttır." Faraday yasasındaki eksi işareti bunu anlatmaktadır. Buna göre manyetik alan değişimi elektrik alan meydana getirir.

Manyetik alan sabitse $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$ olur.

II.2.1.3.Ampere Kanunu

Zamanla değişen bir elektrik akımı veya elektrik alanı bir manyetik alan oluşturabilir. Manyetik alanın kapalı bir halka boyunca çizgisel integrali, o halka içinde kalan akım ile orantılıdır. Bu Amper yasası şeklinde ifade edilir. Amper yasası

$$\oint B\, dl = \mu_0\, i \qquad \text{(II.34)}$$

μ_0 =boşluğun manyetik geçirgenliği $4\pi 10^{-7}$Henry/m yada Weber/ Amper. metre

i = akım birimi Amper

Akım değiştikçe *E* elektrik alanı da *dE* /*dt* gibi kararlı bir hızda değişir. Elektrik alanın bu değişmesi sonucu, *φE* elektrik akısı *dφE / dt* hızıyla değişerek, bir *B* manyetik akı yoğunluğu oluşturacaktır.

Buna göre elektrik akısının;

$$\varphi E = \oint E.dS = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad \text{(II.35)}$$

bağıntısının zamana göre türevi alınırsa;

$\frac{d\varphi E}{dt} = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{dq}{dt} = \frac{1}{\varepsilon_0}$ veya $i_d = \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\Phi \mathrm{E}}{dt}$ dir. (yer değiştirme akımı) Bu terim akım boyutunda olmalıdır. Elektrik yükleri hareket etmediği haldeki akımı temsil eden bu terime i_d deplasman akımı adı verilir. Manyetik alan hem i elektrik akımı, hem de elektrik alanın değişimi ile meydana getirilebilir. Bu takdirde yukardaki iki bağıntıdan yararlanılarak manyetizmanın Ampere kanunu en genel halde;

$$\oint B\, dl = \mu_0\, (i + i_d) \qquad \text{(II.36)}$$

Yani $\oint B\, dl = \mu_0\, i + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\Phi \mathrm{E}}{dt}$ (II.36a)

olur . Bu ampere kanununun integral ifadesidir.

Bu ifadenin rotasyonunu almak için; Ampere kanunun,

$$\oint B\, dl = \mu_0\, i \qquad \text{(II.36b)}$$

denklemindeki i akımını

$i = \int_s \vec{J}\ \overrightarrow{dS}$ şeklinde yazabiliriz

J= Akım yoğunluğudur. Vektör olarak tanımlanır. Birimi amper/m^2

Stokes teoremine göre;

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \int (\vec{\nabla} \times \vec{B}) \cdot d\vec{S} = \mu_0 \cdot \int \vec{J} \cdot d\vec{S} \quad \text{olur.} \qquad \text{(II.37)}$$

Buradan ;$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 . \vec{J} + \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ (II.38)

elde edilir. Buda ampere kanunun diferansiyel ifadesidir. Buna göre ya elektrik alanının değişimi ya da akımın varlığı manyetik alan oluşturur.

II.2.1.4.Maxwell denklemleri

Yukarıda ayrı ayrı incelenen dört denklem maxwell denklemlerini oluşturur. Bunlar elektromanyetik dalga denklemlerinin temelini oluşturur. Aslında maxwell denklemleri görüldüğü üzere zamana göre değişen elektrik alan ile bir manyetik alan; zamana göre değişen manyetik alan ile bir elektrik alanı yaratma esasına dayanmaktadır. Şimdi bunlar bir arada yazılacak olursa;

Tablo II.1 Maxwell denklemleri

1.Maxwell kanunu	$\vec{\nabla} . \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$	Gauss (II.29)
2.Maxwell kanunu	$\vec{\nabla} . \vec{B} = 0$	Gauss(II.31)
3.Maxwell kanunu	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	Faraday(II.33)
4.Maxwell kanunu	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 . \vec{J} + \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	Ampere(II.38)

Maxwell elektrik alanın değişimi nedeniyle boşlukta yer değiştirme akımının oluştuğunu fark etmiştir. Yalnız boşlukta ρ yük yoğunluğunun ve J akım yoğunluğunun sıfır olduğunu göz önüne alarak;

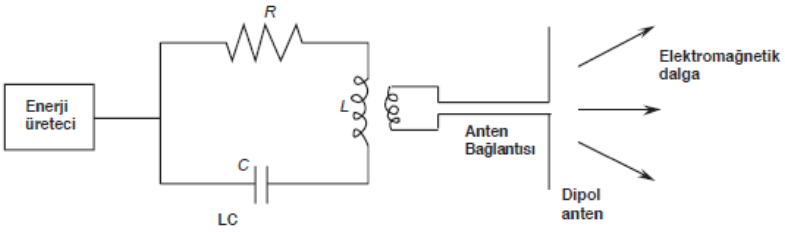
1.denklem $\vec{\nabla} . \vec{E} = 0$

4.denklem$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

haline gelirken 2. ve 3. denklem aynı kalmıştır.

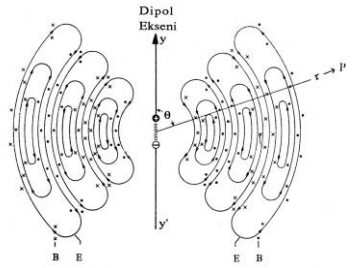
II.2.2. Elektromanyetik Dalgaların Üretilmesi

Elektromanyetik dalgaların oluşurken; atomlardaki enerji seviyelerinden birinde yer almış olan bir elektron dışarıdan enerji kazanarak üst seviyelere geçebilir. Bir süre sonra eski yerine dönerken aldığı bu enerjiyi elektromanyetik dalga şeklinde açığa çıkarır.



Şekil II.11 Elektromanyetik dalga ile onu üreten kaynak arasındaki ilişki

Elektromanyetik dalga üretici olan sistem($(f = 1/\sqrt{LC})$) frekansı ile titreşen bir LC devresi içermektedir. Bu devrede yük ve akım verilen rezonans frekansında salınırlar. Isı şeklinde kaybolan enerji ile, çevreye elektromanyetik ışıma şeklinde yayılan enerji, devreye bağlanmış bir bataryadan sağlanır. Elektromanyetik enerji, titreşim periyodunun yarısında, yüklerin kondansatörde elektrik enerjisi depolaması, diğer yarısında ise akımların bobinde manyetik enerji depolaması şeklinde depolanır. LC salınım devresi aynı merkezli bir kablo ile bir antene bağlanmıştır. Antenin iki kolunda da potansiyel, sinüzoidal olarak, salınım devresinin f frekansı ile değişir. Bunun sonucu olarak anten içindeki yükler ileri geri ivmeli hareket yaparlar, yani *LC* salınıcısı ve anten sistemi, bir enerji dönüşümü gerçekleştirir. Bu olay, elektrik dipol momenti p'nin sabit olmayıp zamanla sinüzoidal değişim gösteren etkisine özdeştir. Salınan bir dipol antendeki yüklerin ivmeli hareketleri sonucu elektromanyetik dalga üretilir. Bu hareketlerin sonucunda üretilen elektromanyetik dalga Şekil II.12. 'deki gibi dönel şekiller oluşturarak c ışık hızıyla uzaklaşarak, dipol merkezinden dalganın ulaşacağı noktayı birleştiren doğrultunun, dipol ekseniyle yaptığı açı (θ) $\sin^2\theta$ ile orantılı olan dalga şiddetiyle yayılır [10].



Şekil II.12 Elektromanyetik dalganın yayılması

II.2.3.Elektromanyetik Dalgaların Yayılması

Elektromanyetik dalgaların yayılmasını incelerken öncelikle genel dalga denkleminin çıkarımı ve daha sonra bunun çözümünü inceleyelim.

II.2.3.1.Dalga denkleminin çıkarılması;

Genel dalga denkleminin bulunmasında yukarıda incelenen maxwell denklemlerinden ikisi kullanılacaktır.

Birinci denklem;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \qquad \text{(II.33)}$$

İkinci denklem,

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 . \vec{J} + \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \qquad \text{(II.38)}$$

Öncelikle birinci denklemin her iki tarafının da rotasyoneli alınırsa;

$$\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla} \times \vec{E}\right) = \vec{\nabla} . \left(\vec{\nabla} . \vec{\mathrm{E}}\right) - \nabla^2 \vec{E} = \vec{\nabla} \times \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla} \times \vec{B}\right)$$

$$\vec{\nabla} . \left(\vec{\nabla} . \vec{\mathrm{E}}\right) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\mu_0 . \vec{J} + \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) \qquad \text{(II.33a)}$$

Olur. Maxwell kanunlarından biri olan

$$\vec{\nabla} . \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \text{(II.29)}$$

Eşitlikte yerine yazılırsa;

$$\vec{\nabla} . \left(\frac{\rho}{\varepsilon_0}\right) - \nabla^2 \vec{E} = -\mu_0 . \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} - \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \qquad \text{(II.33b)}$$

Ortamda serbest elektrik yükü olmadığı varsayıldığında;

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 . \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} - \mu_0 . \varepsilon_0 . \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad \text{(II.39)}$$

Olarak dalga denklemi elde edilir. Bu iletken ortam için kullanılan düzlemsel dalga denklemi olarak kullanılabilir.

Serbest akım yoğunluğunun bulunmadığı varsayıldığında dalga denklemi;

$$\nabla^2\vec{E} - \mu_0.\varepsilon_0.\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad \text{(II.40)}$$

Olarak bulunur.

İkinci denklemin rotasyonelini alacak olursak;

$$\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla} \times \vec{B}\right) = \vec{\nabla}.\left(\vec{\nabla}.\vec{B}\right) - \nabla^2\vec{B} = \vec{\nabla} \times \left(\mu_0.\vec{J} + \mu_0.\varepsilon_0.\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right) \qquad \text{(II.38a)}$$

Maxwell kanunlarından

$$\vec{\nabla}.\vec{B} = 0 \qquad \text{(II.31)}$$

Göre

$$-\nabla^2\vec{B} = \mu_0.\vec{\nabla} \times \vec{J} + \mu_0.\varepsilon_0.\frac{\partial}{\partial t}\vec{\nabla} \times \vec{E} \qquad \text{(II.38b)}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \qquad \text{(II.33)}$$

Denklemde yerine konursa;

$$\nabla^2\vec{B} - \mu_0.\varepsilon_0.\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} = -\mu_0.\vec{\nabla} \times \vec{J} \qquad \text{(II.38c)}$$

Ortamda serbest akım yoğunluğunun olmadığı varsayıldığında dalga denklemi

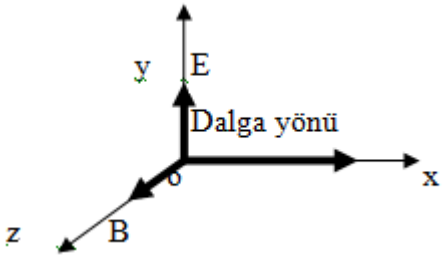
$$\nabla^2\vec{B} - \mu_0.\varepsilon_0.\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} = 0 \qquad \text{(II.41)}$$

olarak bulunur.

Yukarıda elde edilen genel dalga denklemlerinin boşlukta yalıtkan ve iletken ortamdaki denklemleri gerekli değerler yerlerine konularak elde edilebilir. Ancak elektromanyetik dalga denklemini çıkarırken serbest yük (q) ve serbest akım yoğunluklarının (J) her yerde sıfır olduğu kabul edilmişti. Bu boşlukta veya cam, saf su gibi dielektrik maddeler için gayet uygundur. Metaller veya tuzlu su gibi iletkenlerde ise; iletken içine konulan serbest yüklerin yüzeye gittiği bilindiği için bu karakteristik zamana kadar beklendiğinde, iletkenler içinde q = 0 alınabilir. Ancak yüklerin hareketi engellenemez bu yüzden genelde J sıfırdan farklıdır. Ayrıca bir iletkende serbest akım yoğunluğu ile elektrik alan arasında; ($J = \sigma E$) ilişkisi vardır burada σ maddenin öz iletkenliğidir.

II.2.3.2.Dalga Denklemlerinin Çözümü Ve Dalgaların Yayılma Hızı

Elektromanyetik radyasyonlar, sinüsoidal yayılım yaparlar. Elektrik ve manyetik alanlar da sinüzaidaldırlar. +*x* yönünde ilerleyen düzlemsel (yani dalga cephesi düzlem) bir elektromanyetik dalga şekilde gösterilmektedir.



Şekil II.13 Düzlemsel elektromanyetik dalganın şematik gösterimi

Dalga sinusoidal olarak değişmekte, dalganın elektrik alan bileşeni *E*, y eksenine paralel (yani y yönünde polarize olmuş), manyetik alan bileşeni *B* ise z eksenine paralel olarak salınmaktadır. Bir düzlemsel dalgada E ve B alanları aynı düzlem içinde ve birbirine dik olmakla beraber dalganın yayılma doğrultusuna da dik olurlar. Bunun için *E* ve *B* nin, *x* ve *t* nin fonksiyonu olarak, herhangi bir noktada ve herhangi bir andaki değerleri

$$E = E \text{ m } \sin(kx - wt) \qquad \text{(II.42)}$$

$$B = B \text{ m } \sin(kx - wt) \qquad \text{(II.43)}$$

İfadelerine göre değişir.

E ve B değerleri zamandan ve koordinat sisteminden bağımsızdırlar.

Em ve Bm sırasıyla elektrik ve manyetik alanların en büyük değerleri,

k dalga sayısıdır.

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \text{(II.44)}$$

Buradan $\lambda f = v$ sonucuda çıkarılabilir.

v= faz hızı

λ= dalga boyu

f=saniyedeki titreşim sayısı

Yukarıda verilen denklem ifadeleri negatif x yönünde ilerleyen dalga denklemidir. Pozitif x yönünde yürüyen dalga için elektrik ve manyetik bileşenlerin sinusoidal ifadesi vt ile kx in yer değiştirmesiyle oluşturulur.

$E = E$ m sin(wt- kx) (II.45)

Bazen bu sinüsoidal fonksiyonlar yerine

$$\vec{E} = E_m . e^{j.(wt-kx)} \quad \text{(II.46)}$$

$$\vec{B} = B_m . e^{j.(wt-kx)} \quad \text{(II.47)}$$

Şeklinde kompleks üssel ifadeler kullanılır.

Yukarıda verilen dalga denklemlerinin kısmi türevleri alındığında (II.42), (II.43)

$$\frac{aE}{ax} = -kEm\cos(kx - wt) \qquad -\frac{aB}{at} = -wBm\cos(kx - wt) \quad \text{(II.42a , II.43a)}$$

bulunur.

Buna göre Maxwell denklemlerinden faydalanarak elektrik ve manyetik alanı birleştiren aşağıdaki diferansiyel denklemler elde edilebilir;

$$\frac{aE}{ax} = -\frac{aB}{at} \quad \text{(II.48)}$$

$$\frac{aB}{ax} = -\mu_o \varepsilon_o \frac{aE}{at} \quad \text{(II.49)}$$

Bu denklemlerden ilkine göre yukarda türevi alınan iki dalga denkleminin birbirine eşit olması gerekmektedir. Buna göre

kEm=w Bm (II.48a)

$$\frac{Em}{Bm} = \frac{E}{B} = c \quad \text{(II.48b)}$$

yani Em = cBm (II.48c)

Bulunur böylece; Bir elektromanyetik dalganın, elektrik alan genliğinin, manyetik alan genliğine oranı, dalganın c yayılma hızına eşittir sonucu çıkarılır.

c hızının bulunması için ise maxwell denklemlerinden yararlanılarak elde edilen (II.48b) denklemi (II.42a) ve (II.43a) denklemlerinde yerine konursa;

-k Bm cos(kx-wt) = - μ_0 ε_0 wEm cos (kx - wt) (II.50)

$Em = 1/\varepsilon_0 \mu_0 c\, Bm$ (II.51)

bu çıkarılan eşitlik yukarıda çıkarılan eşitlik (II.48c)ile eşleştirildiğinde;

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_o \varepsilon_o}} \quad \text{(II.52)}$$

bulunur.

Bu bağıntıda $\mu_o = 4\pi x10^{-7}$ wb/A.m ve $\varepsilon_o = 8{,}85418\text{-}10^{-12}$ C^2/Nm^2 sabitlerini kullanılırsa,

c= 2, 99792x10^8 m/s olarak bulunur.

Bu hız, ışığın boş uzaydaki hızı ile aynı olduğundan şu genellemeyi yapılabilir; bütün elektromanyetik dalgalar boşlukta c= 2,998.10^8 m/s lik hızla yayılırlar ve ışık bir tür elektromanyetik dalgadır.

Elektromanyetik dalgaların boşluk dışındaki ortamlardaki hızları ise formüllerdede kullanılan faz hızıdır. Faz hızı kısaca dalganın yayınım hızıdır. Faz hızının ışık hızı c ye oranı bağıl faz hızıdır ve p ile gösterilir. Bu da, bağıl permitivite ve bağıl geçirgenlik cinsinden yazılabilir.

Yani

$$p = v/c = \left(1/\sqrt{\mu\varepsilon}\right)\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = 1/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r} \quad \text{(II.53)}$$

Buradan ise faz hızı

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n} \quad \text{(II.54)}$$

olarak bulunur. Buradan da görüldüğü gibi Faz Hızı; denklem (II.54) ile hesaplanabilir. Yani ışığın boşluktaki hızını ve kırılma indisini bilmekle ışığın ortamda yayılma hızını hesaplanabilir. Optikte bilinen n kırılma indisi, bağıl faz hızı p nin tersidir. Yani maddenin kırılma indisi,

$$n = \sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{\varepsilon_o\mu_o}}$$ olarak tanımlanır. (II.55)

Faz hızı sadece tek frekanslı elektromanyetik dalgayı karakterize eder. Halbuki bir yayında değişik frekanslı elektromanyetik dalgalar vardır ve topluca o yayına ait elektromanyetik enerjiyi taşırlar. Dolayısıyla tek frekanslı olmayan

dalganın yayılmasını öğrenmek için grup hızı olarak adlandırılan yeni bir büyüklük kullanmak gerekir. Grup hızı; bir haber yayınındaki elektromanyetik enerjinin yayınım hızı, değişik frekanslara ait elektromanyetik dalgaların toplu yayınım hızıdır. Grup hızı tanımı ilk olarak Releyy tarafından ortaya çıkarılmıştır.

Faz ve grup hızı arasındaki bağıntı;

$\upsilon g = \upsilon - (d\upsilon/d\lambda)\lambda$ olarak bulunur. **(Releyy Denklemi)** (II.56)

Releyy denklemine göre faz ve grup hızları arasındaki ilişki için aşağıdaki halleri inceleyelim.

1. $(d\upsilon/d\lambda) > 0$ (yani dalga boyu büyüdükçe faz hızı da büyür.) Bu halde $\upsilon g < \upsilon$ olur.

2. $(d\upsilon/d\lambda) = 0$ (yani faz hızı dalga boyuna bağlı değildir.) Bu halde $\upsilon g = \upsilon$ olur.

3. $(d\upsilon/d\lambda) < 0$ (yani dalgaboyunun büyümesi ile faz hızı küçülür) Bu halde $\upsilon g > \upsilon$ olur.

Karakteristik Empedans: Empedans özdirenç demektir. Ortamın öz direncinin hesabı için; $\frac{E}{H}$ oranı kullanılır ve buna karakteristik empedans denir. Z ile gösterilir. Dalgalar değişken sinüzoidal fonksiyonlu olduğu için denklemleri de karmaşık ifadelerdir. Empedans da karmaşık bir büyüklüğü ifade eder. Çünkü dalganın hem genliğini hem de fazını ifade eder. Fakat birimi direnç gibi ohmdur.

Ortamın karakteristik empedansını bulmak için; yukarıda incelendiği gibi dalga denklemleri ve maxwell denklemlerinden yaralanılarak elektrik ve manyetik bileşenlerin denklemlerinin eşitliğini yalnızca dalganın manyetik alan bileşeni için $B=H\mu$ yazılarak burada yeniden kullanılacak olursa;

$$kE_m\cos(kx-wt) = w.\,\mu\, H_m\cos(kx-wt) \quad \text{(II.57)}$$

buradan

$$E_m/H_m = w/k.\,\mu \quad \text{(II.58)}$$

Olur.Burada E_y, birimi volt/metre olan elektrik alanını ve H_z de, birimi ampere/metre olan manyetik alanı gösterdiğine göre, E_y/H_y nin birimi

$$\frac{volt}{metre} x \frac{metre}{ampere} = \frac{volt}{ampere} = ohm$$

olacaktır. Şu halde bu oran bir empedans boyutundadır. Bunu yukarıdada belirtildiği gibi Z ile gösterilmektedir.

$$Z_0 = \frac{\omega\mu_0}{k} = \frac{\omega}{k} \cdot \mu_0 \qquad \text{(II.59)}$$

w/k yerine faz hızı *v* yazarsak ve boşluk için *v*=c yazarsak;, $\frac{\omega}{k} = c$ olur. Buradan yukardaki denklem

$Z = c \cdot \mu_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \cdot \mu_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ olarak bulunur.

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \qquad \text{(II.60)}$$

ifadesiyle verilen Z ye intrensek empedans denir. Boşluk için intrensek empedans $Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0}$ ile belirtilir ve $\varepsilon_0 = 1/(36\pi x10^9)$ F/m, $\mu_0 = 4\pi x10^{-7}$ H/m olduğuna göre

$$\sqrt{\frac{4\pi.10^{-7}}{8{,}85.10^{-12}}} = 377\Omega$$

Buna göre boşluğun karakteristik empedansı ; $Z_0 = 120\pi \cong 337\Omega$ dur.

II.2.3.3.Elektromanyetik Dalgaların Gücü, Alan Şiddeti, Taşıdığı Enerji Ve Poynting Vektörü

Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve uzayda yayılırken yollarının üzerinde bulunan cisimlere enerji aktarabilirler. Ayrıca, enerji elektromanyetik alan içinde toplanıp biriktirilebilir. Bir elektromanyetik dalgadaki enerji akış hızı, J.H Poynting (1852-1914) onuruna poynting vektörü denilen bir $\vec{S}$ vektörü ile tanımlanır:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_o}\left(\vec{E} x \vec{B}\right) \qquad \text{(II.61)}$$

Poynting vektörünün büyüklüğü akış yönüne dik olan birim yüzeyden enerjinin geçiş hızını ifade etmektedir. $\vec{S}$ nin yönü, dalganın yayılma doğrultusu boyuncadır. Poynting vektörünün SI sistemindeki birimi, $I/S.m^2 = W/m^2$ dir. Herhangi bir düzlem elektromanyetik dalga için $\vec{S}$ nin büyüklüğü hesaplandığında,

bu dalganın depoladığı enerji elektrik ve manyetik alanlarda depolanan enerjinin toplamıdır. Birim hacim başına Elektrik alanda depolanan enerji yoğunluğu

$$U_e = \frac{1}{2}\varepsilon_o E^2 \tag{II.62}$$

Birim hacim başına manyetik alanda depolanan enerji yoğunluğu

$$U_m = \frac{B^2}{2\mu_o} \tag{II.63}$$

İse dalganın toplam enerjisi;

$U_t = U_m + U_e$ (II.64)

Yukarıda dalga denklemlerinin çözümü sırasında bulunan denklem (II.48c ve II.52) eşitlikleri bu ifadede yerine yerleştirilirse;

$$U_t = \frac{1}{2}\left[\varepsilon_0 E(Bc) + B\left(\frac{E}{c}\right)\frac{1}{\mu_0}\right] = \frac{1}{2}EB\left[\varepsilon_0 c + \frac{1}{\mu_0 c}\right] = \frac{EB}{\mu_0 c} = \frac{B^2}{\mu_0} \tag{II.65}$$

Buradan çıkan sonuç, bir elektromanyetik dalga için, manyetik alanla ilgili anlık enerji yoğunluğu, elektrik alanla ilgili anlık enerji yoğunluğuna eşittir. Böylece belli bir hacimde enerji, iki alan tarafından eşit olarak paylaşılır.

Bir elektromanyetik dalga için $\vec{E}$ ve $\vec{B}$ zamana göre değişken olduklarından, enerji yoğunlukları da zamanla değişir. Yani birim yüzeyden birim zamanda geçen enerji, yani Poynting vektörünün büyüklüğü *(S)* ise;

$$\frac{EB}{\mu_0 c} A dx = dv \tag{II.66}$$

dx = c dt olduğundan;

$$S = \frac{1}{\mu_o} EB \tag{II.61}$$

elde edilir.

Elektromanyetik dalga şiddeti; elektromanyetik dalgaların şiddetinin hesaplanması sırasındada S (II.61) denklemi kullanılır. Sinüzoidal bir düzlem elektromanyetik dalga için, I dalga şiddeti S'nin bir veya daha fazla periyot üzerinden alınan zaman ortalamasıdır.

Bunun için kullanılan denklemde (II.48b) eşitliği yerine yazılarak $S = \frac{E^2}{\mu_o c} = \frac{c}{\mu_o} B^2$ elde edilir. S'nin bu denklemleri zamanın her anında uygulanabilir. Böylece S'nin ortalaması (veya dalga şiddeti),

$$I = S_{or} = \frac{EmBm}{2\mu_o} = \frac{Em^2}{2\mu_o c} = \frac{c}{2\mu_o} Bm^2 \qquad \text{(II.67)}$$

olur.

Güç; S vektörünün kapalı bir A yüzeyi boyunca hesaplanan integrali bize gücü verir. S, W/m² cinsinden birim yüzeye düşen güç miktarını gösterdiğine göre bunun A m² ile çarpımı olarak gücü verecek ve

$$\oint S.ndA = SA = p \qquad watt \qquad \text{(II.68)}$$

olacaktır. Bu ifadede S ile gösterilen Poynting vektörü; değişken E ve B alanları için, birim yüzeye isabet eden ani güç yoğunluğunu ve p ise ani gücü göstermektedir.

E ve B zamana göre değişen alanlar oldukları takdirde ani güçten başka ortalama gücün de hesaplanması istenebilir. Bu da Poynting vektörünün T ye eşit olan 1 periyot süresi için integralini hesaplayıp T ye bölmekle elde edilir

$$\overline{S} = \frac{1}{T}\int_0^T Ex\frac{B}{\mu}dt \qquad \text{(II.69)}$$

II.2.3.4.Polarizasyon

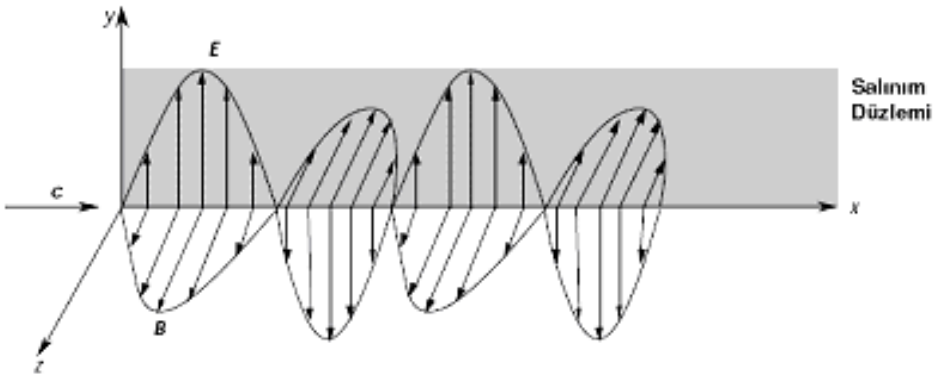
Elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. "E" alan şiddetiyle antenin oluşturduğu düzleme "polarizasyon düzlemi" denir "E" alan şiddeti vektörün veya kısaca E alan şiddetinin uzaydaki doğrultusu hep aynı kalıyorsa böyle bir dalgaya "doğrusal polarizasyonlu dalga" denir. E vektörünün doğrultusu "polarizasyon doğrultusu" denir. Polarizasyon doğrultusu yeryüzüne dikse bu dalgaya "düşey polarizasyonlu dalga" dalga denir. Polarizasyon doğrultusu yeryüzüne paralele ise dalga "yatay polarizasyonlu"dur denir.

Polarizasyon çalışmaları ışığın doğasını anlamak amacıyla yapılmıştır. Bugün ise durum tam tersine dönmüştür. Bir cisim tarafından saçılan veya geçirilen ışığın polarizasyon durumunu inceleyerek kullanılan cismin özellikleri anlaşılmaya çalışılmaktadır.

II.2.4.Elektromanyetik Dalgaların Kutuplanması Ve Algılanması

Elektromanyetik dalgalar daha öncede bahsettiğimiz gibi enine dalgalar olup, titreşen elektrik ve manyetik alan vektörleri, dalganın yayılma doğrultusuna diktir. Bu durumda titreşen elektrik alan vektörü, dalganın ulaştığı her noktada, kendine paralel kalır. Aynı özellik manyetik alan vektörlerinde de görülür.

Şekilde, kutuplanmış bir elektromanyetik dalga, *x* yönünde ilerlemektedir. Elektrik alan daima y eksenine paralel olup, *y* yönünde kutuplanmış ve *xy* düzleminde (salınım düzlemi) titreşmektedir. Benzer şekilde manyetik alan, daima *z* eksenine paralel olup, *z* yönünde kutuplanmış ve *xz* düzleminde salınmaktadır.[10,7,4]



Şekil II.14 Elektromanyetik dalgaların kutuplanmış halde anlık görünümü

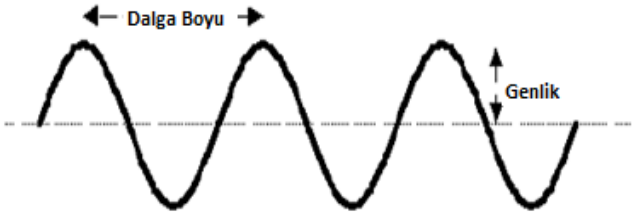
Radyo ve mikrodalga bölgelerindeki elektromanyetik dalgalar kutuplanmıştır. Kutuplanmış dalga, elektromanyetik dalga alıcısına bağlı dipol antene ulaşınca, dalganın zamanla değişen elektrik alanı, alıcı antenindeki yüklerin uçlar arasında salınmasına neden olur. Görüldüğü üzere elekromanyetik dalgalar, ışık gibi kutuplanabilir, yansır, kırılır ve hızları ışık hızına eşittir.

II.3.ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Elektromanyetik tayf (spektrum) gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar bilinen tüm elektromanyetik dalgaları içeren dizilimdir. Bu dizilim sırasında; evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonun ve farklı ışınım türevlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayfta rölatif yerleri belirlenir. Ancak bu dizilim kesin sınırlar sergilemez. Çünkü dalga kaynakları, çakışan frekans aralıklarında dalgalar üretebilirler. Boşlukta, belirli bir dalga boyundaki *(λ)* elektromanyetik enerjinin bu dalga boyu ile orantılı bir

frekansı *(f)* ve proton enerjisi *(U)* bulunmaktadır. Bu yüzden elektromanyetik tayf bu üç değerden herhangi biri kullanılarak ifade edilebilir. Değerler birbirine aşağıdaki formüller ile bağlıdır. Öncelikle dalga boyu, frekans ve enerji terimleri incelenecek olursa;

Dalga boyu; Elektromanyetik dalgaların bir salınımda aldıkları yola dalgaboyu denir. Farklı bir ifadeyle iki dalga tepesi arasında kalan uzaklık dalgaboyu olarak adlandırılır. Dalga boyu birimi kullanılan mesafe birimleridir, örneğin santimetre, metre, kilometre cinsindendir.



Şekil II.15 Bir dalganın şematik gösterimi

Şekilde bir dalga gösterilmektedir. Elektromanyetik radyasyonların madde ile etkileşimini dalga boyları belirler. Dalga boyları metreleri bulan radyo dalgaları, radyo anteyleriyle alınabilir. Mikrodalgaların dalga boyları santimetrelerle belirtilir. Görülebilir ışığın dalga boyu, görme hücrelerini (rod ve cone) etkileyecek boyuttadır. Ultraviyole ışık, X ışını ise atom ve subatomik parçacıklarla etkileşir.

Frekans: Elektromanyetik dalgaların saniyede yaptığı salınım sayısına yani kendilerini tekrarlama sıklığına frekans denir. Frekansın birimi Hertz (Hz) dir. 1 Hz saniyede bir salınım yani bir tekrar;1 kHz yada kilohertz saniyede 10^3 Hz; 1 MHz yada megahertz saniyede 10^6 Hz;1 GHz yada gigahertz ise saniyede 1 milyar Hz yada 10^9 Hz' dir.

Hız: Bir dalganın hızı dalga boyunun frekansına çarpımına eşittir.

Dalga boyu ile frekans arasındaki ilişki şöyle gösterilebilir:

$$\lambda f = v. \tag{II.70}$$

Elekromanyetik radyasyonların boşluktaki hızları, ışık hızına eşittir. Bu nedenle formül "c" (ışık hızı) ile gösterilmektedir.

$$C=\lambda f \tag{II.71}$$

Enerji

Işığın parçacık teoremine göre elektromanyetik ışımanın da en küçük birimi fotondur. Fotonların kütlesiz olduğu ve boşlukta ışık hızında enerji paketleri şeklinde yayıldığı kabul edilir. Foton ışık hızı ile hareket ederler ve enerjileri frekensları ile doğru orantılıdır. Enerjileri;

$$U=h \times f \qquad \text{(II.72)}$$

denklemiyle gösterilebilir.

Burada U; fotonun enerjisi,

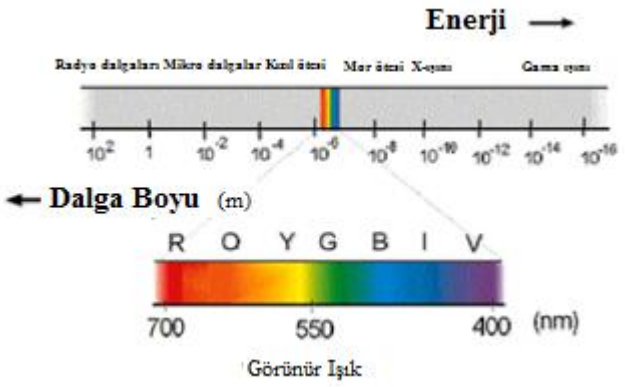
h; Planck sabitidir (4,13x10-18 keVsn),

Bu denklem daha önce verilen $c = \lambda \times f$ denklemiyle birleştirilirse,

$$U= (h\ c) /\lambda \qquad \text{(II.73)}$$

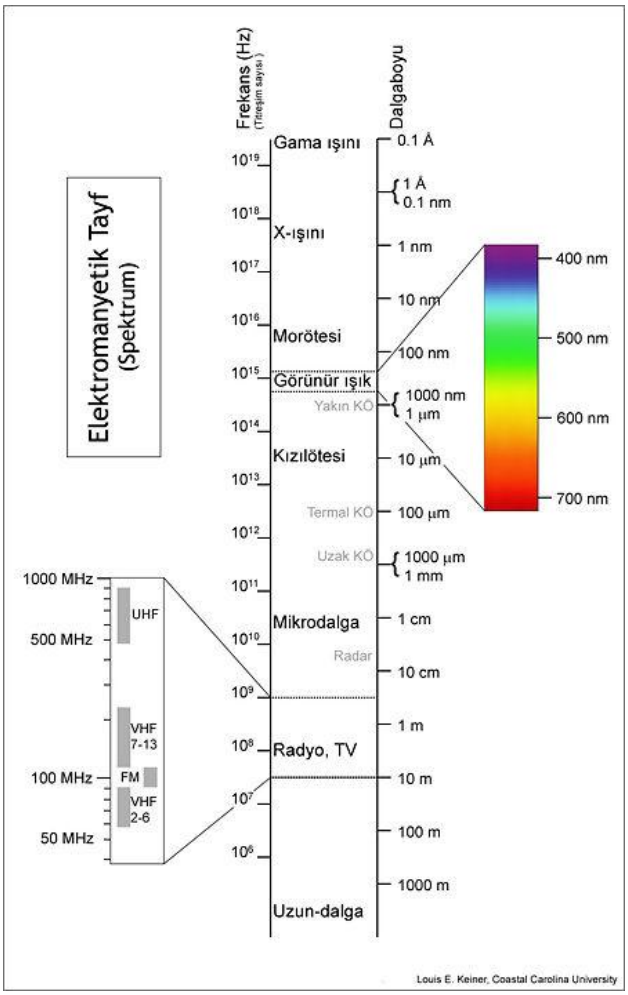
denklemi elde edilir.

Bir dalganın enerjisi frekansı ile doğru, dalga boyu ile de ters orantılıdır. Diğer bir deyişle enerji ne kadar büyük ise frekans o ölçüde büyük, dalga boyu ise yine o ölçüde küçüktür. Aşağıdaki şekilde de bu görülmektedir.[11]



Şekil II.16 Bir dalganın enerjisi frekansı ve dalga boyu arasındaki ilişki

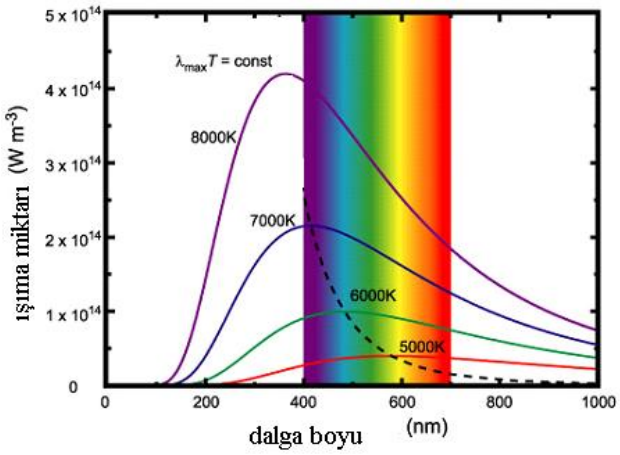
Bu spektrumun bir ucunda dalga boyları en büyük, enerjileri ve frekansları ise en küçük olan radyo dalgaları bulunur. Diğer ucunda ise; dalga boyları çok küçük, fakat enerji ve frekansları büyük olan **X** ve **γ** ışınları bulunur.



Şekil II.17 Elektromanyetik spektrum

Şekilde de görüldüğü üzere görünür ışık tayfı, en uzun radyo dalgalarından en kısa dalga boylu gamma ışınlarına kadar uzanan elektromanyetik tayfın bütünü içinde çok küçük bir aralığı kapsar.

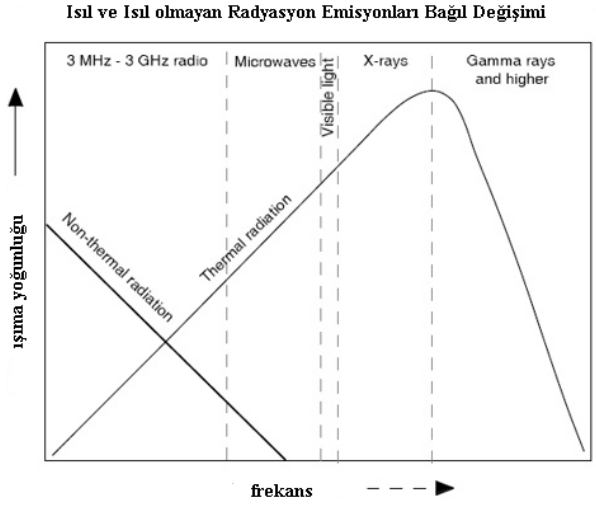
Herhangi bir cismin elektromanyetik spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu tabir eder. Tüm cisimler elektromanyetik radyasyon yayarlar ve her dalga boyunda yayılan toplam radyasyon o cismin sıcaklığını belirler. Sıcak cisimler ışıklarını daha çok kısa dalga boylarında yayarken soğuk cisimler daha uzun boylu dalgalarda ışınım yayarlar. Bir cismin radyasyon (ışıma) ısısı o cismin en fazla ışık verdiği dalga boyu ile ilişkilidir. Belirli dalga boyunda yayılan ışık miktarına da yoğunluk denir. Aşağıdaki şekilde verilen Kara cisim eğrisi, cisimlerden herhangi bir sıcaklık için her dalga boyunda ne kadar ışınımın yayıldığını (ışınım yoğunluğunu) gösterir.[7]



Şekil II.18 Kara cisim eğrisi

Grafikte gösterildiği gibi, eğriler birbirine benzer şekillere sahiptir. Fakat buna rağmen sıcak bir cismin kara cisim eğrisinin tepe noktası soğuk bir cisme göre çok daha yükseklerde olacaktır (ışınım yoğunluğu çok daha büyük). Örnek olarak, 30 000 K' lik bir cisim ile 300 K' lik cisim (insan vücudu) arasındaki ışınım yoğunluğu farkı 10 milyarlar mertebesindedir.[11]

Isısal olmayan ışımalarda ise dalga boyu ve frekans arttıkça ışıma yoğunluğu azalır. Süpernova ve kalıntıları, radyo antenden gelen verileri güçlendirmek için radyo teleskop sistemi ısısal olmayan ışınımın ölçüldüğü cisimlere birer örnektir.



Şekil II.19 Isısal ve ısısal olmayan ışınımların göreli değişimleri

Elektromanyetik radyasyon başlıca yedi kategoride incelenir. Bunlar düşük frekanstan yüksek frekansa doğru radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi, görünür ışık, morötesi, X-ışınları ve Gama ışınlarıdır.

Radyo dalgaları: 1 milimetreden uzun dalgalardır. Birkaç km'den 0,3 m'ye kadar dalgaboylarına ve birkaç Hz'den 10^9 Hz'e kadar frekanslara sahiptirler. En uzun dalga boyuna sahip olduklarından en düşük enerjiye sahipler. Bunların kaynakları elektrik titreşimleridir ve titreşen devrelerin bulunduğu elektronik aygıtlar tarafından üretilirler. Telefon, televizyon ve radyoda bağlantı kablosu gerektirmeden kullanılır. Elektromanyetik spektrumun bu bölümünün kullanımı birçok ülkede çeşitli resmi kuruluşlar tarafından kısıtlanmakta ve denetlenmektedir.

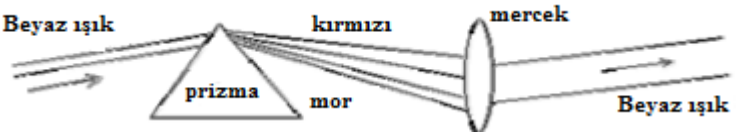
Mikrodalga: 1 mm ile 1 metre arası dalga boylarına ve 10^9 Hz'den 3.10^{11} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınları kapsar. Radarlarda kullanılan çok kısa dalga boyuna sahip radyo dalgalarıdır. Ayrıca atomik ve moleküler yapının ayrıntılarının çözümlenmesinde olduğu kadar, diğer iletişim sistemlerinde de kullanırlar. Aynı zamanda mikrodalga fırınlarda ve kablo gerektirmeyen uzak mesafe iletişimlerde kullanılır. Bu dalgalar da elektronik aygıtlar tarafından üretilir. Mikrodalga bölgesine UHF (ultra high frequency) adı da verilir.

Kızılötesi (IR) dalgalar: 710 nanometreden 1 milimetre arası dalga boylarına ve 3.10^{11} Hz'den 4.10^{14} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınları kapsar (iğne ucu ile küçük bir tohum kadar boyları vardır). Bütün sıcak ve soğuk maddeler tarafından oluşturulurlar. Atomlar tarafından emildiklerinde maddeyi ısıtırlar, onun için ısı radyasyonu olarakta adlandırılırlar. 370 °C sıcaklığa sahip olan vücudumuz 900 nanometrelik kızılötesi ışıma yapar. Bu dalgalar, moleküller ve sıcak cisimler tarafından üretilir. Endüstri, tıp, astronomi v.b. alanlarda çoklukla kullanırlar. Bu bölge üçe ayrılır:

- Uzak kızılötesi, 300 GHz (1mm λ) ile 30 THz (10 μm λ) arasındadır. uzak kızılötesi tanımı 200 μm'nin altındaki dalga boyları tarafından kullanılır. Bu bandın alt bölümleri için mikrodalga da denilebilir.
- Orta kızılötesi, 30 THz (10 μm λ) ile 120 THz (2,5 μm λ) arasında bulunur. Sıcak cisimler sıklıkla bu aralıkta ışınım yayarlar. Orta kızılötesi ışınım normal moleküler titreşim tarafından emilebilir. Bu frekans aralığına bazen *parmak izi bandı* da denir.
- Yakın kızılötesi, 120 THz (2500 nm λ) ile 400 THz (750 nm λ) arasındadır. Görünür ışığa benzer fiziksel işlemler tarafından üretilir ve benzer optik kurallara tabidir.

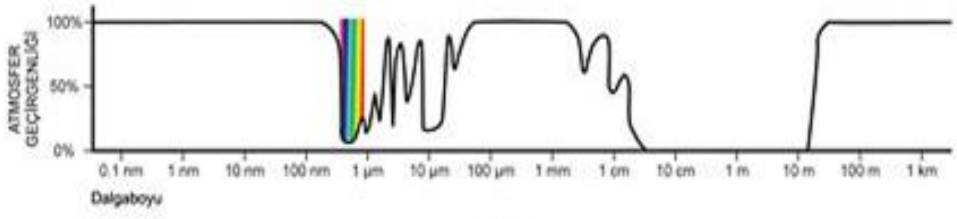
Görünür ışık dalgaları: 400 ile 700 nanometre dalga boyları arasındaki ve 4.10^{14} Hz'den 8.10^{14} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınları kapsar (bir molekül ile tek

hücreli arası boydadırlar). Gözün retinasının duyarlı olduğu dalga boylarıyla sınırlanan oldukça dar aralıkta bulunurlar. Işık diye hitap edilen elektromanyetik spektrumun bu küçük bölümünü insan görebilir. Işığın gözde oluşturduğu, renk adı verilen çeşitli duyumlar, elektromanyetik dalganın frekans ve dalga boyuna bağlıdır. Bu bölümde mor ile başlayan ve kırmızıyla biten renkler vardır. Aşağıdaki şekilde beyaz ışığın bileşenlerine ayrılması gösterilmektedir[11].



Şekil II.20 Beyaz ışığın bileşenlerine ayrılması

Morötesi Dalgalar: Dalgaboyu görünür ışıktan daha kısadır. $3{,}8.10^{-7}$ m'den 6.10^{-10} m'ye kadar dalgaboylarına ve 8.10^{14} Hz'den 3.10^{17} Hz'e kadar frekanslara sahiptir. Bu dalgalar, elektrik deşarjla atomlar ve moleküller tarafından üretilir. Oldukça enerjik olduğu için morötesi *(UV)* ışınım kimyasal bağları bozup çeşitli molekülleri iyonize edebilir veya katalizör etkisi gösterebilir. Güneş, oldukça güçlü morötesi kaynağıdır. Güneşin morötesi ışınları atmosferin üst katmanlarındaki atomlarla etkileşir, çok sayıda iyon üretilir. Yaklaşık 80 km'den yüksekteki iyonize haldeki katmana bu nedenle iyonosfer denir.



Şekil II.21 Şekildede görüldüğü üzere Dünya'ya güneşten gelen UV radyasyonun büyük bir kısmı yüzeye ulaşmadan önce atmosferdeki ozon tabakası tarafından emilir[4].

Mikro organizmalar morötesi ışınları soğurduklarında, parçalanırlar. Bu nedenle, morötesi ışınlar tıpta sterilizasyon işleminde kullanılır.

X–Işınları: 0.01 ile 10 nanometre arasında dalga boyuna (bir atomun boyu kadar). ve 3.10^{17} Hz'den 5.10^{19} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınlardır. Elektromanyetik spektrumun bu bölgesi 1895'de Alman fizikçi Wilhelm Conrad ROENTGEN tarafından, katot ışınlarını incelerken keşfedilmiştir. Sınıflandırmada

nereye ait olduklarını bilmediği için onlara X-Işınları adını vermiştir. Bombardımana tabi tutulan bir metal hedefin yüksek enerjili elektronları frenlenmesi sonucu X-ışınları oluşur. Çeşitli materyallerin içinden geçebildikleri için tıpta organ ve kemiklerin görüntülenmesinde sıkça kullanıldığı gibi, ayrıca yüksek-enerji, fizik ve gökbilim uygulamalarında da kullanım alanı bulmuştur. X-ışınlarının bir başka adı Röntgen ışınlarıdır.

Canlı dokulara zarar verdiğinden, X-ışınlarına gereksiz yere hedef olmamak gerekir. Ayrıca X-ışınları kristal yapı incelemelerinde kullanılır. Çünkü X-ışınlarının dalga boyları, kristal yapıdaki atomlar arası uzaklık boyutundadır.

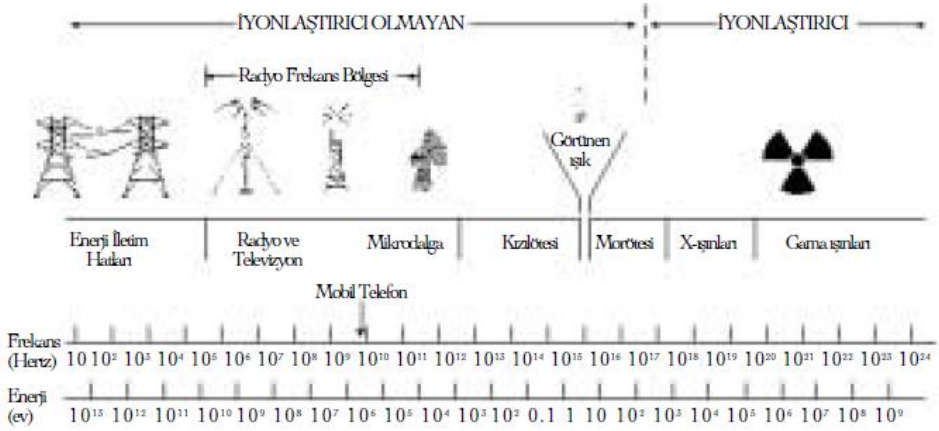
Gamma Işınları: 0,01 nanometreden daha küçük dalga boylu ve 3.10^{18} Hz'den 3.10^{22} Hz'e kadar frekanslara sahip ışınlardır. Gama ışınları 1900 yılında Villiard tarafından bulunmuştur. Radyoaktif çekirdekler tarafından nükleer tepkimelerde ve çeşitli kozmik kaynaklar tarafından üretilirler. Bir atom çekirdeğinin çapından daha küçük dalga boylu dalgalar içerirler. Bu elektromanyetik tayfın en yüksek enerjili ve frekanslı bölgesidir. Bu ışınlar, çok girici olduklarından, canlı dokular tarafından soğurulunca zarar verirler. Bu ışınlarla çalışanlar, kurşun tabaka gibi soğurucularla korunmalıdırlar. [7,11]

Tablo II.2 Başlıca elektromanyetik tayf bantları ve yaklaşık sayısal değerleri [11]

Fotonun Bölgesi	**Dalga Boyu**	**Frekans (Hz)**	**Foton Enerjisi**
Radyo Dalgası	1km	$3*10^{5}$	1neV
Mikrodalga	1cm	$3*10^{10}$	120μeV
Kızılötesi	10μm	$3*10^{13}$	120meV
Görünür	550nm	$5*10^{14}$	2eV
Morötesi	100nm	$3*10^{15}$	12eV
X-ışını	0,05nm	$6*10^{18}$	25keV
Gama ışını	0,00005nm	$6*10^{21}$	25MeV

Son olarak elektromanyetik radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. İyonlaşma atomlardan ve moleküllerden elektron koparma işidir. Enerji yüklü fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalar, çarptıkları cisimlerden elektron koparak iyonlaşmalarına yol açabilirler. Yüksek frekanslı ve özellikle yüksek enerjili olan X- ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyonlardır. Bunlar nükleer radyasyondur. Radyo dalgaları gibi daha düşük frekanslı ve enerjili elektro manyetik dalgalar ise iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olarak adlandırılırlar. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon bölgeleri

frekanslarına göre şekildeki elektromanyetik spektrum üzerinde gösterilmişlerdir.[12]



Şekil II.22 Elektromanyetik spektrumda iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların gösterimi

II.4.ELEKTROMANYETİK DALGA KAYNAKLARI

İki çeşit elektromanyetik dalga yayan kaynak vardır. Bunlar doğal ve doğal olmayan kaynaklardır. Doğal elektromanyetik kaynaklar; güneş, bazı uzak yıldızlar, atmosferik deşarjlar (yıldırım vb) ve insan vücududur.

Doğal olmayan elektromanyetik kaynaklar ise elektromanyetik alan ve elktromanyetik ışıma kaynakları olarak ayrılacak olursa;

Elektromanyetik radyasyon kaynakları; cep telefonları, telsiz telefonlar, endüstriyel ekipman (radyofrekans dalgaları, medikal sistemler), lokal radyo komünikasyon sistemleri, mikrodalga telefon linkleri, radarlar (polis radar aletleri, askeri radarlar, hava durumunu görüntüleme radarları), radyo yayın sinyalleri, uydu linkleri, televizyon yayın sinyalleri, bilgisayar terminalleri, telsizler, telsiz ofis networklarıdır.

Elektromanyetik alan kaynakları ise evde ve ofiste bulunanlar olarak ikiye ayrılacak olursa evde bulunanlar; Elektrik güç iletim hatları, elektrik güç dağıtım hatları, klimalar, mikserler, saatler, elektrikli battaniyeler, elektrikli karıştırıcılar, elektrikli tıraş makineleri, floresan lambalar, saç kurutma makineleri, ısıtma sistemleri, mikrodalga fırınlar, portatif elektrikli ısıtıcılar, güç aletleri, buzdolabı, televizyonlar, tost makineleri ve vakumlu temizleyicilerdir.

Ofiste bulunan elektromanyetik alan kaynakları, Elektrik güç transmisyon hatları, elektrik güç dağıtım hatları, hesap makineleri, floresan ışıklar, lazer yazıcılar, kalemtıraşlar, fotokopi makineleri, bilgisayar ekranlarıdır.

II.5. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Bir önceki bölümde incelenen elektromanyetik dalgalar teknolojinin gelişimine paralel olarak hayatın her alanında etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucu olarak da biyolojik sistemlerin elektromanyetik dalgalarla olan etkileşimi artmaktadır. Bu etkileşim sonucu ortaya çıkan etkiler göz ardı edilmeyecek boyuttadır. Elektromanyetik radyasyonların (radyofrekansları, mikro dalgalar, infrared, görünür veUV ışınları) ve bu ışınları kullanan ya da yayınlayan cihazların çevreye yaydığı EM alanının ve dalgaların biyolojik sistemler ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri, yapılan çok sayıda deneysel çalışmayla kanıtlanmıştır. BM İnsan Çevre Koruma Konferansı elektromanyetik dalga radyasyonunu "kontrol altına alınması gereken" bir kirlilik olarak belirlemiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün Uluslararası EMF Projesi; statik elektrik, manyetik alanlar, düşük frekanslı alanlar, mikrodalga alanları, radyo frekansı konusunda beliren sağlıkla ilgili endişeleri dile getirmektedir.[13,14] Bunun için pek çok biyolojik varlık üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır ve halada yapılmaya devam edilmektedir. EM alanla karşılaşan deney hayvanlarında çeşitli olumsuz etkiler belirlenmiştir. Ayrıca EM alan bulunan yerlerde çalışanlarda, depresyon, lösemi, santral sinir sistemi kanserleri, melanom ve akciğer kanseri gibi bazı hastalıklar ile ilişkinin belirlenmesi için çeşitli araştırmalar yapılmıştır.[14,15]

Hem insan yapımı hem de doğal kaynaklı elektromanyetik dalgaların insan vücuduna etkisinin çok değişik şekilleri vardır. İnsan vücudu doğal olarak yaşadığı dünyanın manyetik etkisi altındadır. Fakat İnsanlar doğada var olan iç ve dış manyetik alan yanında kendi ürettikleri cep telefonları, elektrikli ev cihazları ve yüksek gerilim hatları gibi manyetik alan kirliliğinin de etkisi altındadırlar. Bu etkinin sonucu insan vücudundaki manyetik alan ile dış dünyadaki manyetik alan arasındaki uyumun ortadan kalkmasıdır.

İnsan vücudu aslında her hücrenin kendine özgü elektrik devresi olduğu bir elektromanyetik makinedir.[15] İnsan vücudundaki manyetik alan, biyoelektrik yüklerinin hareketinden meydana gelir. İnsanı oluşturan maddelerin birbiriyle

haberleşmek için kullandıkları manyetik alanın sinyalleri birbiriyle uyum içindedir. Bu sinyaller dünya manyetik alanı ile de uyum içindedir.[15]İnsanın kendi iç manyetik alanı ile dış dünyanın oluşturduğu manyetik alan arasındaki uyumluluk çeşitli nedenlerden dolayı bozulabilmektedir. Bunlardan en önemlileri; kimyasal kirleticiler, haberleşme frekansları ve elektrik güç taşımalarından gelen sinyallerdir. Toksik madde radyasyon gibi kirleticilerden gelen sinyaller, yüksek gerilim hatlarından, cep telefonu dalgalarına, radyo ve TV dalgalarından ev ve iş yerlerindeki bilgisayar ve elektrikli diğer eşyaların yaydığı elektromanyetik dalgalara kadar maruz kalınan elektromanyetik kirlilik canlının elektromanyetik dengesini bozmaktadır. Elektromanyetik dalgalar bu dengeyi bozarken vücuttaki dokuları ısıtarak ve kimyasal değişimlere yol açarak zarar vermektedir. Bu kirlilik gözle görülemeyişi, etkisinin çoğu zaman doğrudan hissedilemeyişi ve uzun zaman sonra birikerek görülmesi nedeniyle insanlar tarafından yeterince önemsenmemektedir.[12,14]

Elektromanyetik dalgaların insan vücuduna etkilerinin incelerken farklı radyasyon tipleri için farklı etki mekanizmaları ortaya çıkmaktadır. Elektromanyetik dalgalar daha önceki bölümde belirtildiği gibi iyonlaştıran ve iyonlaştırmayan ışınlar olarak ikiye ayrılmaktaydı.

İyonlaştırıcı Radyasyonların Etkileri: Yüksek frekanslı iyonlaştıran radyasyon X ve gamma ışınlarıdır. Bu ışınlar hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağları kırarak atomları ya da molekül parçalarını pozitif ya da negatif yüklü duruma getirebilecek yeterli enerjiye sahiptirler. Enerjileri çok yükselen bu ışınlar moleküllere çarptığında onları iyonlaştırarak, molekül yapısını, yani yaşamsal işlevlerini bozar ve böylece olumsuz biyokimyasal tepkimeler oluşturur. [12,16] Yüksek enerjili iyonlaştırıcı elektromanyetik dalgalar, DNA ve genetik malzemeyi kapsayan biyolojik dokuda hasara yol açabilen moleküler değişikliklere yol açabilirler. Yapılan çalışmalarda X ve gamma ışınlarına maruz kalan insanlarda, kanserlerin oluşumu artmıştır. Fakat bu etkinin olabilmesi icin dokunun X ve gamma ışınları gibi yüksek enerjili fotonlarla etkileşmesi gerekir.[14,16]

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonların Etkileri: İyonlaştırıcı olmayan radyasyon az enerjiden yüksek enerjiye doğru, radyo dalgaları, mikro dalgalar, infrared radyasyon, görünür ışınlar, laser ışınları, ultraviyole ışınları olmak üzere sıralanırlar. İyonlaştırmayan elektromanyetik dalgalar; atomik bağları kırmak için yeterli enerjiye sahip olmayan fotonları içeren elektromanyetik parçalar için genel bir

terimdir.[16] İyonlaştıran radyasyona karşı, iyonlaştırmayan radyasyonun biyolojik sistemlere olan etkisi belirsizdir, yüksek yoğunluktaki ışınlar biyolojik sistemde iyonizasyona neden olmayabilir. Bununla birlikte başka biyolojik etkileri görülebilir. Örneğin ısınmaya, kimyasal reaksiyonlarda değişmeye ya da hücreler ve dokularda elektrik akımının indüklenmesine neden olabilirler[14]. Farklı frekanslardaki dalgaların biyolojik sistemlerdeki etkileri ışın yoğunluğuna, biraz da fotonların sahip oldukları enerji miktarına bağlıdır. Yüksek frekanslı güçlü dalgalar ısıya bağlı zarar verirken, düşük frekanslı dalgalar uzun süre alınmasıyla dokularda kimyasal değişmeler nedeniyle zararlı etkiler ortaya çıkar.[12]

İyonlaşmayan elektromanyetik dalgaların insan vücuduna olan etkileri termal ve termal olmayan etki olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

a)Termal Olmayan Etki

Gelen dalganın alan şiddeti yeterince küçükse dokularda yeterince ısı oluşmaz. Fakat vücütta kimyasal değişimlere yol açar.[16] Termal olmayan etkilere bağlı olarak ortaya çıkabilecek hastalıklar arasında beyin aktivitelerinde değişiklikler, beyinden hücrelere gönderilen sinyalleri engelleyerek vücudun bağışıklık sistemine zarar verme, uyku bozuklukları, dikkat bozuklukları baş ağrıları ve genel keyifsizliktir. Ancak bazı uzmanlar bu etkilerin ancak çok yüksek deneysel dozlar ve surelerde geçerli olabileceğini savunmaktadır.[12]

b)Termal Etki

Vücudun elektromanyetik dalgayla etkileşmesinde, artan molekül hareketi ve sürtünmeden dolayı sistemde ortaya çıkan ısı artışından "Termal Etki" ortaya çıkar [16]. Termal etkiler vücüt tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşerek vücüt sıcaklığını arttırması olarak tanımlanır. Bu sıcaklık artışı kan dolaşımı ile sıcaklığın atılmasıyla sıcaklığın dengelenmesine kadar sürer.[12] Vücut dokusunun 20 mikronluk bir hücresi 2 ohm - m. ' lik bir dirence sahiptir. Dolayısıyla ısı düzensizlikleri nedeniyle vücutta oluşan kaçınılmaz termal alanlar,100 Hz. ' lik frekansta ve vücut ısısında 0,02 V. / m. civarındadır. Buradan, ısı değişiklikleriyle oluşan termal alana denk bir alan oluşturabilmek için harici alanın milyon V. / m. mertebesinde olması gerektiği anlaşılmaktadır. [13]

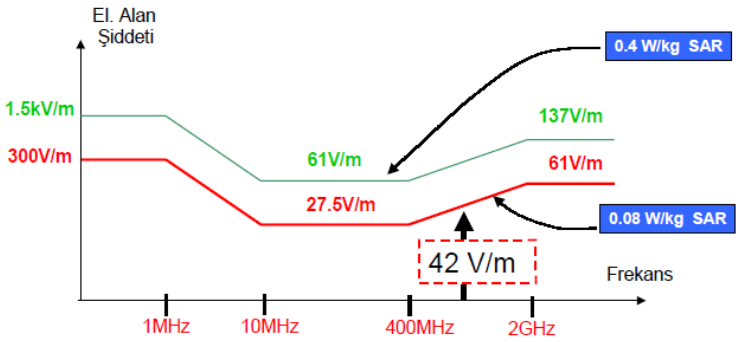
Vücudun ısınmasıyla ilgili sınır değerleri belirlemek için SAR diye bir kavram ortaya çıkmıştır. SAR; Elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğrulma hızıdır. Birimi W/kg'dır. Bu güne kadar yapılan araştırmalar insan vücudunun 1 °C lik sıcaklık artışını karşılayamadığını göstermiştir. Bu artış için bir kilogram doku

başına 4W güç soğrulması gerekmektedir. İnsanların yaşam alanları için bu sınır değerin ellide birini karşılayan 0,08 W/kg SAR değeri belirlenmiştir. Bazı özel durumlar için ise onda birini karşılayan 0,4 W/kg değeride kabul edilebilirdir. Bu değerin doğrudan ölçümü olanaksız olduğu için; bu değeri dolaylı yoldan etkileyen parametreler olan elektrik ve manyetik alan şiddetiyle, güç yoğunluğu ölçümünden bu değer elde edilir.[12]

Elektrik ve manyetik alanların oluşmasına neden olan elektrikli cihazların ve değişik kaynakların çalışma frekansları geniş bir aralığa yayılmıştır. Örneğin; enerji hatlarının frekansı 50 ve 60 Hz. civarındadır. Televizyon alıcılarının 15 kHz. , orta dalga radyo frekansı 10^6 Hertz ve FM radyolarınınki ise, bundan 100 kat daha yüksektir. İletim hatlarının elektrik alanı, iletim hattının toprağa göre gerilimi ile bağlantılıdır ve bu hatlarda çok yüksek gerilimler söz konusudur. Evlerdeki gerilim ise, 110 veya 220 Volttur. İletim hatlarında manyetik alan Amper cinsinden hattan geçen akımla ilişkilidir. Evlerdeki akım 15 veya 20 Amper ile sınırlıdır. [13]

Tablo II.3 Günlük hayatta karşılaşılan 110V ve 60 Hz şebeke frekansındaki elektrik alan şiddetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.[13,12]

Durum ve Cihazlar	**Elektrik Alan Şiddeti (V. / m.)**
Ev tesisatı	1 – 10
Dağıtım hatları altındaki evler	10 – 60
Yüksek gerilimli iletim hatları altında	100 – 7000
Elektrikli battaniye	250
Su ısıtıcı	130
Buzdolabı	120
Ütü	120
Saç kurutma makinesı	60
Televizyon	60
Süpürge	50
Elektrikli fırın	8
Ampul	5



Şekil II.23 Grafikte sınır değerleri gösterilmektedir[17].

Türkiyede kontrolsüz etkilenme için sınır değerleri Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.7.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan "10 KHz-60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri Ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" ile belirlenmiştir. . Bu yönetmelikte yer alan sınır değerlerinin belirlenmesinde ICNIRP (Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur) kılavuzunda yer alan değerler esas alınmıştır.[12]

Tablo II.4 Türkiyede kontrolsüz etkilenme için sınır değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir[12]

Frekans	**900 MHz**		**1800 MHz**	
	Tek bir cihaz İçin sınır değer	Ortamın toplam sınır Değeri	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri
Elektrik alan şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Manyetik alan şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç yoğunluğu	0,28 W/m^2	4,5 W/m^2	0.56 W/m^2	9,0 W/m^2

II.5.1.Elektromanyetik Dalgaların İnsan Sağlığı Üzerine Genel Etkileri

Günlük hayatta kullandığımız cihazlar ve aygıtların yaydığı dalgaların önce genel etkilerini inceleyecek olursak;

II.5.1.1.Dokular Üzerine Etkileri

a)Termal Etkisi

Elektromanyetik dalgalar dokuları ısıtır.

b)Termal Olmayan Etkisi

Doku hücrelerinin kimyasını bozar (termal olmayan ya da kimyasal etki). Bunlardan ısıtıcı etki; resmen kabul edilen tehlike sınırlarında ve bunların üstündeki dozlarda (yüksek dozlarda), kimyasal etki; tehlike sınırlarının altındaki dozlarda (düşük-dozlarda) meydana gelmektedir. ED'lerın uzun süre düşük doz verilmesi, kısa süre yüksek doz verilmesinden çok daha risklidir.[18] Çatılardaki cep telefon antenleri uzun süre tehlike sınırları altında ED verebilir ve bu bakımdan çok tehlikelidir. Çünkü ED'lerın kanser yapıcı etkisi kronik düşük dozlara (tehlike sınırı altı dozlara) bağlıdır. Kronik düşük doz ED'ların kanser yaptığına ilişkin birçok yayın vardır.[16]

Kimyasal Etkileri:

- Hücrelerde büyük moleküllerin (proteinler vb.) deforme oluşu.[19]
- Hücre zarlarının birbirine yapışması.
- Hücre zarlarında delikler açılmasa (elektro-porasyon)[16]
- Ca-ATPaz ve Na-K-ATPaz enzimlerinin bozuluşu sonucu hücre dışına Ca. Na ve K kaçışı.
- Sinir zarlarının bozuluşu; buna bağlı olarak insanlarda rüya görmenin (REM uykusu) azalışı, uykusuzluk, sinirlilik, unutkanlık, depresyon, baş ağrısı, baş dönmesi, Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı (titremeler ve kas sertleşmesi), multipi skleroz ve Huntington Koresi gibi dejeneratif beyin hastalıkları görülebilmektedir. ED'lar beyinde melatonini azaltarak uyku ritmini bozarak uykusuzluk yapabilmektedir. Hayvanlarda yapılan testlerde ED'lar davranış bozuklukları, beyin gelişmesinin yavaşlaması, biliş bozuklukları (bellek, dikkat, öğrenme, ayırt etme ve zaman algılama azalışı) ve labirent testlerinde başarının azalması görülmüştür.[19] Beyindeki değişmelerde beynin ısınması yanında (1^0C) beyinde serbest radikallerin artması (melatonince önlenir) ve endorfinlerin (beyin içi morfin benzeri maddeler) değişmesi rol oynamaktadır.[20,21] Elektromanyetik dalgalara maruz kalan hayvanlarda havale ve sara etkileri görülmekle beraber bu tam olarak kanıtlanamamıştır. Fakat yapılan başka çalışmada ELF maruziyeti sonucu beyin-kan duvarı yıkılarak mikrop ve toksinlerin beyne girişi için zemin hazırlandığı sonucu bulunmuştur.[18,22]

- Hücre enzimlerinde, bozulmalar yapılan çalışmalar sonucu tesbit edilmiştir. Örneğin ED'ye maruz hücrelerde ribonükleaz ve ornitin dekarboksilazın arttığı, beyinde ve kanda kolinesterazın %70 azaldığı gösterilmiştir.[21]
- DNA tahribi; Kromozom kırıkları, kromozom parçalarının değiş-tokuşu (sister chromatid Exchange), iki merkezli kromozomlar, DNA zincirlerinin birbirinden ayrılması ve kopması, mutasyonlar ve hücrenin kanserleşmesine sebebiyet verebilirler.[21]

Kanser Yapıcı Etkisi:

Elektromanyetik dalgaların yapılan çalışmalar sonucunda kanserojen etkisi ile ilgili aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Direkt Etkisi: Kendileri doğrudan kanser yaparlar.

2. Kanserojen Maddelerin Hücreye Girişini Hızlandırıcı Etkisi: Kanser yapıcı maddelerin hücreye girişini hızlandırır ve bu gibi maddelerin kanser yapıcı etkisini artırır.

3. Mevcut Kanserin Gidişatını Hızlandırıcı Etkisi: Varolan bir kanserin gidişini hızlandırır. ED lerin kanser yapıcı etkisi serbest radikaller yoluyla DNA'yı bozmaları kadar bağışıklık sistemine ait NK ve T8 hücrelerini azaltmalarıyla da ilgilidir.[23]

Melatonin serbest radikalleri yok ederek ve DNA'yı onararak kanseri önler; yapılan çalışmalarda elektromanyetik dalgalara maruziyetin melatonini azalttığı sonucuna varılmıştır.[25] Ayrıca bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda elektromanyetik dalgaların kansorejen etkiyi hızlandırabildiği sonucuna varılmıştır. Radarla çalışanlarda özellikle lösemi ve beyin tümörlerinin arttığı gözlemlenmiştir.[24] Bu sonuç, hem Polonya, hem ABD ordusunda çok sayıda askeri personel üzerindeki çalışmalara dayanmaktadır. Bir çalışmada mikro dalga verilen farelerde B hücre lenfomu, endokrin kanserler ve adrenal adenom oluşmaktadır. 5 dakika MD'lara maruz kalanlarda kanser sıklığının %5'den %95'e fırladığı gösterilmiştir.[16] Başka bir çalışmada ise yüksek manyetik alan etkisi altında kalan çocuklarda görülen kanserin etki altında kalmayanlara göre 1,6 kez daha fazla olduğunu tespit etmiştir. [13] İngiltere'de NRPB (Ulusal Radyasyondan Korunma Komitesi) 100 kHz üzerindeki ED'ları kanser yapıcı olarak ilan etmiştir (Doll Raporu)

Elektomanyetik dalgaların vücüdün geneline olan etkisinin yanı sıra organlara ve sistemlere olan etkilerini inceleyecek olursak;

II.5.1.2.Göz üzerine Etkisi

UHF ile ilgili yapılan çalışmalarda gözde zarar görülmüş, ancak RF istasyon özellikle radar operatörlerinde bir göz zararı tespit edilememiştir. Göze olan etkinin ilk belirtisi göz yorulması ve yaşarması, renkli ışığa karşı (özellikle mavi) duyarlılıkta azalma, santimetrik dalgalarla kronik maruziyette göz içi basınçta değişmedir. Daha düşük yoğunluklarda lenslerde ve ön bölgedeki sıvıda C vitamini azalması gözlenmiştir.

Tavşanlar üzerinde yapılan araştırmalarda mikrodalgalar nedeniyle göz merceğinin bulanması (perde veya katarakt), göz saydam tabakasının (kornea) bulanması, renkli tabaka (iris) iltihabı, gözdibi (retina) harabiyeti meydana geldiği tespit edilmiştir.

II.5.1.3.Kulak üzerine Etkisi

20 mJ/cm^{3}'ten daha düşük dozda darbeli mikrodalga enerjileri bile kulak çınlamasına ve işitme kaybına yol açmaktadır.

II.5.1.4.Sinir Sistemi Üzerine Etkisi

Düşük şiddetli RF ve UHF alanları merkezi sinir sisteminde (asthenic) tipinde bir sendrom olarak bilinen değişimlere yol açmaktadır. Şiddetli UHF ve RF alanlarda, daha çok kardiyovasküler, vejetatif düzenlemede karışıklıklar şeklinde görünen merkezi sinir sistemi sendromu oluşmaktadır. En eski çalışmalardan buyana elektromanyetik dalgaların beyin dokusundaki kalsiyum iyonları üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu sonucu kanıtlanmıştır.[18,26] Çok düşük frekansta modüle edilmiş dalgalara maruz bırakılan deneklerde "in vitro"daki beyin dokusunda kalsiyum akışında değişme, EEG (Elektroensefalogram, beyin dalgalarını gösteren çizelge) dalgalarındaki değişiklikler ve Molluscan pacemaker nöronlarının yanma oranlarında değişiklikler meydana gelmektedir.[26]

Davranış değişikleri, sinir sistemi problemlerinin başlangıç işaretidir. Fakat küçük istisnalar dışında ED lerin öğrenilmiş davranışlar üzerindeki, etkisi çok azdır. RF maruziyeti sonucu refleks aktivitelerinde değişmeler görülmüştür.

II.5.1.5.Üremeyle İlgili Dokular Üzerine Etkisi

RF ye maruz kalan fizik tedavi teknisyenleri üzerinde yapılan testler sonucunda sıcaklık artışının üreme hücrelerinde morfolojik değişimlere neden olduğu bulgusuna

rastlanmıştır. Histolojik araştırmalar, çeşitli işlem fazında sperm oluşmasının kesildiğini ortaya koymuştur. Bu morfolojik değişmeler üreme çevriminde, döl azalma, kısırlaşma ve dişi doğum sayısında artış olarak kendini gösterir. Ayrıca adet bozuklukları, östrojen artışı nedeniyle gebeliğin tehlikeye girmesi, düşüklerin artması tespit edilmiştir. [16] Bazı araştırmacıların, elektromanyetik alanların mutajenik etkilerinin olduğundan söz etmesine rağmen çoğunluk, alanların bu tür etkilerinin olmadığı görüşünde birleşmektedir .[21] Ama Genetik düzeni ve gelişmeyi etkilediği yönünde bulgular vardır.

II.5.1.6.Dolaşım Sistemi ve Kan Üzerine Etkisi

Dalgalara maruz kalan insanlarda kan akışında artış, kan damarlarının genişlemesi, kan basıncında değişme gözlemlenmiştir. Başlangıçta kan basıncı hafifçe artar sonra düşer. Fakat bu düşüş maruziyetten birkaç hafta sonra geçer. Nabız, vücudun maruz kalan bölümüne bağlı olarak hızlanır veya yavaşlar. RF alanları kroner dolaşım sisteminin iletkenliğini azaltır. Dolaşım fonksiyonlarındaki bu değişimler tekrar eski haline gelebilir özelliktedir.

II.5.1.7.Bağışıklık Sistemi Üzerine Etkisi

Elektromanyetik dalgaların vücuttaki T8 lenfositlerini ve doğal öldürücü (natural killer) lenfositlerini azalttığı, antikorları azalttığı ve dolayısıyla bağışıklık sisteminin zarar gördüğü artık tıbbi bir gerçekliktir.

Ayrıca; metobolizma ve düzenleme sistemleri üzerine etkileri nöro endokrinolojik tepkiler üzerine etkileri vardır. Hepatik hücrelerde dejenerasyona neden olur. Maruziyetler sonrasında adrenal korteks aktivitesinde artış, özellikle kadınlarda tiroid bezi büyümesi, böbrek tübüllerinde filtrasyonda azalma, kalp bölgesinde ve kaslarda ağrı, saç dökülmesi, nefes alma zorluklarına rastlanmıştır. Yüzde ve kafa sıcaklığında artış ve baş ağrısı ve kulak arkasında ağrı ve kızarıklıkda diğer etkileridir.[18,19.21]

Elektromanyetik dalgaların genel etkilerinin inceledikten sonra bu dalgaları kullanan ve bu dalgaları yayan günlük hayatta en fazla kullandığımız cihaz ve sistemleri ve etkileri incelenecektir.

II.5.2.Cep Telefonu ve Etkileri

Birleşmiş Milletler Telekomünikasyon Ajansının verdiği bilgiye göre dünyada cep telefonu kullanan kişi sayısı 2010 yılı itibariyle 4,6 milyara ulaşmış bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) istatistiklerine göre ise 2010 yılı verilerine göre Türkiye'de 65 milyon cep telefonu abonesi bulunmaktadır. Bu kadar geniş bir kitle tarafından kullanılıyor olması sebebiyle cep telefonları, elektromanyetik dalgalar ve bunların etkisi konusunda üzerinde en fazla tartışma yapılan ve 20.000'den fazla makale ve çalışma ile tehlikesi araştırılan kaynaktır. Başta dünya sağlık örgütü WHO olmak üzere pek çok uluslar arası kuruluş cep telefonlarıyla ilgili çalışmaları destekleyerek etkilerini kesin olarak belirlemeye çalışmaktadır.

Cep telefonları kablosuz iletişim araçlarıdır. RF dalgalarıyla çalışır. Şu anda kullandığımız telefonlar 900 -1800 MHz frekans aralığında çalışmaktadır.[13] Günümüzde kullanılan Digital cep telefonları darbeli RF kullanmaktadır. [18] Digital olmayan eski tip cep telefonları (analog cep telefonları) darbeli RF kullanmamaktadır; bunlara AMPS (advanced mobile phone system) denmektedir. Digital cep telefonları darbeli AM (amplitude modified) dalga kullanırken analog cep telefonları FM (freguency modified) tipi ya da faz modüllü dalga kullanmaktadır. Darbe (pulse) gücün belli ara ve sürelerle birden artmasıdır. Darbelerin frekansı 50 ve 60 Hz süresi 546 mikrosaniyedir. Frekansı 50-500 Hz arası olan elektromanyetik dalgalara ELF (extremely law freguence = çok çok düşük frekanslı) denir. Bu yüzden dijital cep telefonlarında kullanılan dalgalar ELF ve RF dir. ELF kanser yapıcıdır. Bu nedenle günümüzde kullanılan cep telefonlarında RF'ların biyolojik etkisine ELF'in biyolojik etkisi de eklenmektedir. Cep telefonlarının biyolojik etkileri incelenirken her iki sinyalde dikkate alınmalıdır.

Cep telefonlarının ve diğer wireless teknolojilerinin günlük hayatımızda kullanımının iyice yaygınlaşması bu teknolojinin sağlık üzerine etkilerinin daha çok mercek altına alınmasına neden olmuştur. Cep telefonlarının etkileriyle ilgili yapılan çalışmalarda kesin bir görüş birliği yoktur. Bazı çalışmalarda cep telefonlarının insan sağlığı üzerinde başta kanserojen olmak üzere pek çok etkisi olduğu savunulurken bazı çalışmalarda kesinlikle kanser veya tümöre yol açmadığı vücutta kalıcı olmayan bazı bozukluklara sebep olduğu savunulmaktadır. Görüldüğü üzere yapılan araştırmalarda hem zararlı olduğu hem de olmadığı yönünde iki farklı görüş olmakla beraber zararlı oldukları hakkındaki sonuçlar son zamanlarda çok daha belirgin bir

şekilde artmıştır. Cep telefonlarının etkileriyle ilgili yapılan çalışmalar incelenecek olursa etki mekanizmaları termal ve termal olmayan etkiler olarak ikiye ayrılmalıdır.

II.5.2.1.Termal Olmayan Etki

Ulusal ve uluslar arası pek çok standart cep telefonlarının maksimum radyasyon etkileriyle ilgili sınırları belirlerken hep özellikle baş bölgesinde oluşan ısınmayı temel alarak yani ısıl etkiye göre karar vermişlerdir. Çünkü bilindiği gibi RF dalgaları; dokularda ısınmaya bağlı olarak zarar görme ya da yıkıma uğramaya neden olmaktadır. Fakat daha sonra yapılan çalışmalarda günümüz cep telefonlarında kullanılan ve dokuları ısıtacak kadar olmayan yukarıda bahsettiğimiz 50-60 Hz lik ELF radyasyonun metobolizmada etkili olduğu bulunmuştur.[18] Cep telefonlarının termal olmayan etkileriyle ilgili çalışmalarda zamana bağlı değişen düşük frekanslı sinyaller normal biyolojik fonksiyonlara müdahale edebilir sonucu ortaya çıkmıştır. [19]Bu yüzden Son 10-12 yılda günlük ve yıllık oran bakımından beyin ve kafadaki kanserlerdeki artışla cep telefonlarının ilişkilendirilmesiyle ilgili çalışmalara daha çok odaklanılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar genelde hücre ve dokuların işlevlerine olan etkilerle ilgilidir. Yapılan çalışmaların pek çoğu cep telefonlarının genotoksik etkilerinin olduğu yönündedir. Genotoksik etkiler cep telefonunun kullandığı frekans ve SAR değerlerinde insan lentil epitelyum hücrelerinde, yanak mukoza hücrelerinde, beyin dokularında incelenmiştir.[21] Bu etkiler metafaz kromozomları üzerinde ve DNA üzerindekilerdir. Örneğin DNA bütünlüğünü bozduğu yönünde yapılmış bir çalışmada GSM sinyallerinin bunda etkili olabildiği sonucuna varılmıştır.(cep telefonlarında kullanılan 1,8 GHz ve 2W/kg SAR değerlerinde)[19] DNA hücrenin fonksiyonlarının yerine getirilmesi, çoğalması, yaşayabilmesi mutasyonu ve kanser olmasında doğrudan ilgili olduğu için onun zarar görmesi tüm bu fonksiyonların zarar görmesi anlamına gelecektir. DNA'nın zarar görmesiyle ilgili hem pozitif hem negatif yönde görüşler bulunmaktadır. DNA'nın zarar görmesi; DNA onarımından sorumlu genin aktivasyonunda meydana gelen bozulma ile nükleer histon ailesinden H2AX geninin ve P53 bağlama proteininin zarar görmesi yüzündendir. Aynı zamanda ornithin dekarboksilikasitin (OD) birincil sinir hücrelerinde azalmasıyla da ilişkilendirilmektedir.[27,21] ELF ve RFler genlere ve kromozomlara zarar verirken, hücre makromoleküllerindeki hidrojen bağlarının stabilizasyonunu, protein değişimi ve kopyalama özelliklerini bozarlar.[27] Vitro ve vivo beyin hücrelerindeki oksijen radikalleri üzerine yapılan çalışmada 5 dklık

0,005W/m^2 lik alan şiddetli radyasyonun oksijen radikallerini etkilediği ve lokal ısınmalara neden olduğu gözlemlenmiştir. 10 dakikalık kesintili maruziyette daha yüksek etkiler gözlemlenmiştir.[21] Ayrıca yapılan bir başka çalışmada cep telefonu kullananlarda tümör oluşumunda artış olduğu ortaya konmaktadır.[24] Hücre kültürleri ile yapılan çalışmalarda nadir rastlanan bir beyin tümörü olan neurozitom, cep telefonu kullanıcılarında üç kat daha fazla görülmektedir. Bunun nedeni ise Epidemiyologlar tarafından darbe biçimli ışımanın hücrelerde bir titreşime neden olduğu ve bununda hücre bölünmesini indükleyerek tümörleşmeye neden olduğu şeklinde açıklanmaktadır.[24]

Bir başka çalışmada ise wireless ve cep telefonu kullanımı, gen başlatımı üzerinde, kademeli hücre zarından geçiş sinyalleri, bağışıklık sistemi etkinliğinde, hücre dönüşümü oranında, göğüs kanseri hücrelerinin gelişiminde, zarar görmüş sinir hücrelerinin yenilenmemesi ve özellikle çocuklarda dentrit ve akson hücrelerinin gelişiminin yavaşlaması, kırılmış kemiklerin tedavi edilememesinde olumsuz yönde etkilidir sonucuna ulaşılmıştır. Hücre büyüme kontrolü, çoğalma ve farklılaşma gibi biyolojik proseslerde değişikliğe yol açması ise kanser etkeni olduğu yönünde sonuca ulaşılmasına neden olmuştur. Lenflerde kalsiyum girişini inceleyen dekarboksilika asit aktivitesini değiştirerek dokulardaki hücre çoğalmasını sağlayan hemostatik mekanizmayı etkiler.[22,25] Ayrıca kadınların üreme sistemi ve plesantanın gelişiminde cep telefonlarının zararlı etkisi olduğu yönünde çalışma sonuçları vardır.[26]

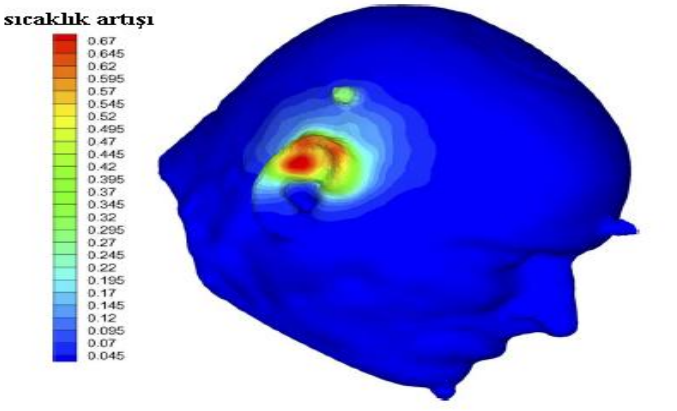
Son zamanlardaki pek çok araştırma ise cep telefonunda kullanılan modüle RF sinyallerinin insanın idrak etme, reaksiyon zamanı, beyin dalga aktiviteleri, uyuma düzeni ve bağışıklık sisitemini etkilediğini göstermektedir. [16] Almanya Mainz Üniversitesindeki bir grup doktor gece uyku sırasında açık bırakılan cep telefonlarının genç erkeklerde uyku bozukluğuna neden olduğunu göstermiştir. Beyin dalgası ölçümleri rüya fazının önemli derecede kısaldığını göstermişlerdir.[16] Fakat bir başka araştırma grubunun çocukların hafıza ve gelişimine cep telefonlarının etkileriyle ilgili yaptıkları çalışmada da pozitif bir etkinin olduğu kanıtlanamamıştır.[12]

Sonuç olarak; 1999'dan günümüze kadar yapılan çalışmalarda cep telefonlarının radyasyonlarına maruz kalan insanların kısa süreli maruziyetleri sırasında ve sonrasında; cep telefonlarının sinir sistemi, uyku sistemi ve bilişsel olmayan fonksiyonların koralasyon yoğunlukları üzerine etkileri bulunmuştur.[18]

Tekrarlayan sinyallere düşük maruziyet aşamalarında bile kronik olarak maruz kalınırsa biyolojik sistemi bozmaktadırlar. Normalde cep telefonlarında da düşük frekans kanser etkisi yaratmazken uzun sureli ve tekrarlı maruziyet buna neden olmaktadır. RF taşıyıcı dalgalar, düşük frekanslı alanlar ve tekrarlı radyo frekanslar cep telefonlarında kullanılırlar ve bu etkiye sahiptirler.

II.5.2.2.Termal etki

EMF alanlarının sadece bir etkisi konusunda araştırmacılar hem fikirdir. Oda cep telefonlarının termal etkisidir. Daha öncede belirttiğimiz gibi standartlar oluşturulurken de termal etkiler göz önünde bulundurulmuştur. Cep telefonlarının kullanımı sırasında iletim anteninin kullanıcının başına çok yakın konumlanması sebebiyle radyasyon absorbsiyonunun en fazla olduğu yerin burası olması ve bunun dokularda ısınmaya neden olması özellikle çocuklar için bu etkiye ilgiyi arttırmıştır. Cep telefonlarının termal etkilerinin incelenmesi sırasında hem nümerik hem de deneysel metodlar kullanılmaktadır. Numerik metodla ölçümde kullanıcının baş bölgesindeki güç absorbsiyonu için manyetik rezonans modeli ve maxwell denklemlerinin temel alındığı FDTD metodu kullanılır. Bu metod kullanılarak yapılan bir çalışmada piyasadaki herhangi bir cep telefonu modeli kullanılmış ve beyin, ten, beyin omirilik sıvısı ve kafatası dokularının ısınması modellenerek termal etki hesaplanmıştır. Oluşan elektrik ve manyetik alanın sınırları belirlenerek baş tarafından absorblanan güç 0,795 W olarak bulunmuştur. Bu güç yüzünden elektromanyetik radyasyon sonucu elde edilen dokulardaki sıcaklık değişimi aşağıdaki şekilde görülmektedir. Görüldüğü üzere sıcaklık değişimi sınır değer olan 1°C nin altındadır.[20]



Şekil II.24 Elektromanyetik Radyasyon Sonucu Dokularda Meydana Gelen Isınmanın Modeli

Burada görüldüğü üzere SAR canlı vücudunda soğrulmasına ve oradan doku ısınmasına neden olurlar. Soğrulan bu güç Özgül Soğrulma Oranı (Specific absorption rate = SAR) gelen dalganın frekansına, geliş açısına, canlı dokunun su muhtevasına ve biyolojik malzemenin elektriksel özelliklerine (iletkenlik, dielektrik sabitleri) bağlıdır. Yani özgül soğrulma oranı kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır çünkü RF alan kuvveti mobil telefona uzaklıkla doğru orantılı olarak düşer. Örneğin, kulağa dayalı olarak yapılan görüşmede, 10 cm uzaktan yapılan (eller serbest) görüşmeden çok daha fazla RF alanına maruziyet söz konusudur. Buna göre cep telefonu ile konuşma esnasında en çok etkilenen kısım kulak ve kafatasıdır.[16,19] Cep telefonları kulak, kafatası ve beyin dokusunun ısınmasına neden olur. Bu ısınma kulakta daha fazla olmakla beraber 1/10 ^{O}C kadar olmaktadır. Bu da güvenlik sınır değerlerinin çok altında olduğu için kalıcı bir etkiye neden olmamaktadır.[20] Fakat şunu da belirtelim ki bir çalışmada cep telefonlarının çok kullanılması ve uzun süreli konuşmaların yapılması durumunda ısı etkisinin DNA hücresine zarar verebileceğini ve kanser tümörlerine yol açabileceğine dikkat çekilmektedir.[26]

II.5.3.Baz İstasyonları ve Etkileri

Baz istasyonları mobil telefonlarla iletişimde istasyon görevi yapar. Baz istasyonları birbirlerine ağ yapısı şeklinde bağlıdır. Mobil telefonlar ve baz istasyonları arasındaki iletişim elektromanyetik dalgalarla sağlanır. Hücresel yapı sayesinde aynı anda pek çok kullanıcı görüşebilmektedir. GSM hücrelerinin planlanması hücrenin şehir içinde ve dışında olması ve kullanıcı abone sayısına göre belirlenir. Kapsama alanını da hücre tipleri belirler. Üç tür hücre tipinden Türkiye de kullanılan makro hücrelerdir. Ve yerleşimin seyrek olduğu yerde 25-35 km yarıçapında alana hizmet verirler.[12]

Bunlar genellikle 4 m boyunda dolap biçimi iki çubuk antenle bir çanak antenden ibarettir. Çubuk antenler dalgaları toplayıp çanak antenlere verir, o da bu dalgaları çevreye gönderir. Çanak anten 16 farklı kanaldan (frekanstan) yayın yapabilir. 15–50 metre yüksekliğe yerleştirilir. Bu yüksekliğe 6 anten konulabilir. Antenler hizmet ettikleri alanın büyüklüğüne göre birkaç watt'tan 100 watt'a kadar enerji üretebilirler. Tek yönlü yayında dalgalar dar bir huzme şeklinde gönderilir; huzme daraldıkça güç artar. Telefon konuşmaları arttıkça güç yükselir. Çünkü baz istasyonlarının neden olduğu toplam elektromanyetik enerji sabit bir değer değildir.

Kullanıcı yoğunluğuna aynı anda yapılan görüşme sayısına bağlıdır. Bu sayılar arttıkça enerjide artar.

Bu antenler dikey düzlemde çok dar ancak yatay düzlemde oldukça geniş bir alana RF dalgaları yaymaktadır. Bu nedenle antenin tam altında ve etrafında RF dalgalarının yoğunluğu çok düşüktür. Düz çatıların üstündeki antenlerde en üst kattaki RF düzeyi 0.65 mW/cm^{2}'dir. Bu ise Türkiye için kabul edilen sınır değerin üzerindedir. Antenden uzaklaştıkça bu yoğunluk artar. Elektrik alan antenden 30-250m uzaklıkta maksimumdur.[16,23]

Baz istasyonlarının özellikle çocuklar için tehlikeli olduğu yönünde yapılan çalışmalar vardır. Ayrıca çeşitli çalışmalarda belirlenen standartların altındaki sinyallerin bile baş ağrısı, uykusuzluk gibi sorunlara yol açtığı ve beyindeki elektriksel aktiviteleri ve algılama fonksiyonlarını kısa süreli olarak etkilediği de belirlenmiştir. Sakat ve erken doğumlarda etkili olduğu yönde yapılan çalışmalarda ise tam bir fikir birliği yoktur. Yalnız şu bir gerçektir ki RF dalgalarının genel zararlı etkileri baz istasyonlarından bu dalgalar yayıldığı için buna maruz kalan biyolojik varlıklar için kullanılan frekansın boyutuna göre geçerlidir.

II.5.4.TV ve Radyo Antenleri ve Etkileri

Radyo ve TV vericileri de RF elektromanyetik dalgalar yoluyla yayın yaparlar. Yayın yapan antenlerden dolayı çevrede yaşayanları etkileyecek RF enerji miktarı istasyon tipi, kullanılan anten tasarım karakteristiği, antene iletilen güç, antenin yüksekliği ve antenden uzaklığa göre değişir. Bazı frekans aralıklarında insan vücüdü tarafından emilen elektromanyetik enerji diğer frekanslara göre çok daha fazladır. Yetişkin ayakta bulunan bir insan vücüdün en fazla RF dalgalarından etkilenebileceği frekans bölgesi (80 ve 100 MHz arasındadır.). Daha öncede belirttiğimiz gibi bu frekanstaki dalgalar cep telefonunda da kullanılan ELF dalgalarıdır. Ve bu dalgaların biyoaktif etkileri diğer dalgalara göre çok daha güçlü ve vahimdir. ABD yapılan bir çalışmada radyo antenine yakın evlerde kanser riskinin %37.5 arttrdığını göstermiştir. Daha sonraki çalışmalarda TV antenine 4km.'den daha yakın evlerde (Çocukların aldıkları RF dozu 0.02-8 mikrowatt/cm^{2})çocuk akut Ienfatik lösemisinin %50'den fazla (1.61 kat) arttığını gösterilmiştir. Ayrıca yüksek gerilim hatlarına yakın yaşayan çocuklarda kanserin 2-3 kat arttığını göstermiştir. Bu çocuklar çok düşük dozda ELF (extremely Iow freguence = çok düşük frekans) dalgalarına (frekansı 50) maruz kalmıştır. [16,12,23]

Ancak, radyo ve TV verici antenleri yüksek kuleler üzerine kuruldukları ve kuruldukları bölgelerin yaşam bölgelerine uzak seçildikleri sürece halkın etkilenebileceği RF enerji seviyeleri önerilen seviyelerin altında olmaktadır. [12] Dolayısıyla, radyo ve TV vericileri insanların yaşam alanlarından uzak yerlere kurulduğu zaman bu zararlı etkileri minimize edilmiş olacaktır.

II.6. ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA

Elektromanyetik radyasyonun günümüzde kullanılan elektronik cihazlar, iletişim cihazları ve günlük hayatımızı kolaylaştıran her türlü teknolojik cihaz yüzünden her an iç içe yaşadığımız bir olgu olduğu ve bu radyasyonun insan sağlığına zararları önceki bölümlerde belirtilmiştir. Bu etkilerden vücudumuzun korunabilmesi amacı ile 1960 yılında kurulmuş olan Uluslar arası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından geliştirilmiş olan Anti radyasyon Standardına bağlı olarak elektromanyetik kalkanlama terimi ve kalkanlanlama materyalleri geliştirilmiştir.

Elektromanyetik kalkanlama elektromanyetik alanın iki saha arasındaki etkisinin kısıtlanması yani elektromanyetik dalgaların yolunun kesilmesi ve onların direncini kırma prosesi olarak belirlenebilir.

Elektromanyetik kalkanlama için; çeşitli iletken tel ve tekstil yüzeyleri; metal lif-kimyasal lif karışımları; kaplanmış kumaş, çelik lif – bitkisel lif karışımları ve diğer güncel polimer teknolojilerinin kullanımı ile oluşturulmuş tekstil yapıları geliştirilmektedir. Özel tasarlanmış tekstil yapıları sayesinde farklı frekans aralıklarında farklı koruma etkinlik alanlarında (dB) %99'dan daha yüksek değerlerde koruma sağlayan elektromanyetik kalkanlama sağlanabilmektedir.

Diğer yandan elektromanyetik radyasyonu azaltmak sadece insan vücudu için değil elektronik sistemlerin gelişimi ve bilgilerin korunması içinde günümüzde elzemdir. Elektronik endüstrisinde bilhassa, elektronik ürünler daha küçülmekte ve koruyucu aygıt olmadığında ani elektrostatik deşarja karşı hassas olmaktadırlar. Yüksek elektrostatik potansiyele, elektrostatik şarj yüklenmesine karşı hassas olan elektrik elementleri, elektronik komponentlerinde ve tesislerinde arızaya sebebiyet vermektedir. Elektrostatik deşarj sinyal paraziti oluşturup, elektrik tesisinin hatalı çalışmasına veya başka arızalarına sebep olmaktadır. Ayrıca askeriyede mikrodalga

silah teknolojileri, radarlar gibi pek çok sistemde de elektromanyetik dalgaları kalkanlama önemlidir.

Kalkanlamanın amacı; elektromanyetik dalgalara karşı biyolojik varlıkları ve dalgalara hassas elektronikleri koruma işidir ve kalkanlama materyali tarafından elektromanyetik dalgaların absorbsiyonunu ya da yansıtılmasını ifade eder.

II.6.1.Elektromanyetik Kalkanlama Mekanizması

Elektromanyetik kalkanlamanın 3 mekanizması vardır.

a)Yansıtma; radyasyonun yansıtılması için kalkanlama materyalinin gelen dalgalarla etkileşebilecek hareketli yük taşıyıcıları(elektron yada boşluk) olmalıdır. Bu yüzden bir yapının elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin geliştirmek için iletkenliğini geliştirmek gerekir. Başka bir deyişle bir yapının kalkan olabilmesi için öncelikli şart elektriksel iletken olmasıdır. Fakat kalkanlama için çok yüksek iletkenlik gerekmemektedir. Kalkanlama için 1Ωcm lik hacimsel özdirenç değeri genellikle yeterlidir. Yansıma kaybı ise σ/μ oranına bağlıdır. Yüksek iletken metallerin yansıtma kalkanlaması bu yüzden mükemmeldir. Yansıma kayıpları aynı zamanda empedansa ve ortamda elektromanyetik dalganının yayınımına da bağlıdır.[28-31]

b)Absorbsiyon; radyasyonun absorbsiyonu için kalkanın elektromanyetik radyasyonla etkileşecek manyetik ya da elektriksel dipollere sahip olması gerekir. Bu dipoller asitlerle muamele sonrasında oluşur. Absorbsiyon kaybı ürünün $\sigma.\mu$ değerine bağlıdır. Mıknatıslık özelliği olan materyaller absorbsiyon kalkanlaması için iyidir.[30,32] Tüm dalgalar için aynı materyalin absorbsiyon değeri aynıdır. Absorbsiyon akımın geçtiği ortamda ohmic kayıplar sonucunda materyalin elektromanyetik enerjiyi ısıya dönüştürmesidir. Yani absorbsiyon sırasında elektromanyetik dalga çözülür. Ayrıca empedansa bağlı olmadığı için uzak yakın alan durumlarıyla da alakalı değildir (elektromanyetik dalga kaynağını çevreleyen alan ikiye ayrılır. Yakın alan da ($\lambda/2\pi$ den yakın) alanın özellikleri kaynağın karakteristiğine bağlıdır. Uzak alanda ($\lambda/2\pi$ den uzak) ise alanın özellikleri ortamın karakteristiğine bağlıdır. ($\lambda/2\pi$) çevresindeki alan ise iletim alanı olarak adlandırılır[28]) Absorbe edilen enerji deri kalınlığıyla alakalıdır.

Deri kalınlığı ise; (elektriksel alanın etkisinin 1/e meydana geldiği iletken materyal kalınlığı)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad \text{(II.74)}$$

σ= elektriksel iletkenlik1/Ωcm

Frekans arttıkça deri kalınlığı düşer iletkenlik ve geçirgenlik artar.

c)Çok yönlü yansıtma; farklı yüzeylerden ya da ara yüzeylerden yansıtma işidir. Bu mekanizma negatif etkiye sahiptir. Eğer yansıtma yüzeyi deri kalınlığından fazla ise bu değer ihmal edilir.[33]

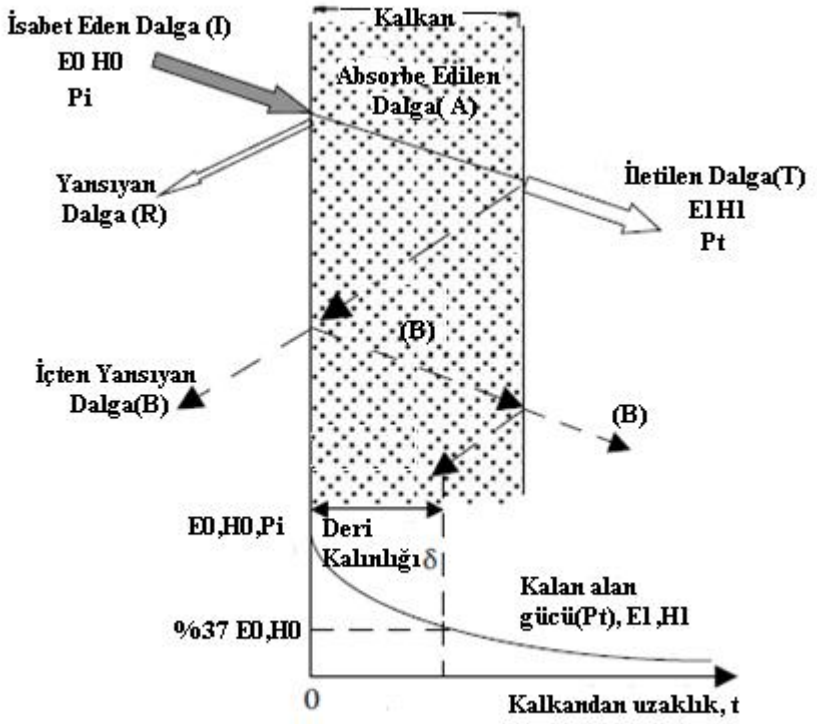
Sonuç olarak; dalga kalkanla karşılaştığı zaman dalganın (Z=E/H)empedansı kalkanınkinden farklıysa dalga geri yansır, eğer çok yakınsa dalga minimum yansımayla iletilir, absorbe edilen enerji miktarı ise materyalin inceliğine bağlıdır.[30] Aktarılan dalganın miktarının mininmum olması en iyi kalkanlama demektir. [29] Tüm bu durumlar kalkanlama etkinliği diye bir kavramı ortaya çıkarır.

II.6.2.Kalkanlama Etkinliği

Kalkanlama etkinliği elektromanyetik alanı sınırlandırabilme yeteneğidir. Ve SE ile ifade edilir. Birimi dB dir. Bir dalga kalkan üzerine isabet ettiğinde kalkanlama sırasında ortaya;

- Direkt yansıyan dalga R
- Absorbe edilen dalga A
- İçten yansıyan dalga *B”*
- İletilen dalga T durumları çıkar.
- Toplam kalkanlama etkinliği ise bu kayıpların toplamıdır[31].

SE=R+A+*B”*



Şekil II.25 Elektromanyetik dalgaların kalkanlanmasının şematik gösterimi

Yansıtılan yük alanı bu yüzey için yansıma katsayısı tarafından verilmektedir. Yüzeye çarpan dalganın bölgesi kalkanlama duvarı boyunca ilerlemektedir. İletken ortam boyunca geçen dalga geçer iken, dalganın genliği $e^{-\beta z}$ nin faktörüne göre azalmaktadır, burada, β malzemenin incelme katsayısıdır. İyi bir iletkenlik teşkil eden kalkan malzemeleri için azalma katsayısı, malzemenin yüzey derinliği (δ) ile ilgilidir (β= 1/ δ). Bu nedenle, alanların genlikleri $e^{-z/\delta}$ faktörüne göre azalmaktadır.

Yansıma kaybı $R = 168 + 10\log_{10}(\sigma/f\mu)$ (II.75)

aynı zamanda $R = (\frac{Er}{Ei})^2$ (II.75a)

Absorbsiyon kaybı $A = 20\log_{10} e^{t/\delta} = 1{,}314t\sqrt{f\mu\sigma}$ (τ cm) (II.76)

Yada $A = 1 - T - R$ (II.76a)

Çoklu yansıma kaybı(içten yansıyan dalga) $B = 20\log_{10}(1 - e^{-2t/\delta})$ (II.77)

Burada τ malzeme kalınlığıdır ve birimi cm dir.

İletilen dalga $T = (\frac{Et}{Ei})^2$ aynı zamanda $T = e^{-\gamma d}$ (II.78)

γ=yayılma sabiti; d=materyalin inceliği

Et= iletilen alan; Ei= isabet eden alan; Er=yansıyan alandır.

Eğer kalkan beklenen yük bölgesinin frekansında malzemenin yüzey derinliğinden çok daha fazla kalın olarak tasarlanır ise, engellerin iç yüzeylerinde tekrar yansımayı devam ettirmeye sebebiyet veren sonuçlar mevcuttur. Bu çok yönlü yansılamalar ve yayınımlar sonuç olarak genellikle ihmal edilebilmektedir. Yani *B* A 10dB den daha iyi ise ihmal edilir. Bu nedenle, çoklu yansıma faktörleri *B* negatif bir sayı olabilir ve genellikle kalkanlama etkinliğini azaltabilir. [30]

Kalkanlama etkinliği isabet eden ve iletilen dalga alanının ya da gücünün oranının logaritmik fonksiyonudur.

$$SE = 20\log\frac{E0}{E1} yada = 20\log\frac{H0}{H1} \quad \text{(II.79)}$$

E0; isabet eden elektrik alan, E1; iletilen elektrik alan, H0; isabet eden manyetik alan , H1; iletilen manyetik alandır.

Yada $SE = 10\log Pt/Pi$ (II.80)

Pt=iletilen dalganın gücü

Pi= isabet eden dalganın gücüdür.

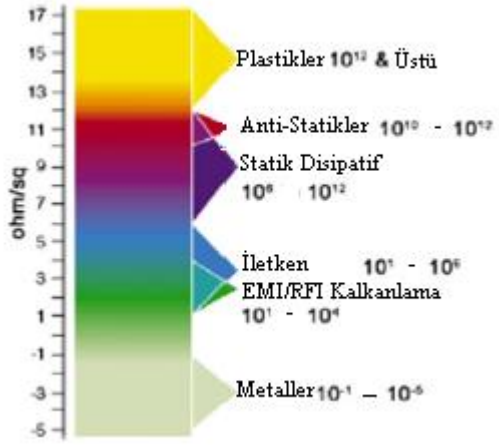
Elektro manyetik kalkanlama etkinliğini ölçmenin bir diğer yoluda iletilen dalga kaybından hesaplama yapmaktır.

$$T(\%) = 1 - 100[10^{(T_{dB}/10)}] \quad \text{(II.81)}$$

Bu formüle göre iletilen dalga miktarı arttıkça kalkanlama etkinliği % olarak azalacaktır.

Kalkanlama etkinliği; iletkenlik, kaynaktan uzaklık, kalkanın inceliği, geçirgenlik, özdirenç ve dalga fonksiyonlarına(her empedans, manyetik ve elektriksel alan değişimine göre farklı dalga fonksiyonları vardır)[28],polarizasyona ve dalga frekansına bağlıdır. Kalkanın geometrisi ve yapısı da kalkanlamayı etkiler. [29,30,32]

İletkenlik arttıkça özdirenç düşer ve kalkanlama artar. Özdirenç kalkanlama metaryelleri için 10^4 Ω/sq dan küçük olmalıdır. Yüzey öz direnci $\chi=Re(l/w)$ formülüne göre hesaplanabilir. Burada (Re) kumaşın ölçülen direnci; (l) iki elektrod arası mesafe ve (w) her elektrodun enidir.



Şekil II.26 Materyallerin yüzey özdirençlerine ve kullanım aralıklarına göre sınıflandırılması

Buradaki iletkenlik instrik iletkenliktir. İletkenliğin; bitim işlemleri, şekil verme, ısıl etkiler, mekanik etkiler, adhesif ya da basınçla etkileşim gibi dış etkenlere bağlı düşüşü kalkanlama etkinliğini düşürür. Kalkanlama 1GHz ve 30 MHz arasında önemlidir. Çünkü iletişim sistemleri bu aralığı kullanmaktadır.

Tablo II.5 Kalkanlama Etkinliği ve Koruma Miktarı

Frekans (MHz)	Kalkanlama Etkinliği (dB)	Kısıtlama Miktarı%
1	29,6	99,89
10	29,1	99,899
100	28,2	99,859
300	28	99,841
1000	27,7	99,831
3000	27,3	99,814

Kalkanlama etkinliği; SE değerinin 10-20 dB arasındaki değeri için %90-99 arasında elektromanyetik dalgaların kısıtlandığını göstermektedir. [32] Geniş yüzeylerde yansıtmayla, absorbsiyona göre daha yüksek kalkanlama sağlanır fakat; frekans arttıkça kalkanlama düşer. Absorbsiyon ise frekans düştükçe artar. 30dB değeri ortalama bir değerdir, otomotiv ve bilgisayar endüstrisinde kullanılmaktadır. Pratikte birçok sorunu 40 dB kalkanlama etkinliği çözebilir. Askeri sistemlerde 100-120 dB kalkanlama etkinliği istenebilmektedir. Telefon kabloları için şartnamelerde istenen değerler 80-90 dB civarındadır.[30]

Tablo II.6 Kalkanlama değerleri ve nitelikleri

Kalkanlama (SE)	E1/E2%	Pi/Pt%	Nitelik
10 dB	32	10	Kötü
20 dB	10	1	Alt sınır
30 dB	3,6	0,1	Ortalama
60 dB	0,1	0,001	İyi
90 dB	0,0031	0,0001	Çok iyi
120 dB	0,0001	0,000001ppm	Olağan üstü

II.6.3.Kalkanlama Etkinliğinin Ölçülmesinde Kullanılan Yöntem ve Standartlar

Kalkanlama etkinliğinin ölçümü karmaşık bir işlem olup ölçüm standartları konusunda çeşitli belirsizlikler bulunmaktadır. Bu yüzdende kalkanlama etkinliğinin ölçümü için kullanılan pek çok yöntem ve standart vardır. Bunlardan Avrupa'da ve Amerika'da temel olarak kullanılan MIL-STD 285 Amerikan ordusu standartıdır. Mil-Std-285, kalkanlama etkinliğini ölçmek için ABD' de askeri amaçlı olarak 1956' da yayınlanmıştır. Bu ölçüm yönteminde kalkanlama etkinliği odaya giren gücün kalkanlama etkinliği ölçülecek numune varken ve numune yokken çıkış gücüne oranına göre belirlenir.[30,34] 100kHz-10GHz frekans aralığında kalkanlanmış duvarlarda elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümü için en çok tercih edilen yöntem olmakla beraber bu standart iptal edilerek yerine IEEE-STD-299-1997 standardı geliştirilmiştir. Bu standart üzerinde 2005 yılında yapılan son düzenlemelerle IEEE-STD-299-2005 olarak değiştirilmiş, ancak değişiklik olarak sadece kararsız ölçümle ilgili bir bölüm eklenmiştir.[30]

Tekstilde yüzeyler düzlemsel olduğu için ASTMD 4935-99 yeni düzenlemeyle D4935-10 [35] ve ASTM ES7-8 [36] IEEE Std 299-1997, Mil-Std-285[37], NSA 65-6, EN50147-1 standartlar düzlemsel materyallerin elektro manyetik kalkanlama etkiliği ölçümlerinde kullanılmaktadır. ASTM D 4935-99 standardı 2005 yılında iptal edilmiş ve yerine 2010 yılında D 4935-10 standartı önerilmiştir. EN50147-1 standardı TSE tarafından TS EN50147-1 olarak 1996' dan 2005 yılına kadar kullanılmış daha sonra iptal edilip yerine Nisan 2005' te onaylanmış olan, TS EN 50147-1 Yankısız Odalar - Bolum 1: Ekran Zayıflatmasının Ölçülmesi TS EN 50147-1, standardı getirilmiştir.[38]

TEM hücresi ile Network Analyzer[34], Net koaksil metodu [39,40] (bu ölçüm düzeneğinde Network analiz ünitesi (devre cozumleyici), koaxial iletim hatlı ölçme ünitesi, güç amplifikatörü, antenlerden ve iletim hatlarından oluşmaktadır) bu standartlara göre kullanılan yöntemlerden bazılarıdır.

II.7.ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİ OLAN TEKSTİL YAPILARI

Elektromanyetik kalkanlama özelliği yapının iletkenliği, manyetik geçirgenliği ve kompleks dielektirik içeriğinin maksimize edilmesi sonucu maksimum olur. Bu yüzden kalkanlama özelliği olan yapıların eldesi için öncelikle o yapının iletken olması ya da iletken hale getirilmesi gerekmektedir. Bilindiği üzere sentetik tekstil liflerinin üretiminde kullanılan polimerin tipik özgül direnci 10^{-10} ohm seviyesinden daha yüksektir. Bu durum elektriği çok iyi yalıtan bir materyale uygundur. Bu yüzden bu yalıtkan yapıları iletken hale getirmek ve tekstilde elektromanyetik kalkan olabilecek yapıların üretimi için bugüne kadar pek çok yöntem denenmiştir.

II.7.1.İletken Tekstil Yapıları Oluşturma Yöntemleri

- İletken malzemeyi kumaş ya da lif üzerine kaplama işlemi; kimyasal kaplama, galvanik spreyleme, iyonik kaplama, vakumla kaplama, püskürtme yada metal folyo bağlamadır.
- İletken katkı malzemelerini; siyah karbon, karbon lifi, karbon nanotüpleri, metalize edilmiş lifler, metal lifler(paslanmaz çelik ,Al ve Cu), metal tozlar, yada pullar (Al,Cu,Ni,Ag) ve grafit gibi yalıtkan sentetik liflere ekleme ile iletken lifler ya da metal lif takviyeli iplikler veya tekstil yüzeyleri oluşturmaktır.
- Antistatik yardımcı kimyasalların yüzeye emdirilmesidir.
- Bizimde bu çalışmada kullanacağımız iletken polimerlerle yüzeylerin kaplanmasıdır. [34,35]



Şekil II.27 Tekstil yapılarının iletken hale getirilmesi için kullanılan değişik yöntemlerin şematik gösterimi

Tablo II.7 İletken tekstil yapılarının oluşum yöntemlerine göre iletkenlik değerleri

Yöntem	**İletkenlik(S/cm)**
Siyah karbon sandviç yapı	10^{6}-10^{8}
Metal tozla karıştırılmış yapı	10^{8}-10^{10}
Metal (şerit) tel eklenmiş yapı	10^{5}
Metal tuzları karıştırılmış yapı	10^{-6}-10^{-1}
Galvanik kaplanmış yapı	$>10^{4}$
İletken polimerlerle kaplanmış yapı	10^{0}-10^{5}

Klasik metal ve karbon takviyeli tekstil yapıları mükemmel iletkenlik değerleri yüzünden; iletken dolgu olarak (lifler, parçacıklar, toz, filamet, tüp) kompozit malzeme içerisinde, ya da kaplama prosesleriyle EMI kalkanlama uygulamalarında kullanılmaktadır. Fakat hacimli tabakalar veya ağ formundaki geleneksel metalik kalkanların; ağırlıklarından, geri dönüşüm olmaması, sentez zorluğu ve pahalı fiyatlarından dolayı uygulamaları daha kısıtlıdır. Kompozitlerde zayıf lif ve metal arası tutunma yüzünden, metal yüzey kaplamaları, toz veya lifler ile doldurulmuş polimer kompozitler veya kaplamalar düşük yırtılmalarından veya çizilme dayanımlarından dolayı dezavantajlıdır. Karbon yapılar ise işlenme ve boyanma ile mukavemet problemleri yaratmaktadır.

Günümüzde doğal iletken polimer kompozitler potansiyelleri ve geniş uygulama alanları yüzünden elektrik ve elektronik endüstrisinde, enerji depolama sistemlerinde ve çeşitli kalkanlama uygulamaları için metallerin yerini almaktadır. İletken polimer olarak elektromanyetik kalkanlama, antistatik uygulama ve mikrodalga absorbsiyonlarında yaygın bir şekilde polyaniline (PANI) ve polypyrrole (PPY) kullanılmaktadır. Çünkü iletken polimerler düşük frekaslarda bile enerji absorblayabilmektedirler. Fakat benzenoid halkalarının kimyasal biçiminden dolayı sabit karakteristik bir yapıya sahiptirler. Genelde çözünmezler. Bu yüzden lif olarak çekilmeleri zordur. Son yıllarda, araştırmacılar iletken polimerlerin pek çok alanda kullanılabileceği düşüncesiyle sentezi, özellikleri, kararlılıkları ve işlenebilirliği üzerine odaklanmışlardır. Yapılan çalışmalarda kompozitlerde katkı materyali olarak ya da yalıtkan polimerlerle karışım halinde veya tekstil yüzeylerine kaplanarak kullanılabilecekleri görülmüştür.

Bu yöntemlerden herhangi biriyle elde edilen iletken dokuma, örme ve dokusuz yüzey yapılar; yapısal düzenleri, fleksibiliteleri, kullanışlı olmaları nedeniyle yeni nesil, multifonksiyonel ve interaktif tekstillerin oluşumu için öncü olmaktadır. İletken kumaşlardan EMI kalkanlaması ESD koruması, RFI korumasında düşük ağırlık ve konfor özellikleri yüzünden faydalanılmaktadır. [35]

II.7.1.1.İletken Katkı Malzemeleri Ekleyerek Oluşturulan Tekstil Yapılarının Kalkanlama Etkinliği

Bu konuda yapılan pek çok çalışma vardır. Genelde iletken katkı malzemesi olarak karbon, garfit ya da metal partiküller kullanılır. Metalik partüküller eklenerek iletken yapı oluşturulması sonucunda 60-100 dB kadar kalkanlama etkinliği elde edilebilmektedir. [41]

Kısa karbon lifleriyle oluşturulan ve matris olarak PES kullanılan liflerde 1GHz da 74 dB kalkanlama etkinliği gözlemlenmiştir. Karbon lifleriyle Nylon polimerinin kompoziti sonucunda 36-40dB kalkanlama etkinliği görülmüştür.[41]

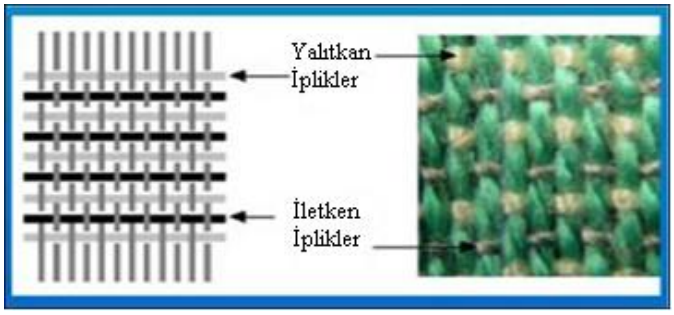
Metallerle yapılan PES kompozit liflerinde ise örneğin Ni kullanıldığında 1GHz da %7 hacimde 87 dB değeri bulunmuştur.

Tablo II.8 PES matrisli iletken kompozitlerin farklı iletken madde katkı materyalleri sonucunda 1-2 GHz dalga frekansında kalkanlama özelliğinini karşılaştırılması[41]

İletken Dolgu Malzemesi	Hacim%	Kalkanlama Etkinliği(dB)
Al Pulları(15*15*0,5µm)	20	26
Çelik Lifleri(1,6µm çap*30≈56µm)	20	42
Karbon Lifleri(10µm çap*400 µm)	20	19
Ni Partikülleri(1-5 µmçap)	9,4	23
Ni Lifleri(20µm çap*1mm)	19	5
Ni Lifleri(2µ çap*2mm)	7	58
KarbonFlamentleri(0,1µm ç*>10 µm)	7	32
Ni Flamentleri(0,4µm ç*>10 µm)	7	87

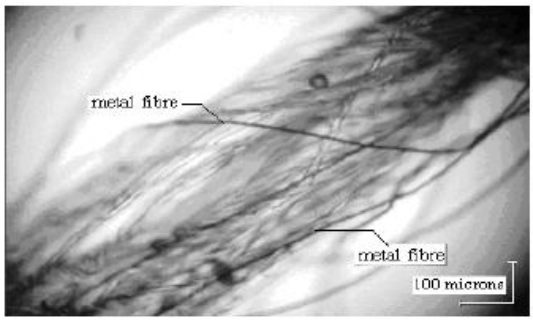
II.7.1.2.İletken Liflerle Tekstil Liflerinin Bir Arada Eğrilmesiyle Oluşan İletken İpliklerden Elde Edilen Yüzeylerin Kalkanlama Etkinliği

Çeşitli tekstil liflerinin metal lifler ile bir arada eğrilerek karışım iplik elde edildiği ve bu ipliklerden dokuma, örme veya dokusuz yüzey yüzeyler oluşturularak bu yüzeylerin kalkanlama etkinliğin ölçüldüğü çok sayıda çalışma yapılmıştır. Metal lifleri ile takviye edilmiş tekstil yüzeylerinde kalkanlama etkinliğinin; dalga boyu, sinyal kaynağı ile aradaki mesafe, ortam nemliliğinin yanında; yüzey içindeki iletken liflerin yoğunluğu, geometrik yerleşimi, katman sayısı, kumaş kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.[35,37,42]



Şekil II.28 Metal iplik takviyeli tekstil yapısı

Sandra VARNAITĖve arkadaşları; Poliester ve paslanmaz çelik (%80%20) 20 tex inceliğindeki karışım ipliğinden oluşturulan 3 farklı dokuma kumaşın kalkanlama etkinliğini(EN 1148-5 standartına göre) ve yıkamalar sonrasında bu etkinliğin değişimini incelemişlerdir.

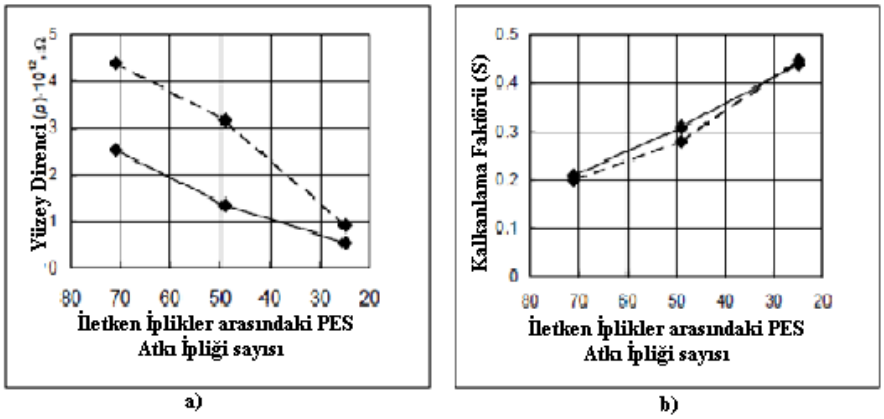


Şekil II.29 Paslanmaz çelik lif takviyeli poliester iplik

Kumaş 25 atkı poliester+1atkı poliester/ paslanmaz çelik

Kumaş 49 atkı poliester+1atkı poliester/ paslanmaz çelik

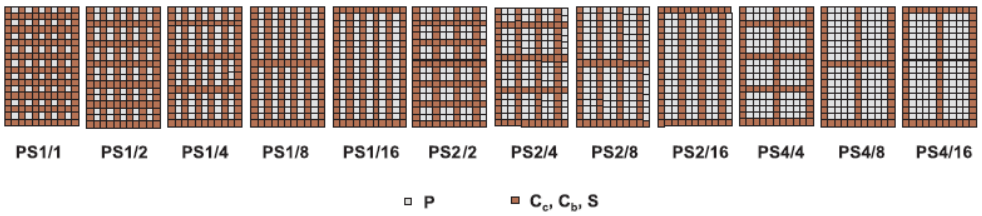
Kumaş 71 atkı poliester+1atkı poliester/ paslanmaz çelik



Şekil II.30 a)Kumaşların yüzey özdirençlerinini karşılaştırılması b)Kalkanlama faktörünün karşılaştırılması (——— yıkamadan önce ----- 5 yıkama sonucu)

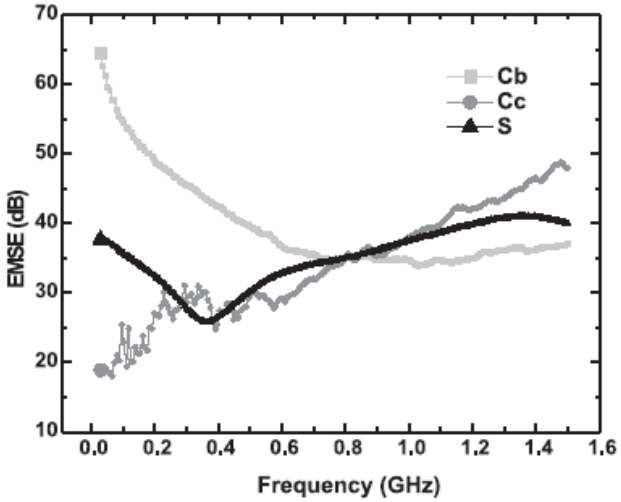
En 1149-5 e göre SE>0,2 kalkanlama etkinliği istenen düzeyde bulunmuştur. 1 numaralı kumaş en iyi kalkanlama etkinliğini sağladığı görülmüştür. Buradan da iletken yapı sayısı arttıkça kalkanlama etkinliğinin artacağı sonucu çıkmıştır.[42]

Roh ve arkadaşları; PET bakır, PET yalıtılmış bakır ve PET paslanmaz çelik metal kompozit kumaşların EMSE değerleri; kullanılan düz dalga ve uzun alan EM dalgasına göre düzlemsel malzemeler için ASTM 4935-99 a göre ölçülmüştür.



Şekil II.31 Dokuma kumaşlardaki açık grid formlarının şematik gösterimleri (koyu kareler: metal kompozit iplikler, açık kareler: PET iplikler) Bakır (C_b), yalıtılmış bakır (C_c), ve paslanmaz çelik (S)

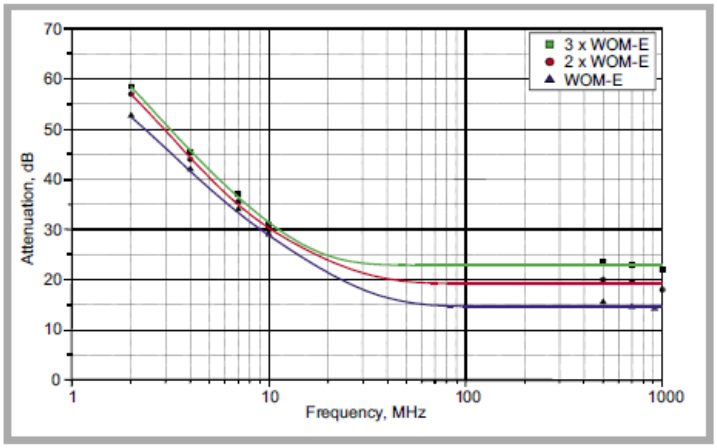
Çalışmada bakır kompozit kumaşların 800 MHz üzerinde en yüksek kalkanlama etkinliğine sahip olduğu; izole edilmiş bakır kompozit kumaşın 800 MHz-1.5 GHz aralığında en iyi kalkanlama etkinliğini gösterdiği bulunmuştur. Çelik kompozit 300-400 MHz aralığında kalkanlama etkinliğinde düşüş göstermiştir ve bakır 1 GHz civarında düşüş göstermiştir.



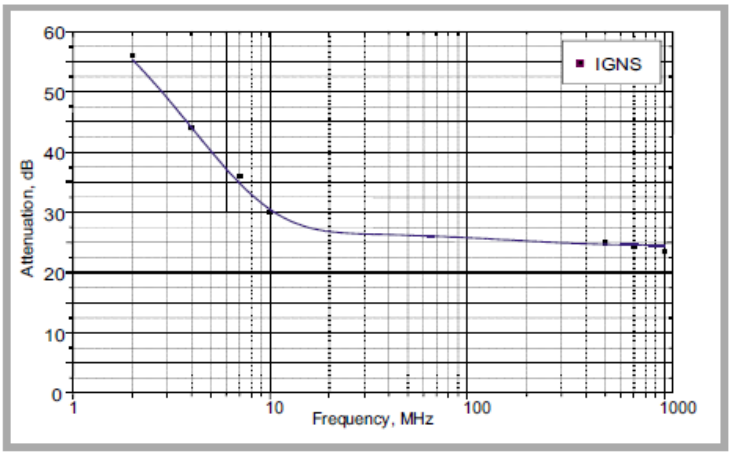
Şekil II.32 EM kalkanlama etkinliği üzerine metal çeşidinin etkisi[35]

Grid açıklığı metal kompozit kumaşların metal içeriği ile karşılatırıldığında çok önemli sayılacak düzeyde EMSE değerlerini etkilemiştir. EMSE kalkanlama etkinliği değerleri metal içerik ile artmıştır, fakat metal grid yapısının farklı frekans bağımlılığı görünüş oranına bağlı olduğu keşfedilmiştir. [35]

Aniolczyk ve Koprowska; metalize edilmiş poliakrilonitril PAN lifleri ve poliester liflerinden oluşturulmuş dokusuz yüzeylerde elektromanyetik kalkanlama etkinliğini incelemişlerdir. Bunun için 3,3 dtex inceliğindeki metalize PAN lifleri %75 poliester%25 iplikleriyle dikişle bağlama tekniğine göre dokusuz yüzey oluşturulmuştur. İkinci yapı ise %100 PAN liflerinden iğneyle bağlanarak dokusuz yüzey oluşturulup daha sonra bu iki yapının elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri MİLT-STD-285 standartına göre aşağıdaki gibi bulunmuştur.[37]



Şekil II.33 Dikişle bağlamada 1,2 ve 3 katlı yapıların kalkanlama etkinlikleri



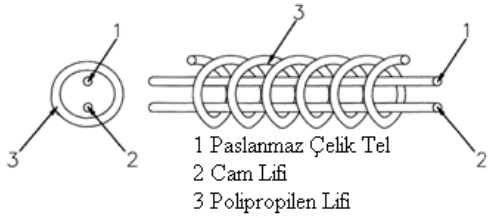
Şekil II.34 İğnelemeyle oluşturulan dokusuz yüzeylerin kalkanlama etkinlikleri[37]

II.7.1.3.İletken Tekstil Yüzeylerinin Katmanlar Halinde Ya da Dolgu Materyalleriyle Birlikte Oluşturdukları İletken Kompozitlerin Kalkanlama Etkinliği

Elektromanyetik kalkanlama için oluşturulan iletken tekstil yüzeylerinin katmanlar halinde birleştirilip kompozitler oluşturulmasıyla ilgili yapılmış çalışmalarda; kompozit levha yapımında dokuma, örme veya dokusuz yüzey tekstil yapıları kullanılmakta olup, kalkanlama etkinliğinin yüzeylerin iletken lif oranı, geometrik yapıları, katmanların yerleşim açıları, katman sayısı gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir. [36,39]

Cheng ve ark; elektromanyetik kalkanlama için iletken örme kumaş kompozitleri oluşturmuşlardır. Örme işleminin gerçekleştirilmesi için, SS/PP ve SS/PET/cam/PP olmak üzere iki çeşit kaynaşmamış iplik üretilmiştir. Kaynaşmamış

iplik üç farklı bileşen içermektedir. Matriks polipropilen (PP) lifler bağlayıcı ve taleplere bağlı olarak, cam lifleri, ve/veya iletken dolgular SS tel ve SS/PET merkez ipliği(çekirdek) olarak kullanılmıştır.

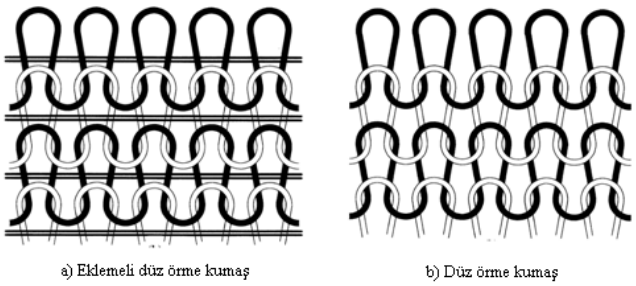


Şekil II.35 Kaynaşmamış iplik

Kaynaşmamış iplikler 5 G yarı otomatik düz örme makinesi kullanılmak sureti ile atkılı örme kumaş formuna getirilmiştir. Çift plaka ve çift plaka eklemeli iki çeşit örme kumaş yapısı üretilmiştir.[39]

Tablo II.9 Örme kumaşların özellikleri[39]

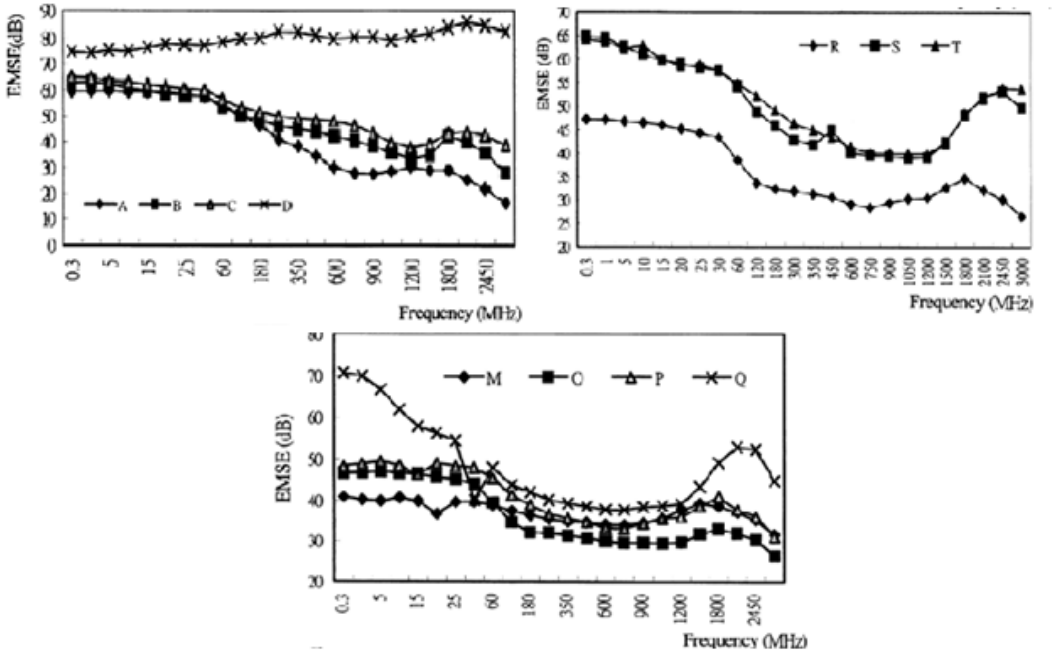
Kumaş kodu	Örme yapısı	Örme ipiği besleme sayısı (Uç)	Ekleme ipliği besleme (Uç)
A	DÜZ	SS/PP (1)	0
B	DÜZ	SS/PP (1)	0
C	DÜZ	SS/PP (1)	0
D	DÜZ	SS/PP (1)	0
M	DÜZ	SS/PET/G/PP (2)	0
O	DÜZ-EKLEME	SS/PET/G/PP (2)	SS/PET/G/PP (1)
P	DÜZ-EKLEME	SS/PET/G/PP (2)	SS/PET/G/PP (1)
Q	DÜZ-EKLEME	SS/PET/G/PP (2)	SS/PET/G/PP (2)
R	DÜZ-EKLEME	SS/PET/G/PP (3)	SS(1)
S	DÜZ-EKLEME	SS/PET/G/PP (3)	SS (1)
T	DÜZ	SS/PET/G/PP (3)	0



Şekil II.36 Örme kumaşların geometrik gösterimi

Basınçlı kalıplama yöntemi ile örme kumaşların 4,6,8,12 katının kullanımı ile kompozit tabakalar üretilmiştir. İşlem şartları 9-10 kg/cm^2 baskılı basınç altında 1.5-1.7 dakika 220 ^{0}C sıcaklık olarak belirlenmiştir. Basınç ve sıcaklık faktörlerinin birleşmesinden dolayı, polipropilen lifler eriyerek ve cam lifi ile güçlendirilmiş ve paslanmaz çelik lifler ile dolgu yapılmış örme yapı içerisine emdirilmiştir, bu nedenle iletken örme kumaş ile güçlendirilmiş thermoplastik kompozitler üretilmiştir.

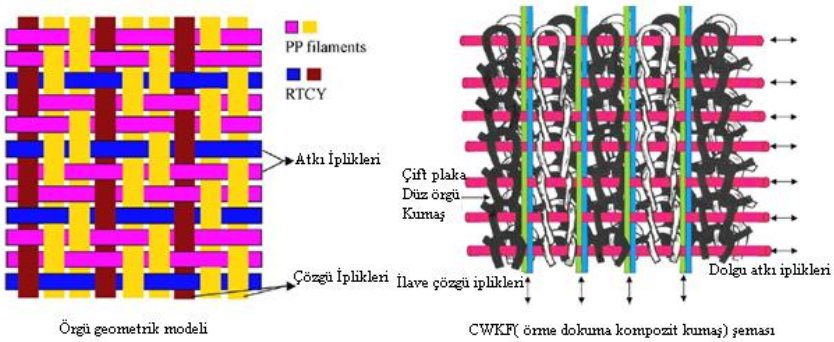
Bu çalışmada, Elgal set 19A coaxial holder sistemi örme kompozitlerin EMSE değerlerini ölçmek için kullanılmıştır.



Şekil II.37 Örme kumaş kompozitlerin frekanslara göre EMSE değerleri

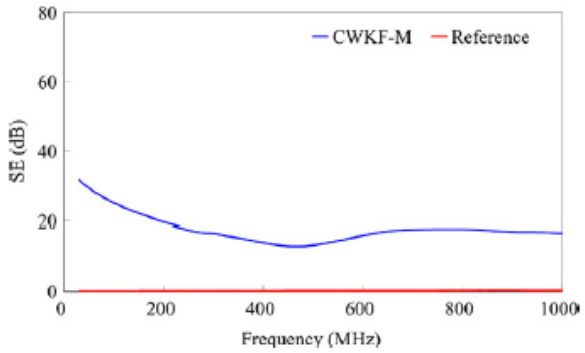
Örme kumaş ile güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin EMSE değerleri SS miktarı, katman sayısı, kumaş örme yapısı ve yoğunluğu tarafından etkilenmektedir. SS iletken dolgu ile örülmüş kumaş ile güçlendirilmiş PP kompozitler PP veya örme cam/PP tabakalar için daha iyi EMSE değeri göstermektedir. Doğal izolasyon karakteristiklerinden dolayı, PP ve cam lif ile güçlendirilmiş PP elektromanyetik enerjinin yüksek frekanslarda içine işlemesine direnmemektedir. [39]

Chen ve ark; paslanmaz çelik içeren (SS) stapel lif / (PET) lif ile üretilen ipliklerin(RTCY) eklenmesi sonucu oluşan dokuma kumaş ve örme kumaşın birlikte kullanıldığı (CWKF) kompozitin elektromanyetik kalkanlama etkinliğini ölçmüşlerdir. Kompozit çözgü ve atkı yönlerinde 2/2 fitilli dokuma kumaş içine PP filament ve RTCY yerleştirilmesi sonucunda üretilmiştir. Üretilen dokuma kumaşların ve CWFK kompozitlerin detayları şekilde de verildiği gibidir



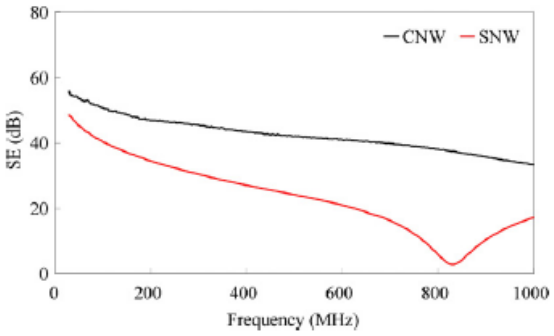
Şekil II.38 Dokuma kumaşların ve CWFK kompozitlerin detayları

ASTM ES7-83 nolu stadartta 30 MHz- 1000 MHz frekans aralığında düz dalga aralığında yapılan testler sonucunda aşağıdaki değerler ortaya çıkmıştır.



Şekil II.39 CWFK kompozitlerin kalkanlama değeri [36]

Ayrıca poliester nanwoven kumaş CNW (%54.87Cu/%1.90Zn/ %43.23Sn)ve polipropilen non woven kumaş SNW (%34.7Cu/%59.98Ni/%5,31 P) metal iyonları ile metalize edilip elektromanyetik kalkanlama özellikleri ASTME 57 standartına göre ölçülüp aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.



Şekil II.40 Çeşitli metalize edilmiş dokusuz yüzeylerin kalkanlama etkinliği

Bu sonuçlara göre CNW(poliester dokusuz yüzey 30-1000MHz frekans aralığında çok daha iyi elektromanyetik kalkanlama etkinliği göstermiştir.[36]

II.8. İLETKEN POLİMERLERİN TEKSTİL YÜZEYLERİNE MUAMELE EDİLMESİ İLE İLETKEN YAPILARIN OLUŞUMU VE ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİKLERİ

İletken polimerler 1980'lerde iletkenliklerinin keşfinden sonra yeni bir materyal sınıfı olarak teknolojide çok geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Bu yüzden iletken özellikte polimerler kullanılarak elde edilen iletken tekstil yüzeyleri ile ilgili yapılan çalışmalar, günümüzde önemli ölçüde dikkat çekmektedir.

Metal takviyeli tekstil yapılarının kalkanlama etkinliği yansıma kayıplarına bağlıdır. Çünkü metalik yüzeylere çarpan dalgalar deri kalınlığı etkisi yüzünden geri yansırlar bu yüzden metalik malzemeler elektromanyetik dalga absorbanı olarak kullanılamazlar. Oysa günümüzde elektromanyetik dalgaları absorbe etmek yansıtmaktan çok daha önemli bir özellik haline gelmiştir. Özellikle mikro dalga absorbanları askeriyede radarlarda, ayrıca cep telefonlarına karşı, bilgisayarlarda ve diğer elektroniklerde, yüksek frekans ve hızlı dalgalara karşı hassas yapılarda günümüzde kullanılmaktadır.[46] Metal esaslı koruyucu malzemelerden farklı olarak, iletken polimerler 30MHz-30GHz mikrodalga frekans bölgesinde elektromanyetik ışımayı yansıtma ile uzaklaştırmanın yanında absorbe ederekte kalkanlama yapmaktadırlar. Ayrıca metallik iletkenliği ve diğer özellikleri yüzünden iletken polimerlerle kaplı yalıtkan tekstil yüzeyleri görülebilir UV (UV-Vis-NIR) aralıklarında ve RF ve W bandı aralığında kalkanlamada da metalik lif ve toz kompozitlerinin yarattığı galvanik korozyon yada friksiyon nedeniyle iletkenlik kayıplarına neden olmadan daha iyi performanslar göstermektedir. İletken polimerlerle kaplı tekstil yüzeyleri işleme kolaylığı, hafif ve fleksibil oldukları içinde metallere göre günümüzde daha avantajlıdır.

İletken polimerler tekstil yüzeylerine kaplanırken reaktan konsantrasyonu ve sentez parametreleri optimize edilerek ince ve homojen kaplamalar sağlanabilir.

II.8.1.İletken Polimer Kaplı Kumaşların X Bandı, W Bandı Ve Radyo Frekans Aralıklarındaki Kalkanlama Davranışı

Dhawan ve ark tarafından yapılan çalışmada; anilin ve pirol cam ve sert slika kumaşlara kimyasal oksidadif polimerizasyon ile polimerize edilmiştir.[40] Anilinin polimerizasyonu için protonik asid ortamında pH1-2 de 0,1 mol anilin çözeltisine kumaşlar daldırılmıştır. Kullanılan asit HCl veya pTSA tir. Yüksek ve uniform iletkenlikte kaplama için yüzeylere kuruduktan sonra ikinci kaplama yapılmıştır.

Pirol ise cam lifine kaplanırken öncelikle kumaş çözülmemiş monomer içeren metanole daldırılmış ardından FeCl4 buharına tutulmuştur. Sonra eter ile üzerindeki safsızlıklardan arındırılması için yıkanmıştır. (Anilin ve pirolün kimyasal polimerizasyonu sırasında kimyasal oksidantlar katyon radikalleri oluşturur ve bunlar kumaşın yüzeyinden adsorbe olup iç kısımlarında radikal çiftleri reaksiyonları ile yalıtkan yüzeylerde stabil kaplamaların oluşmasını sağlamaktadırlar.)

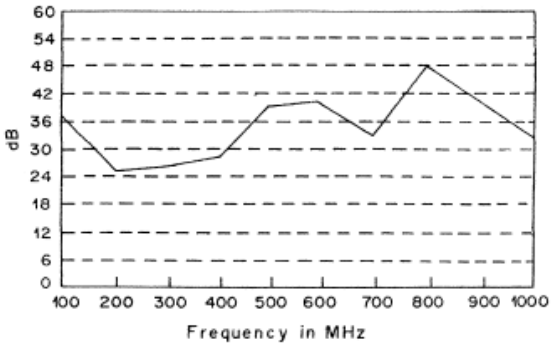
Daha sonra elde edilen iletken yüzeylerin elektriksel öz dirençleri, termal stabiliteleri, görülebilir UV radyasyon (Xband) aralığındaki yansıtma, mikro dalga alanında absorbsiyon, yansıtma ve iletim ile RF ve W bandındaki kalkanlama değerleri ölçülmüştür.

Yüzeylerin öz dirençleri multimeter ile iki bakır çubuk arasında (1 cm mesafe) ölçülmüştür.

Tablo II.10 Özdirenç değerleri

İletken Polimer Kaplı Yüzey	**Özdirenç(Ω/cm)**
Doplanmamış Polianilin kaplı slika kumaşı	10^8
1 kat Polianilin kaplı slika kumaşı	$1,6*10^3$
2 kat Polianilin kaplı slika kumaşı	$1,5\text{-}1,7*10^2$
3 kat Polianilin kaplı slika kumaşı	10-28
Polianilin kaplı cam kumaşı	$3*10^2$
Polipirol kaplı cam kumaşı	$2,92*10^2\text{-}5,3*10^3$

Elektromanyetik kalkanlama değeri koaksial iletim hattı metoduna göre öncelikle radyo frekans aralığı olan 100-1000 MHz arasında ölçülmüştür.



Şekil II.41 Polianilin kaplı kumaşın kalkanlama etkinliği (W bandında)

Polianilin için elde edilen kalkanlama değeri W bandında 30-40 dB arasındadır 30dB kullanılabilen bir engelleme değeridir ki elektromanyetik dalgalardan %99 koruma sağlar. Böylece bu yapıların kalkanlamada etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür. Mikrodalga absorbsiyonu için 8-12 Ghz da ölçüm yapılmış ve 3-11 dB arasında kalkanlama değeri elde edilmiştir buna göre iletken polimer kaplı tekstil

yüzeylerinin mikrodalgaları azaltmada etkin olduğunu görülmüştür. Görülebilir ışık UV aralığındaki kalkanlama etkinliği ölçümü için spektrofotometre ile ölçüm yapılmış ve Polianilin kaplı kumaşın %98 enerjiyi absorbe edip %2 yansıttığı ve Polipirol kaplı kumaşın ise %94 absorbe edip %4 yansıttığı görülmüştür.

II.8.2.Polianilin Kaplı Kumaşlarının Kalkanlama Etkinliği

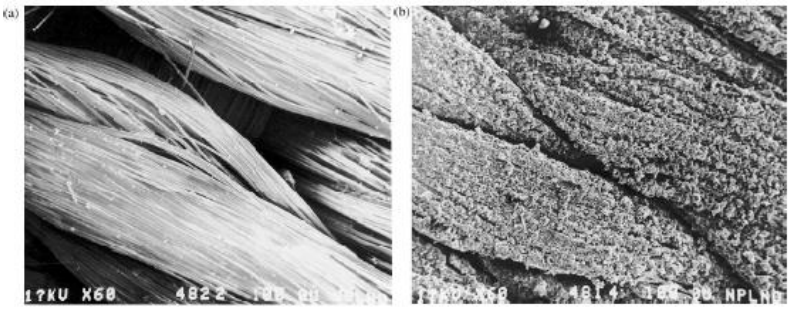
Dhawan ve ark. bir başka çalışmada anilini poliester ve sert slika kumaşa; oksidadif kimyasal polimerizasyonla 0,1 M anilin çözeltisi protonik asit ortamında pH(0,5-2,5)da asit olara aerosol OT yada HCl ve pTSA kullanılarak kaplamışlardır.[31] Yüzey özdirenci 2 prop metoduna göre ölçülmüştür.

Tablo II.11 Polianilin kaplı tekstil kumaşlarının yüzey direnci değerleri;

İletken Kumaş	**Özdirenç (Ωcm)**
Yalıtkan Poliester kumaş	$>10^{10}$
Polianilin kaplı poliester kumaş(Cl^- dopant)[a]	$1.5*10^3$
Polianilin kaplı poliester kumaş(Cl^- dopant)[b]	160-700
Polianilin kaplı poliester kumaş(Cl^- dopant)[c]	10-60
Polianilin kaplı sert slika kumaş	20-28

[a]tek kat polianilin kaplı kumaş [b]iki kat polianilin kaplı kumaş [c]üç kat polianilin kaplı kumaş

Görüldüğü üzere üç kat polianilin kaplanmış poliester ya da slika kumaşlarda yüzey dirençleri 10-28 Ωcm kadar düşürülebilmiştir. Buradan da bu materyallerin hem EMSE hem elektronik saçınım hemde ESD uygulamaları için kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır.



Şekil II.42 a)Muamele görmemiş slika kumaş b)Polianilin kaplı slika kumaş

Elektromanyetik kalkanlama etkinliği pramid boynuzlu anten ile 101 GHz arasında numuneli ve numunesiz iletilen güç miktarı ölçülerek hesaplanmıştır.

Tablo II.12 Polianilin kaplı kumaşların 101 GHz da elektromanyetik kalkanlama etkinliği değerleri

Numune	Giriş gücü (mW)	Çıkış gücü	SE (dB)
Polianilin kaplı PES kumaş(HCldoplu) (160Ωcm)	1.050	[a]0.234mWa	6.3
		[b]28.34μWb	15.52
		[c]1.2μWc	29.20
Polianilin kaplı PES kumaş (PTSAdoplu) (40Ωcm)	1.050	[a]16.7μWa	17.77
		[b]1.49μWb	28.26
		[c]18.1nWc	47.63
Polianilin kaplı slika kumaş(Cl^- dopant)	1.092	0.3μW	35.61
Polianilin kaplı slika kumaş(PTS^- dopant)	1.092	0.8μW	31.35

[a]tek kat polianilin kaplı kumaş [b]iki kat polianilin kaplı kumaş [c]üç kat polianilin kaplı kumaş

Bu değerlere göre; kaplanan polianilin katı yani miktarı arttıkça kalkanlama etkinliğininide arttığı görülmektedir. Ayrıca iletken slika kumaşlarının iletken poliesterlere göre daha yüksek kalkanlama etkinliği gösterdiği görülmektedir.

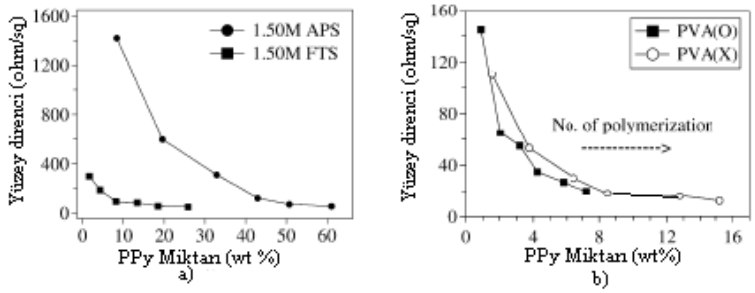
II.8.3. Polipirol/PES Kumaş Kompozitinin Elektrokimyasal Polimerizasyon İle Oluşumu Ve Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği

Kim ve ark; elektrokimyasal ve kimyasal polimerizasyonla PES kumaş polipirol kompozitleri oluşturmuş daha sonra bu yapıların elektromanyetik kalkanlama değerleri, iletkenlikleri, yüzey morfolojileri ve dış etkenlere karşı satabilitelerini karşılaştırmıştır.[43] Bunun için sepet dokuma PES kumaş üzerine kimyasal polimerizasyon yapılırken; pirol ve yüzeyaktif (PVA) emülsiyonu kumaş üzerine spreylenip iki silindir arasından homojen difizyon için geçirilmiştir. Sonra oksidant (APS ve FeIII p-toluen sulfonat) ve dopant(1-naftalinsülfonik asit) karışımı solüsyonda kumaş üzerine spreylenmiştir ve destile su metanol ve asetonla yıkandıktan sonra 70°C de 30 dk fırında kurutulmuştur.

Elektrokimyasal polimerizasyon çapraz akım yoğunluğuyla oda sıcaklığında kimyasal polimerizasyon yapılmış kumaşa paslanmaz çelik levha ve zıt elektrodlar kullanılarak yapılmıştır. Elektrod çözeltisi olarak AQAS tuzu ve 0,3 mol pirol kullanılmıştır. 2 saatlik polimerizasyondan sonra kompozitler destile su ve asetonla yıkanıp daha sonra 70°C de 1 saat fırında kurutulmuştur.

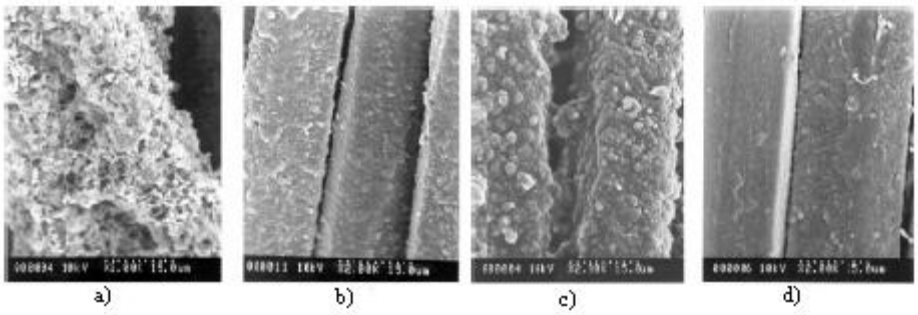
Elektriksel iletkenlik 2 prob metoduna göre ölçümüştür. Elektro manyetik kalkanlama etkinliği ise ASTM D 4935-89 standartına 50 MHz–1.5 GHz frekans aralığında ölçülmüştür.

Kimyasal polimerizasyonla elde edilen PES kumaş/Polipirol kompozitlerinde 20 dk kadar iletkenliğin hızla arttığı daha sonra yavaşladığı bulunmuştur. Polimerize edilen PPy miktarına göre yüzey direncinin de baştan hızla azaldığı fakat bir süre sonra yüzey doyduğu için azalmanın yavaşladığı bulunmuştur. Kullanılan oksidant tipine göre yüzey direncinin değiştiği belirlenmiştir.



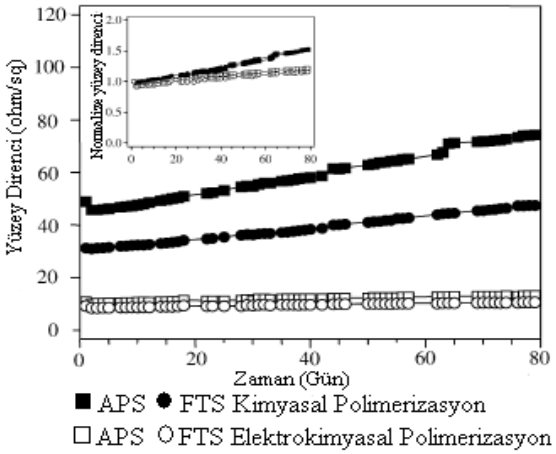
Şekil II.43 a) oksidant tipinin PPy konsantrasyonuna ve özdirence etkisi
b) Yüzey aktifin PPy konsantrasyonuna ve özdirence etkisi

Ayrıca yüzey aktif olarak PVA nın kullanımı hem morfolojiyi hem iletkenliği dolayısıyla kalkanlamayı olumlu etkilemiştir.



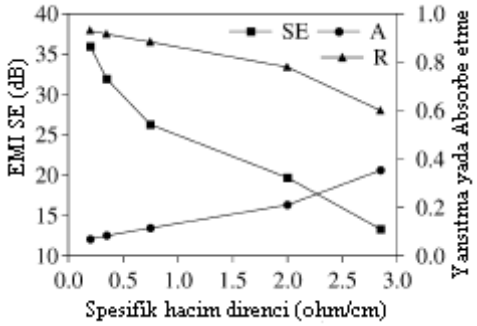
Şekil II.44 Kimyasal polimerizasyonla a)PVA olmadan b) PVA kullanılarak;
Elektrokimyasal polimerizasyonla c)PVA olmadan d) PVA kullanılarak

Elektrokimyasal yöntemle elde edilen kompozitin kimyasal polimerizasyona göre daha yüksek iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur. Çevresel şartlara göre kompozitlerin iletkenliklerinin stabilitesi incelendiğinde (25°C ve %65 izafi nemde) elektrokimyasal ve kimyasal polimerizasyonun ikisiyle de hazırlanan numunelerin kimyasal yöntemle hazırlanana göre daha stabil olduğu bulunmuştur.



Şekil II.45 Kimyasal polimerizasyon ve elektrokimyasal polimerizasyon ile oluşturulan numunelerin yüzey dirençleri

Elektromanyetik kalkanlama özellikleri incelendiğinde ise; 50MHz ile 1,5 GHz arasındaki ortalama SE değişimlerinin çok az olduğu hesaplanmıştır. Örneğin öz direnç 0,2 Ω cm iken 50 MHz de 36 dB olan SE değeri 1,5 GHz da 35,9 olarak bulunmuştur buna karşın öz direnç 2,85 Ω cm iken 50 MHz de 1,3 dB olan SE değeri 1,5 GHz da 13,3 olarak bulunmuştur.



Şekil II.46 Elektromanyetik kalkanlama etkinliği SE Absorbsiyon ve yansıma kayıplarının özdirencin değişimine göre değişimi

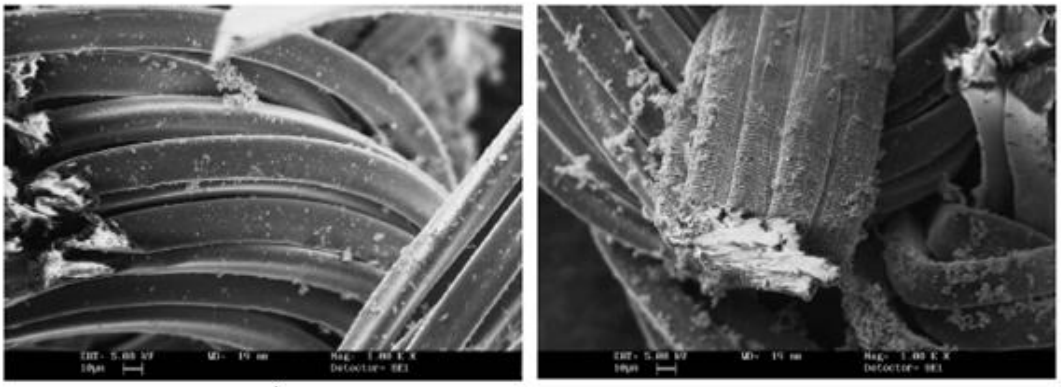
Çalışmada polipirol Pes kumaş kompozitinde elektrokimyasal polimerizasyon sonucunda 0,2 Ω cm özdirenç 36 dB kalkanlama etkinliği ve %7 absorbsiyon kaybı değeri veren kompozitler elde edilmiştir.

II.8.4.Polipirol Kaplı Poliester/Likra İletken Kumaşın 1-18ghz Frekans Aralığında Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi

Hakansson ve ark.;Poliester / likra karışımı kumaşa pirol monomerini kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemine göre polimerize edip iletken hale getirmişler daha sonrada kalkanlama etkinliğini ve yüzey özdirencini incelemişlerdir.[44]

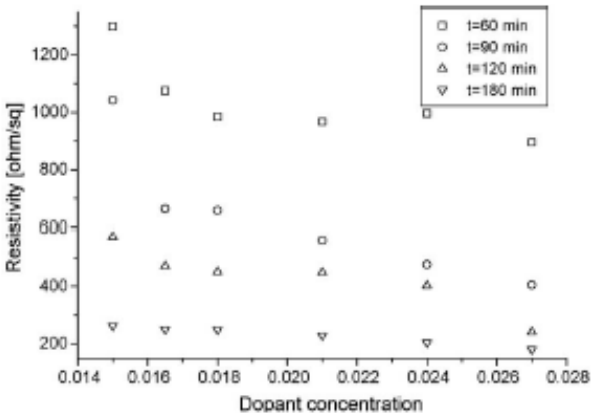
Polimerizasyon kumaşın (0,5g/l) imerol ve (2,0g/l) sodyum karbonat çözeltisine daldırılması (80°C de) ardından da 105°C de binderle kurutulup; pirol monomeri, ıslatıcı ajan ve dopant olarak pTSA içeren sıvı solüsyona batırılmasından sonra Ferik klorid hekzahidratın(Fluka) ortama oksidasyon maddesi olarak eklenmesi sonucu olmuştur. 60 ve 180 dk olmak üzere 2 farklı sürede polimerizasyon yapmışlardır. Yüzeyin iletkenliği ise (AATCC) test methoduna göre 76–1995, kumaşların yüzey öz direncini $\chi=Re(l/w)$ formülüne göre hesaplanmıştır. Kumaşların kalkanlama etkinliği ise 1-18 GHz frekans aralığında yansıtma ve iletim değerlerinin ölçümüne göre hesaplanmıştır.

Çalışmalar sonucunda; kumaş üzerine polimerize edilen polimerin her bir life homojen olarak kaplandığını ve numunelerin renginin siyaha döndüğü görülmüş.



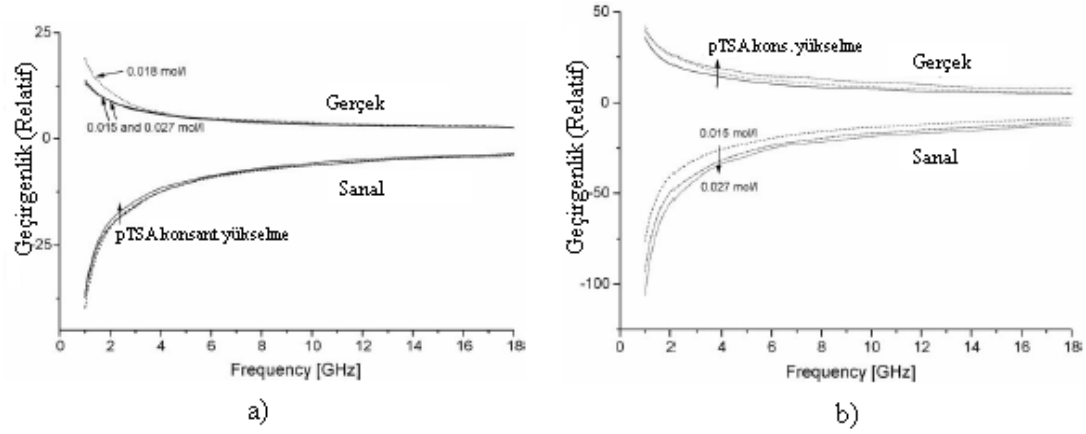
Şekil II.47 SEM görüntüsü a)polipirol kaplı poliester likra lifleri (60dk polimerizasyon) b) likra liflerinin görünümü (180 dk polimerizasyon)

Hakansson ve ark. çalışmada numunelerin yüzey özdirenci 180-1300 Ω/sq aralığında bulmuşlardır. Özdirenç değişimi polimerizasyon süresine ve dopant miktarına bağlı olarak değişmektedir.



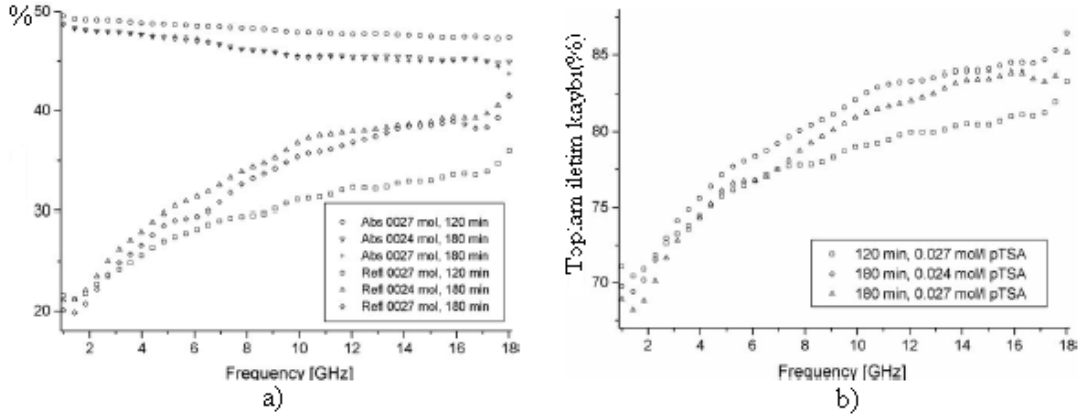
Şekil II.48 Farklı polimerizasyon zamanlara göre pTSA ile doplanmış yapının yüzey öz direnci

Elde edilen yüzeylerin geçirgenliği hem 60 hem 180 dk polimerizasyon süreleri için elektrik depolama için önemli olan gerçek ve elektronik saçınım için önemli olan hayali geçirgenlik göreceli olarak ölçülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil II.49 Farklı dopant miktarlarına göre a) 60 dk ve b) 180 dk polimerizasyon sürelerinde nispi geçirgenlik(2006) [44]

Çalışmada kumaş üzerindeki filmlerin ince olmasına rağmen yüksek bir kalkanlama etkinliği gözlemlenmiştir. Fakat bu kalkanlamadan; metalik kalkanlarda yansıtma kaybı daha yüksekken iletken polimerlerle kaplı kalkanlarda absorbsiyon kayıplarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Toplam kalkanlama etkinliği için iletim kaybıda hesaplanmıştır. İletim kaybı −8.68 dB civarında hesaplanmış ve toplam kalkanlama etkinliği iletim kayıplarına göre $T(\%) = 1 - 100[10^{(T_{dB}/10)}]$ formülüyle absorbsiyon kayıplarının daha etkin olduğu görülerek %86 lar civarında polipirol kaplı poliester likra karışımı kumaşlarda elde edilmiştir. Kalkanlamanın dopant türüne ve polimerizasyon zamana da bağlı olduğu görülmüştür.

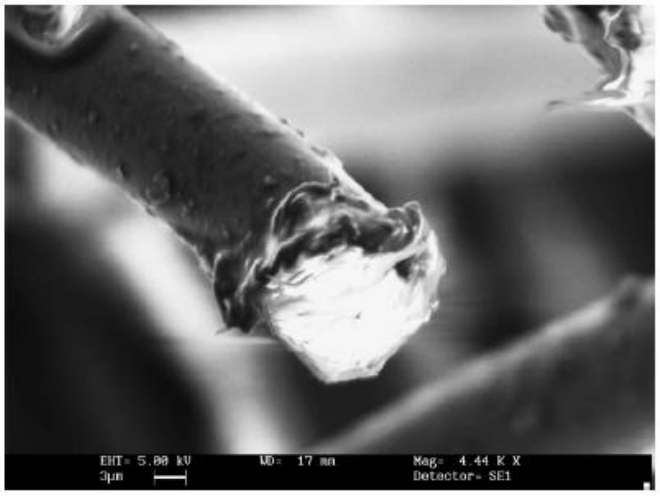


Şekil II.50 a)3 farklı numune için yansıma ve absorbsiyon yüzdeleri
b) Toplam kalkanlama etkinliği

II.8.5.Polipirol Kaplı Naylon/Likra İletken Kumaşın Elektromanyetik Kalkanlama Ve Radyasyon Absorbsiyon Etkinliğinin Ölçülmesi

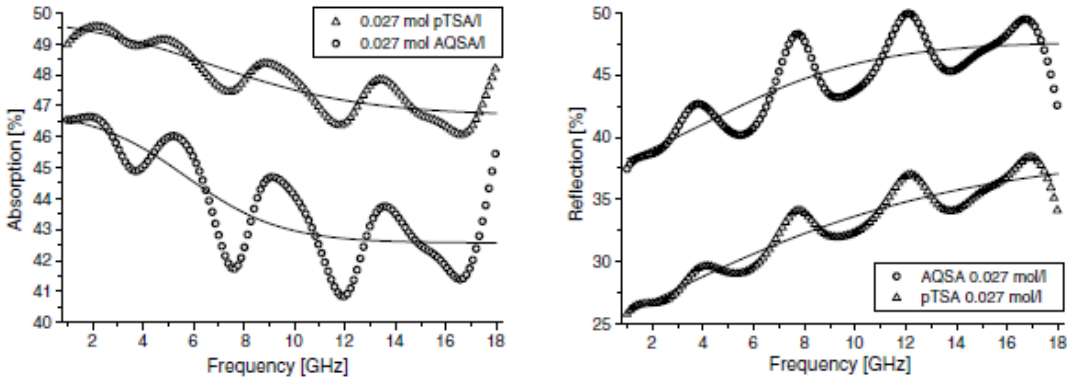
Hakansson ve ark bu çalışmalarında; Nylon/likra karışımı kumaşa polipirol polimerizasyonu ile iletken tekstil yapısı oluşturup bu yapının kalkanlama ve IR absorbsiyon değerlerini ölçmüşlerdir.[45] Kumaşa piroli polimerize ederken kimyasal polimerizasyonla oksidasyon maddesi olarak $FeCl_4$'ü 1:2,23 monomer oranıyla kullanmış ve tekstil yüzeyi üzerine farklı konsantrasyonlarda (AQSA) mono hidrat sodyum tuzu ve (pTSA) sodyum tuzuyla doplamıştır.

Elde edilen iletken tekstil yüzeylerinin morfolojisini SEM de incelenmiş siyah bir film olarak polipirolun her lifin üzerini kapladığı görülmüştür. Kaplamanın kalınlığı optik mikroskopla 0,5-1 μm arasında bulunmuştur.



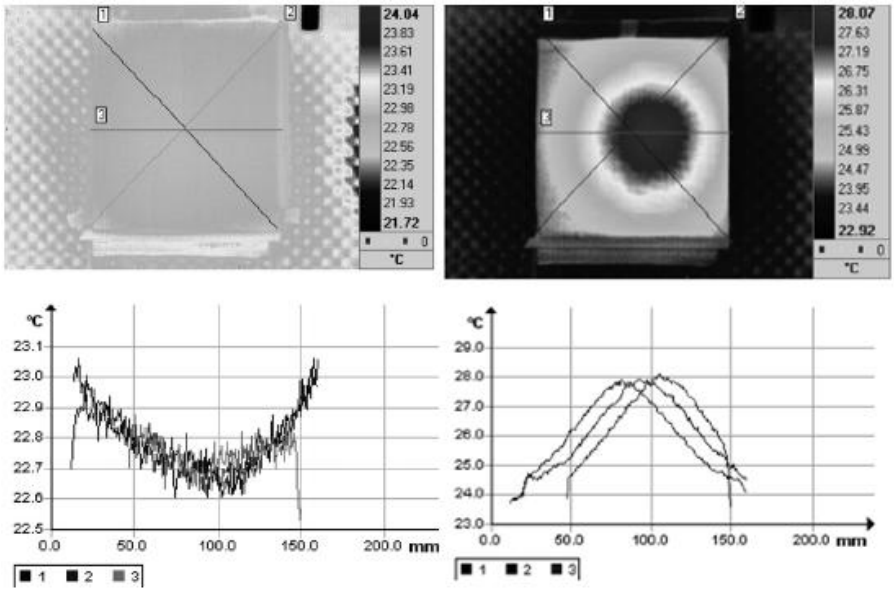
Şekil II.51 Polipirol kaplı nylon lifinin görünümü

Yüzey öz direnci ölçümleri (20 °C ve 65% izafi nemde) AATCC 76–1995 standartına göre ölçülmüştür. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçülürken ise yüzeye çarpan dalgaların ne kadarının yansıdığı ne kadarının absorbe edilip ne kadarının iletildiği ölçülerek buna göre kalkanlama değeri tesbit edilmiştir. 1-18 GHz arasında yapılan ölçümlerde iki anten arasına örneklerin yerleştirildiği tahribatsız ve temassız test metodu kullanılmış ve 8510 C vektor network analyzer (Agilent Technologies), 8517A s-parameter test seti (Agilent Technologies) ve 83651B frekans kaynağı (Agilent Technologies) kullanılmıştır. AQSA (0,027 mol/l) ile doplanmış numunelerde %89,9 kalkanlama etkinliği belirlenmiştir. Yüzey öz direnci azaldıkça kalkanlama etkinliğinin arttığı görülmüş buna karşın absorbsiyonun ise azaldığı sonucuna varılmıştır.(yansıma arttığı için).



Şekil II.52 Absorbsiyon ve yansıtmanın toplam kalkanlamadaki oranı ve aralarındaki ilişki(Toplam kalkanlama = Absorbsiyon + Yansıtma)

Absorbsiyon değerleri 30–35 W mikrodalga radyasyonunda % 49.5 olarak bulunmuştur. Bu değer pTSA ile doplanmış numunelerde daha düşük olarak ölçülmüştür. Mikro dalgaların absorbsiyonu sonucunda enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi ile ilgili sonuçlar ve yükselen sıcaklık değerleri aşağıda gösterilmiştir. Görüldüğü üzere sıcaklığın artması absorbsiyonun arttığını göstermektedir.



Şekil II.53 15-16 GHz frekans aralığındaki radyasyona maruz kalmış a) iletken olmayan b)iletken kumaşın değerleri

Maksimum toplam iletkenlik değerini 18,9 S/cm ile AQSA ile doplanmış numunelerde elde etmişlerdir. pTSA ile doplanmış olanlarda ise 15,3 S/m lik iletkenlik elde edilmiştir.

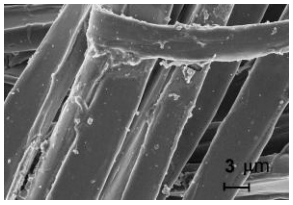
Tablo II.13 Kumaşların absorbsiyon, yansıma, iletkenlik ve sıcaklık artışı değerleri

	Saf kumaş	AQAS(0,027 mol/l)	pTSA (0,027 mol/l)
R (Ω/cm)		105	155
Ortalama absorbsiyon (%)8-9 GHz	0,28	43,24	47,76
Ortalama yansıtma (%)8-9 GHz	0,05	45,10	32,70
Ortalama iletkenlik σ (S/cm)8-9 GHz	-	15,88	12,68
Sıcaklık artışı (°C)8-9 GHz	İhmaledilebilir	2,75	3,54
Ortalama absorbsiyon (%)15-16 GHz	0,16	42,59	46,86
Ortalama yansıtma (%)15-16 GHz	0,17	47,37	36,40
Ortalama σ (S/cm) 15-16 GHz	-	17,10	14,76
Sıcaklık artışı (°C)15-16 GHz	İhmaledilebilir	3,85	5,27

II.8.6.Polipirol Kaplı Poliester Dokusuz Yüzeylerin Elektromanyetik Kalkanlama Etkinliği

J Avloni ve ark; polipirol kaplı poliester dokusuz yüzeyin 100-800 MHz arasındaki kalkanlama etkinlikleri incelenmiştir.[47] Ölçüm için ASTMD 4935 standartına göre çift- transversal elektromanyetik hücre TEM kullanılmıştır ve insersiyon(iletim) kayıpları 40 Ω/sq ve 3Ω/sq yüzey özdirençleri arasında

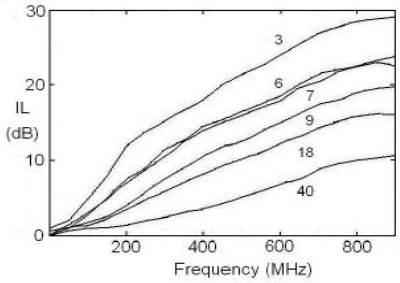
hesaplanmıştır. Kalkanlama etkinliği en yüksek değeri en düşük dirençte 37 dB olarak bulunmuştur. Kumaşın elektriksel özellikleri iyileştirilirken kumaş yüzeyinin koyu renkli ve muamele görmemiş kumaşa göre mukavemet, fleksibilite, gözeneklilik gibi özelliklerinin değiştiği bulunmuştur.



Şekil II.54 Polipirol kaplı poliester SEM görüntüsü

Yine J avloni ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada [48]; poliester dokusuz yüzey/polipirol kompozitinin 100-1000 MHz frekansları aralığında da kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Polipirol kumaşlara polimerize edilirken dopant olarak AQSA monomer dopant oranı (0,33:1) olacak şekilde ve katalizör demir (III)nitrat monomer oranı (2,3 mol/mol) olacak şekilde çözeltiyle muamele edilmiştir. In stu polimerizasyon sayesinde dokusuz yüzey üzerinde homojen, pürüzsüz 1 mikronun altında incelikte bir kaplama yapılmıştır.

Kompozitlerin yüzey öz dirençleri dört prop metodu ile ölçülüştür. Yüzey dirençleri 40 Ω/sq ve 3Ω/sq arasında hesaplanmış ve çift TEM hücresi ile yapılan ölçümler sonucu insersiyon(iletim) kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil II.55 Farklı yüzey dirençlerine sahip 6 numunenin(3,6,7,9,18,40 Ω/sq) TEM hücresinde ölçülen insersiyon(iletim) kayıpları değerleri

Kompozitlerin kalkanlama etkinliğinde etkin olan yansıma ve absorbsiyon kayıplarının hesaplanması, insersiyon(İletim kayıpları) ve bunlara göre toplam kalkanlamanın hesaplanması sonucunda(800MHz da) aşağıdaki tablodaki değerler elde edilmiştir.

Tablo II.14 Kompozitlerin Yansıma, Absorbsiyon Kayıpları, İnsersiyon ve Toplam Kalkanlama Değerleri

Yüzey özdirenci(Ω/sq)	SE(dB)	IL(T)(dB)	R(dB)	A (dB)	B(dB)
3	37,02	29	30,98	5,94	-7,92
6	31,78	22	25,75	4,36	-8,11
7	29,56	22	23,54	3,82	-5,36
9	27,72	19	21,70	3,42	-6,12
18	22,41	16,5	16,40	2,47	-2,37
40	16,80	10	10,81	1,71	-2,52

Kullanılan kumaş dokusuz yüzey olduğu için hesaplamalar sırasında deri kalınlığı olarak kumaşın inceliği esas alınmıştır. Çoklu yansıma kayıpları olan *B"* ise B=IL-R-A eşitliğinden bulunmuştur. Burada *B"* negatif değerlidir çünkü dokusuz yüzeyin kalkanlama mekanizması sadece basit planar yansıtma ve absorbsiyon kayıplarını içermektedir. Insersiyon(IL) kayıplarının kalkanlama etkisiyle karşılaştırılması sonucunda yansıma kayıplarının sadece uzak alan frekanslarını kapsadığını ve çoklu yansımayı önemsiz hale getirdiği sonucuna varılmıştır. Dokusuz yüzey polipirol kompozitlerinde absorbsiyonun 3Ω/sq için %20 ve 18Ω/sq için %15 olduğu hesaplanmıştır. Bu metalize kumaşlarda yalnızca %4tür.

II.9.ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ETKİNLİĞİ OLAN TEKSTİL YAPILARININ KULLANIM ALANLARI

Elektromanyetik kalkanlama iletişim ve teknoloji çağında yaşayan insanlar için artık hem daha ilgi çeken hem de daha ihtiyaç duyulan bir özellik olmuştur. Bu yüzden bu konuda yapılan bilimsel çalışmaların yanında, sektörel çalışmalarda arttıkça kullanım alanları genişlemiş ve pek çok yeni uygulamalar geliştirilmiştir.

Günümüzde elektromanyetik kalkanlama özelliği olan tekstil yapılarının kullanım alanlarını maddeler halinde sıralayacak olursak;

- Askeriyede; uçak ve tanklarda, patlayıcı maddelere karşı koruma kıyaferlerinde, mikrodalga absorbsiyonlarında,
- Radarlara karşı koruyucu yapılarda
- Duvar ve yer döşemelerinde kullanılacak tekstil yapılarında
- Ziraat ve evlerde kullanılacak solar ekranlarda
- Termal yalıtkan materyallerde
- Bilgisayar, oda ve analitik ensturmanların kalkanlanmasında

- 3C elektronikler, netbook, cep telefonlarında SAR'a karşı kalkanlamada, hibrid iletken polimer lif kompozitlerinde, kordles telefonlarda, mikrodalga koruganlarında
- IR ışınlarına ve mikro dalgalara karşı koruyucu kıyafetlerde; tulumlar, hamile elbiseleri, iş elbiseleri ve kasketlerde
- Hastane elbiseleri, kalp pili takılı hastaların kıyafetlerinde
- Halılarda, battaniyelerde, perde ve örtülerde, yataklarda ve yatak örtülerinde, günlük kıyafetlerde, iç çamaşırları, cibinlikler ve çocuk tekstil ürünlerinde; kullanımları kolay, yıkanabilir ve ütülenebilir olarak kullanılırlar.[33,35,38,49,50]



Şekil II.56 Kalkanlama materyali olarak tekstillerin günlük hayatta kullanımına örnekler.[51-55]

II.10. İLETKEN POLİMERLER

Polimerler uzun yıllar boyunca elektrik yalıtkanlığı iyi maddeler olarak bilinmişlerdir. Bu yüzden polimerlerin elektriksel iletkenlikleri üzerinde pek durulmamış ve çeşitli amaçlarla izolasyon maddeleri olarak kullanılmışlardır. Fakat metallerin elektriksel iletkenlik özelliklerinin polimerlerin esneklik hafiflik ve

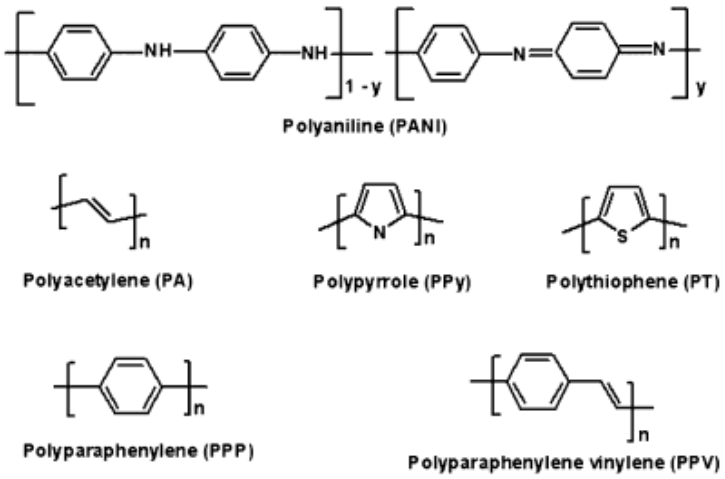
kimyasal açıdan inert olan özellikleriyle birleştirerek tek bir malzemede toplamak her zaman ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur. Bu konuda yapılan pek çok çalışmada metallerle polimerlerin birleştirilerek iletken yapılar oluşturulması yöntemi kullanılmışsa da polimerin kendisinin iletken hale getirilmesi sağlanamamıştır. Daha sonra yapılan çalışmalar sonucu bulunan ve oldukça zayıf iletkenliğe sahip oldukları bilinen çeşitli polimerlerdeki bu durum polimerin üç boyutlu ve gözenekli yapısı (polimer matriks) içerisinde zayıfça tutunmuş olan protonlarla (H) açıklanmıştır. Sonraki yıllarda, yükseltgenmiş halde iken (dopinglenmiş) yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olan yeni bir polimer türünün keşfedilmesi ile iletken polimerlere bir ilgi ve merak ortaya çıkmıştır.

İletken polimerler; metallerin elektriksel iletkenliğini, polimerlerin kimyasal ve mekanik özelliklerini taşıyan, sentetik metallerin yeni bir sınıfıdır. Kendi örgüsü içerisinde doğrudan elektronlar üzerinden ileri düzeyde elektriksel iletkenliği sağlayabilen polimerler iletken polimer olarak tanımlanmaktadır.

Bir polimerin doğrudan elektrik iletebileceği konusunda yapılan ilk araştırma poliasetilen üzerine yapılmıştır. Poliasetilen siyah toz halinde iletken olmayan bir polimerdir. H. Shirakawa, 1974 yılında Zigler-Natta katalizörü kullanarak yeterince iletken olmayan gümüş renginde poliasetilen filmler hazırlamıştır. 1977 yılında, H. Shirakawa, A.J. Hegeer ve A.G. Macdiarmid çalışmayı daha ilerleterek bu filmleri iyot, klor ve flor buharına tutarak yükseltgediğinde, iletkenliğin 10^9 kat arttığını ve 10^5 S/cm düzeyine çıktığını gözlemlemişlerdir. Bu değer bakır gibi iletken metallerin değeri olan 10^6 S/cm düzeyine yakındır. Shirakawa, Hegeer ve Macdiarmid bu buluşlarından dolayı 2000 yılı Kimya Nobel Ödülü'nü almışlardır. [56]

Sonraları poliasetilenle yapılan çalışmaların yerini doğrudan iletken olarak sentezlenebilecek malzemelere bırakmıştır. 1979'da polipirol, 1982'de politiyofen, 1985'de polianilinin iletkenliği araştırılmıştır.[57] Polipirol adı verilen polimerin elektrolitik yöntemle üretildiğinde kendiliğinden iletken hale geldiği saptanmış, daha sonra politiyofen denen polimer türevlerinden iletken polimerler üretilmiştir.[58]

Günümüzde polianilin, polipirol, politiyofen, poliasetilen gibi pek çok iletken polimer sentezlenebilmektedir. Ancak iletken polimerler içerisinde polipirol ve polianilin tekstilde kullanılırlar ve diğerlerine göre daha özel bir yerleri olduğu için organik metaller diye adlandırılırlar.



Şekil II.57 Yaygın kullanılan bazı iletken polimerlerin kimyasal yapıları

İletken polimerler keşiflerinin ardından düşük akımlar ve uzun ömürleri nedeniyle elektrod olarak kullanıldılar. Kalp pillerinde, yapay kaslarda kullanım imkanı buldular. Daha sonra iletken polimerlerin elektromanyetik kalkanlamada kullanılabileceği anlaşıldı. Radyo frekans ve kızıl ötesi radyasyonlarını emebilme yeteneklerinden dolayı radarlara karşı görünmez cihazların yapımında da kullanıldılar. Daha sonra polimerlerin uygulanan gerilime göre renk değiştirebildiği gözlemlenince renk değiştirebilen akıllı materyallerin yapımında da kullanılmaya başladılar.[58,59]

Tüm bunlara göre iletken polimerlerin çeşitli kullanım alanları şöyle sıralanabilir; enerji depolama, elektrokataliz, organik elektrokimya, biyoelektrokimya, fotoelektrokimya, yarı iletkenler, çeşitli sensorlar, çeşitli görüntü sistemleri, mikrodalga görüntüleme teknikleri, korozyon önlenmesi, antistatik kaplamalar, antistatik ambalaj ve paketleme malzemeleri yapılması, akıllı materyaller ve yapay kaslar oluşturulmasıdır.

Tekstilde kullanımları ise elektromanyetik dalgalara ve RF lere karşı kalkanlama özelliği olan tekstil yapılarının üretimi, elektrik alana bağlı olarak renk değiştiren bukalemun kumaş üretimi(Clemson, Furman, and Ga. Tech. Laboratories), antistatik tekstil yapılarının üretimi, akıllı kumaşların üretimi ve (ESD)statik dissarjdan koruyan tekstil yapılarının üretimidir.

Fakat iletken polimerlerin erimez ve çözülmez oluşları onların istenilen amaca yönelik kullanım yerlerinin kısıtlamaktadır. Bu yüzden yapılan çalışmaların bir kısmı onların bu özelliklerinin bertaraf edilebilmesi için geliştirilmeye çalışılan yeni yöntemleri de kapsar. PAni ve PPy'nin, konvansiyonel iletken olmayan polimerler

ile kompozitlerinin oluşturulması veya plastikler, cam, metal ve mikro- ve nanoporöz materyaller ile kaplanması ile mekanik özellikleri geliştirilebilir.

İletken polimerlerin yapısını ve iletkenlik mekanizmalarını incelemeden önce elektriksel iletkenliği incelenmelidir.

II.10.1.Elektriksel İletkenlik

İletkenlik ohm kanunu ile tanımlanır:

$$V = R_e I \qquad \text{(II.82)}$$

I=Dirençten geçen akımdır birimi Amper

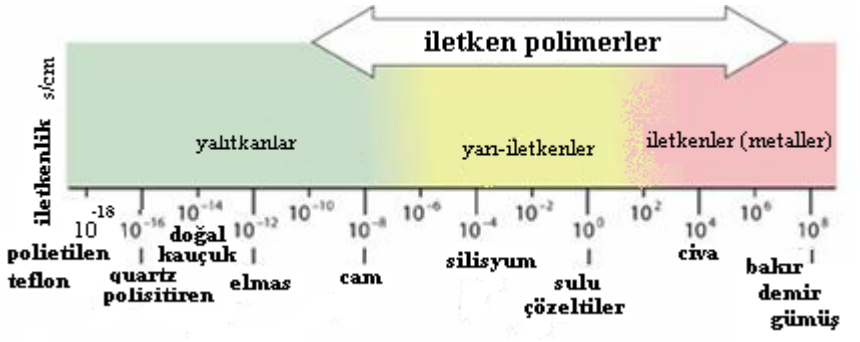
V=Direncin uçları arasındaki potansiyeldir birimi Volt

Re = Ohm (Ω) biriminde iletkenin "direnci" dir.

R direncini bulmak için direncin uçları arasına bilinen bir voltaj uygulanır geçen akım ölçülür. Direncin tersine (Re^{-1}) *iletkenlik* denir. Ohm kanunu deneye dayalı bir kanundur ve tersinmez termodinamikle ilişkilidir. Potansiyel gradyanının bir sonucu olarak I akımı harcanan enerjiye belirler (RI^2, Joule s^{-1}). Bütün maddeler Ohm kanununa itaat etmez. Gaz boşalması, vakum tüpler, yarıiletkenler ve bir boyutlu iletkenler (lineer polien zinciri gibi) genellikle Ohm kanunundan saparlar. Ohmik maddede direnç numunenin l uzunluğu ile doğru orantılı ve numunenin kesit alanı s ile ters orantılıdır:

$$Re = \chi(l/s) \qquad \text{(II.83)}$$

Burada χ, Ω cm (SI biriminde Ω m) biriminde özdirençtir. Özdirencin tersine ,$\sigma = \chi^{-1}$ öziletkenlik denir. Öz İletkenlik için Siemens tanımı kullanılır ve ($S = \Omega^{-1}$) dir. Öziletkenliğin birimi ise S cm^{-1} dir. [56,60] Yani; $\sigma = l/(R_e\, s)$ dır.



Şekil II.58 Teflondan (yalıtkan) bakıra (iletken), diğer maddelerinkiyle polimer iletkenliğinin kıyaslanması.[60]

Öz iletkenlik(yani bir maddenin iletkenliği) yük taşıyıcıların yoğunluk miktarına (n) ve onların madde içinde ne kadar hızlı hareket edebildiğine (u hareketlilik) bağlıdır. Bu bağlılık aşağıdaki gibi formülleştirilir. [61]

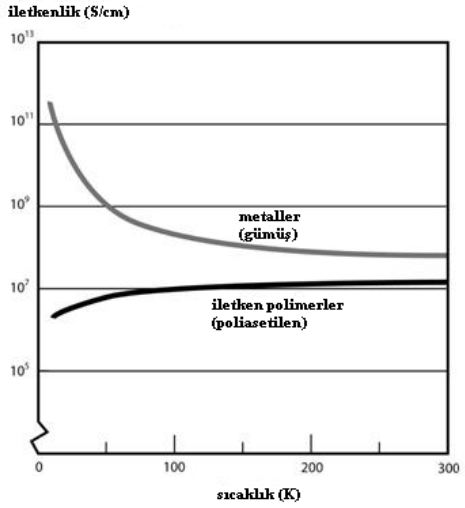
$$\sigma = e.n.u \qquad \text{(II.84)}$$

e=taşıyıcı yük miktarı $1{,}6x10^{-9}$

n=yük taşıyıcı yoğunluğu

u=taşıyıcının hareketliliği m^2/Vs

Yarıiletkenlerde ve elektrolit çözeltilerde, pozitif yük taşıyıcıların (holler veya katyonlar) iletkenliğe etkisi yukarıdaki denkleme fazladan bir terim olarak ilave edilmelidir. Öziletkenlik sıcaklığa bağlıdır. Öziletkenlik, yarıiletken ve yalıtkanlarda yani polimerlerde genellikle sıcaklığın düşmesiyle azalırken, metalik maddelerde ise (bunların bazıları belli bir Tc kritik sıcaklığının aşağısında süper iletken olurlar) sıcaklığın azalmasıyla artar. [60]



Şekil II.59 Sıcaklık değişimine bağlı olarak iletken polimerlerin ve metallerin iletkenliklerinin değişimi. [56]

İletkenlik özelliği elektronların serbestçe hareket etme özelliğidir. Atomik bağ sistemine sahip olan katılarda elektronlar belirli enerji düzeylerinde hareket ederler. Her enerji düzeyinin kendisine özgü elektron alabilme yeteneği bellidir. Bu seviyeler dolu ya da boş olabilir. Elektronların ise bir enerji düzeyinde bulunabilmeleri için belli bir enerjiye sahip olmaları gerekir. Seviyelerin tam boş veya tam dolu olmaları durumunda elektrik iletilmez. İşte metallerde bu enerji düzeyleri tam boş veya tam dolu olmadığı için iletkenlik gözlenir. Yalıtkanlarda ise bu düzeyler tam dolu veya tam boş olduğundan iletkenlik söz konusu değildir.

II.10.1.1.Polimerlerde Elektriksel İletkenlik

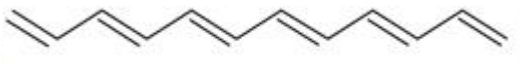
Polimerlerde elektriksel iletkenlik incelenirken farklı iletkenlik derecelerine ve karakterlerine sahip dört tip sistem söz konusudur.[61] İlk ikisi yalıtkan polimerlere iletkenlik kazandırılması diğeri redoks merkezleriyle iletkenliği sağlayan polimerler sonuncusu ise kendi örgüsü içinde elektronik düzeyde elektriği ileten polimerler (iletken polimerler)dir.

Polistiren, polietilen, polpropilen, poli(vinil klorür), polikarbonatlar gibi yalıtkan polimerlere iki yöntemle iletkenlik kazandırılmaktadır.

- İlk yöntem; yalıtkan polimere iletken sağlayıcı grafit, metal tozları gibi parçacıkların katılmasıdır.
- Diğer yöntem ise; polimer içerisinde bir tuz çözüp iyonik iletkenlik sağlanılmasıdır. İyonik iletkenlik için polimer- iyon sistemlerinin hazırlanmasında kullanılacak polimerin yeterince esnek olması ve iyon hareketine izin verebilecek kadar serbest hacim sağlayabilmesi gerekir. Bu koşulları camsı geçiş sıcaklığı ve kristalinitesi düşük polimerler karşılar.[62]
- Redoks polimerleri tespit edilmiş redoks merkezleri ile tanımlanır. Bu merkezler elektrik iletirken birbirleriyle kontak kurmazlar aksine merkezler arası hopping mekanizmasıyla iletimi sağlarlar.[63]
- Konjuge çift bağlar sayesinde elektriği ileten son sistem ise iletken polimerlerdir.

II.10.2.İletken Polimerlerin Yapısı

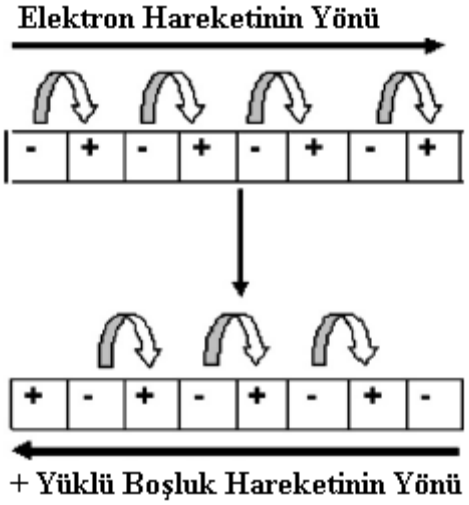
Bir polimerin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için polimer zinciri boyunca elektronların taşınabileceği uygun yerlerin bulunması gerekir. Bu koşulu sağlayan iletken bir polimerin temel özelliği polimerin omurgası (ana zincir) boyunca konjuge (ardışık sıralanmış) çift bağların olmasıdır. Konjugasyonda, karbon atomları arasındaki bağlar birbiri ardı sıra değişen tek ve çift bağlar şeklinde dizilmişlerdir.



Şekil II.60 Konjüge çift bağ

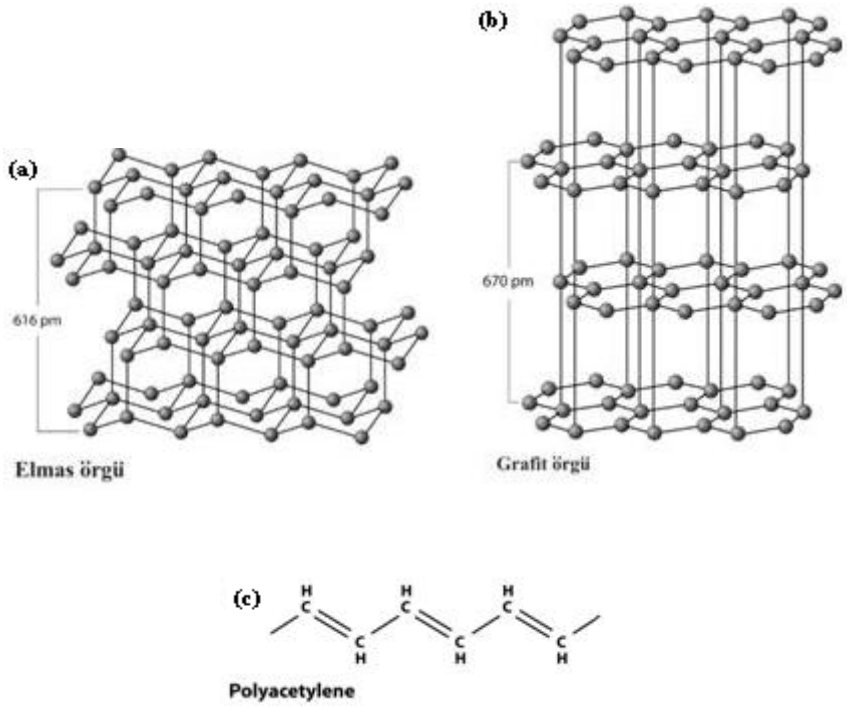
Her bir bağ kuvvetli bir kimyasal bağ olan "sigma" (σ) bağı içerir. İlaveten, her çift bağda daha zayıf (% 30) ve daha az lokalize olmuş bir "pi" π bağı vardır. Bunlara rağmen, konjugasyon, polimer maddeyi iletken yapmak için yeterli değildir.

Özellikle yüksek iletkenlik istenen durumlarda polimerin iletkenliğinin arttırılması için dopant maddeleri ile doplama yapılır. Dopantların yaptığı şey malzeme içersinde elektron ve boşlukların sayısını arttırmaktır. Elektron alınarak veya verilerek artı yüklü boşluklar oluşturulur. İletken polimerlerde elektriksel iletkenlik bu boşluklarla sağlanmaktadır. Bir elektron eksikliğinin olduğu konumda oluşan artı yüklü boşluğu komşu bir konumdan atlayan bir elektronla doldurulduğunda geldiği yerde yeni bir boşluk oluşturur ve bunun böyle devam etmesiyle yükün uzun bir mesafeye göç etmesi sağlanarak bütün bir zincir boyunca veya zincirler arası elektrik iletilmiş olur.[56,57,60,62]



Şekil II.61 Elektron iletiminin şematik gösterimi [61]

Tüm bunlara göre bir maddenin iletken olabilmesi neye bağlıdır sorusu cevaplanacak olursa; kristaller, esnek polimerler veya sıvı kristaller gibi birçok maddede, elektrik, optik ve gerilme gibi makroskobik özellikler genellikle yöne bağlıdır. Böyle maddelere anizotropik denir. Anizotropi maddelerin elektriksel iletkenliği içinde geçerlidir. Elektriksel özelliğin yöne bağlığını incelerken saf karbon atomlarından oluşan elmas grafit ve sentezlenen ilk iletken polimer olan poliasetilenin yapıları incelenecek olursa; sadece σ bağları içeren elmas, homojen ve ağ örgülü yapıdadır bu yüzdende bir yalıtkandır ve yüksek simetriktir. Yüksek simetri elmasın özelliklerinin izotropik olmasını sağlar.



Şekil II.62 Elmas(a) ve Grafit(b) kristal örgüleri ve poliasetilen zinciri (c).[56]

Grafitte de yalnız karbon atomları bulunmasına rağmen yapısında elektronların hareket etmesine uygun π bağı olduğu için tabakalar boyu konjugasyondan dolayı elektriksel iletkenlik paralel yönde sağlanır. Oysa dik doğrultuda iletim zordur. Yani, σ (paralel)/ σ (dik) = 10^6 dır. Bu yüzden anizotropik davranış gösterir. [60]

Poliasetilen π elektronlarına sahiptir hem de, katkılama yapıldığı zaman, yüksek derecede anizotropik metalik iletken olur. Poliasetilenin iletkenliği de gerilme yönünde, buna dik yöndekinden yaklaşık 100 kez daha yüksektir. Grafitle kıyaslandığında, bu daha küçük anizotropi, zincirler arasında "kısa devre" den kaynaklanabilir. Poliasetilen zincirleri sonsuz olmadığından, eğer malzeme makroskobik olarak iletken olacaksa, onlar arasındaki temaslar önemlidir. Grafitle kıyaslandığında poliasetilendeki düşük iletkenlik anizotropisi bu şekilde açıklanabilir. [56]

II.10.3.İletkenlik Mekanizması

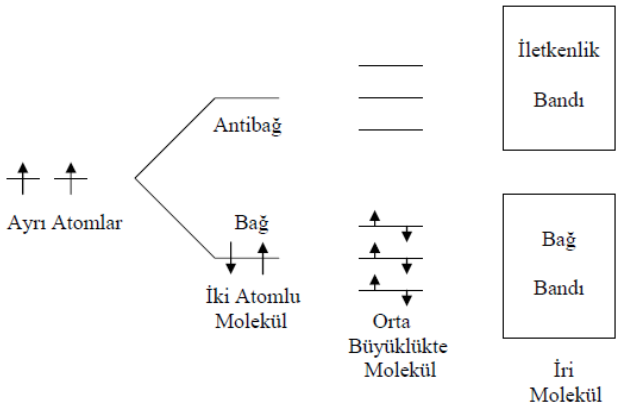
Daha öncede bahsettiğimiz gibi iletken polimer kavramı; kendi örgüsü içindeki elektronlarla yeterli düzeyde elektrik iletkenliği sağlayan polimerler için kullanılır ve bu bir elektronik iletkenliktir. Elektriği bu şekilde ileten polianilin, polipirol ve poliasetilen gibi polimerlerin elektronik iletkenlik mekanizması kesin

aydınlatılamamış olmakla birlikte, açıklamaya yönelik kabul edilen yaklaşımların önde geleni band kuramıdır.[56]

II.10.3.1.Band kuramı

Birer elektronu bulunan benzer iki atomun bir araya gelerek oluşturduğu iki atomlu bir bileşiğin bağ yapmadan önceki ve bağ yaptıktan sonraki enerji düzeyleri farklıdır. Bunlar, iki elektronun bulunduğu bağ enerji düzeyi (bağ orbitali) ve boş olan antibağ enerji düzeyidir (antibağ orbitali). Ortaya çıkan enerji düzeyleriyle elektronların enerjisine göre hareket etmeleri sağlandığı kabul edilmektedir. Bağ enerji düzeyindeki elektronlar, ısı veya ışık etkisiyle yeterli enerji alarak daha yüksek enerjili antibağ enerji düzeyine çıkabilirler.[56,57]

Karmaşık moleküller arasındaki bağ oluşumu aynı şekilde açıklanabilir. Moleküle her yeni atom katılmasında, molekülün elektronik yapısına yeni bir bağ ve antibağ enerji düzeyi eklenir. (Bkz şekil II.63)

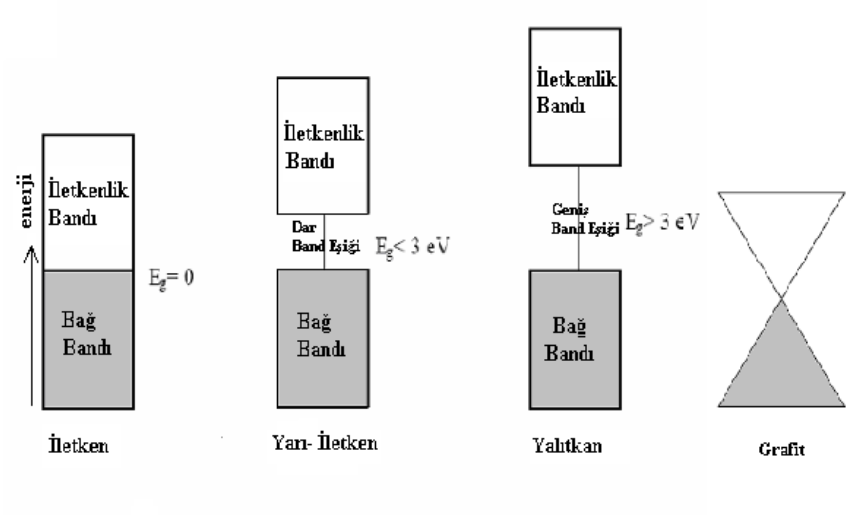


Şekil II.63 Molekül boyutuna göre enerji seviyeleri

Ancak molekül büyüklüğü arttıkça bağ orbitallerinin de sayısı artarak aralarındaki enerji farkı azaldığından enerji düzeyleri yerine bir enerji bandı oluşur ki buna bağ bandı (Valens bandı) denilir. Buna benzer şekilde sayıları sonsuza yaklaşan anti bağ orbitalleri de bir karşı enerji bandı oluşturur ki buna da iletkenlik bandı denir.[57]

Bağ bandı ve iletkenlik bandı arasındaki aralığa band eşiği(band aralığı), bu aralığın geçilmesi için gerekli enerjiye ise band eşik enerjisi adı verilir.[56] İletkenlik; bağ bandında veya eşikte yeni bir enerji düzeyinde bulunan çiftleşmemiş elektronların ortama göre hareketine bağlıdır. Yeterli enerji verilerek belli bir yöne akması sağlanırsa en üst düzeydeki elektronların bağ eşiğini geçerek iletkenlik

bandının en alt düzeyine yerleşmesi şeklindeki hareket iletkenliği oluşturacaktır. Bu açıklama doğrultusunda düşünüldüğünde iki band arasındaki aralığın (veya eşiğin) ve geçilmesi için gereken enerjinin büyüklüğüne göre maddeler yalıtkan, yarı-iletken ve iletken olarak sınıflandırılabilmektedir (Grafit hariç).[57]



Şekil II.64 iletkenler, yarı iletkenler ve yalıtkanlar maddeler arası farkı gösteren bant aralığı

Basit bir serbest-elektron moleküler orbital modeli ile iletken, yarıiletken ya da yalıtkan bir malzemeyi sayısal olarak tanımlayacak olursak; bunun için d mesafesiyle birbirinden ayrılan N atomlu L uzunluğunda bir zincir için; N tane p-orbitalindeki elektronların, moleküler orbital başına iki elektron olmak üzere, moleküler orbitallere yerleştirildiği farz edilirse, en yüksek dolu orbital (HOMO)(bağ bandı) aşağıda verilen enerjiye sahip olur.

$$E(HOMO) = (N/2)^2 h^2/8m(Nd)^2 \quad \text{(II.85)}$$

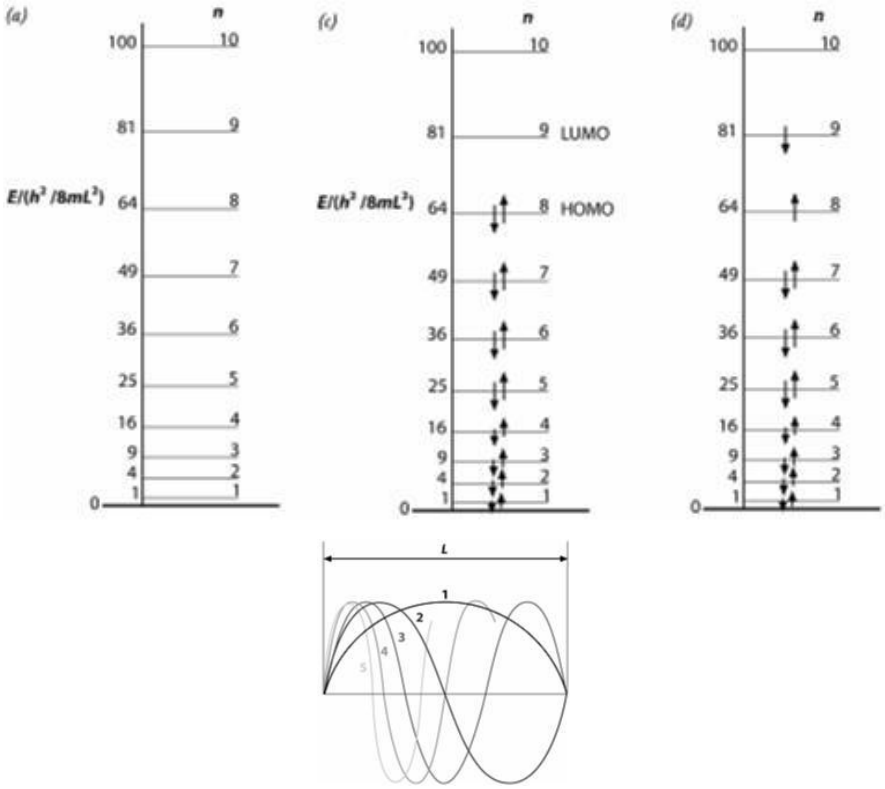
En düşük boş moleküler orbitalin enerjisi(LUMO)(iletkenlik bandı) de aşağıdaki gibi olur.

$$E(LUMO) = (N/2+1)^2 h^2/8m(Nd)^2 \quad \text{(II.86)}$$

Bir elektronu HOMO dan LUMO ya uyarmak için gerekli enerji ise

$$\Delta E = E(LUMO) - E(HOMO) \quad \text{(II.87)}$$

Burada h Planck sabitidir. m elektronun kütlesi ve (Nd=L) zincir toplam uzunluğudur. Bu bağıntıdan, polimer uzunluğunun artması ile band genişliğinin (1/N ile) azaldığı açıkça görülür.



Şekil II.65 Serbest elektron modeli (L uzunluğunda bir boyutlu kutu): (a)Enerji seviyeleri ve (b) dalga fonksiyonları. Belli bir konumda dalga fonksiyonunun karesi, parçacığın bu konumda bulunma olasılığıdır. Model çok elektronlu moleküler orbital tanımına uygulanmıştır: (c) de 16 elektron ilk sekiz moleküler orbitali doldurmuştur. En yüksek dolu moleküler orbital HOMO ile belirtilmiştir, sonraki boş olan da LUMO ile gösterilmiştir.(d) de bir elektron HOMO dan LUMO ya yükseltilmiştir(zıt spinli olacak şekilde, Sp= 0).

Bu modelle band eşiği miktarı ve geçmek için gerekli enerji miktarlarına göre maddelerin sınıflanmasını ; π elektronlu sistemler için açıklayacak sistem Hückel modelidir. Bu modelde; çok elektronlu sistemler için toplam dalga fonksiyonu bir durumu oluşturur (en basit modelde bir elektronlu dalga fonksiyonlarının hepsinin çarpımıdır, örneğin dolu orbitaller) ve onun enerjisi tüm sistemin enerjisidir. Çift sayıda elektronlar durumunda, her iki elektron en düşük enerjili orbitalden başlayarak her bir orbitale yerleştirilir ve böylece taban durumuna karşılık gelen

(Şek. II.65c) deki gibi bir yapı ortaya çıkar. Bütün elektronlar çiftlendiğinden toplam spin açısal momentumu Sp sıfırdır, dolayısıyla madde manyetik değildir.

Eğer dolu moleküler orbitallerin birinden bir elektron, üstte boş moleküler orbitallerden birine taşınırsa (Şek.II.65d), uyarılmış bir elektron konfigürasyonu oluşur ve buna karşılık gelen uyarılmış durum taban durumundakinden daha yüksek bir enerjiye sahip olur. Taban durumu ve uyarılmış durum arasındaki minimum enerji farkı (band boşluğu), düşük düzeyde bir pozitif yük ya da "boşluğa" ve üst orbitallerde (boş orbitallerde) de bir elektronlu yük çifti oluşturmak için gerekli enerjiye karşılık gelir. Eğer düşük orbitalde tek kalan elektronun spini ile uyarılmış elektronunki birbirine zıt ise, Sp yine sıfırdır (manyetik değildir). Hâlbuki iki spin paralel olursa, bu duruma da madde paramanyetiktir (yani molekül elektron spininden dolayı sürekli bir manyetik dipol momente sahiptir). [57,60]

Burada incelenen basit serbest-elektron modelinde band aralığı yeterince uzun zincir için sıfır olacaktır ve bu nedenle de yarı iletken olan iletken polimerlerde bir iletken gibi davranabilecektir. Deneysel olarak, band aralığı maddenin elektronik spektrumundaki birinci absorbsiyon bandının dalga boyu ile orantılıdır. Böylece, enerji şartı yerine getirilirse, λ dalga boyuna sahip bir foton, bir elektronu HOMO düzeyinden LUMO ya uyarabilir. Bu şart

$$\Delta E = E(LUMO) - (HOMO) = h\nu = hc/\lambda \qquad \text{(II.88)}$$

dir.

Burada ν ışığın frekansı (ν=c/λ) ve c de ışığın hızıdır. Bu yüzden, polimerlerin uzunluğu artıkça absorbsiyonun dalga boyu da uzar. Ethenden, butadiene ve hexatriene doğru çift bağlar ekleyerek daha uzun konjüge moleküller yapıldığında, band aralığı ΔE de azalır. Fakat bir süre sonra bir üst limitin varlığı ortaya çıkar ve bu üst limitin dışında yapılacak daha fazla konjügasyondan sonra sonsuz lineer poliene değişim oluşmaz. [60]

Bu bilgiler ışığında iletken yarı iletken ve yalıtkan için genel tanımlamaları yapılacak olursa;

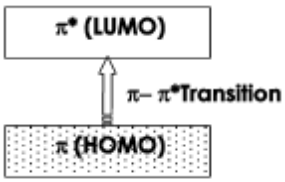
İletkenler; çoğu metal atomu tek elektrona sahiptir, bir başka komşu metal atomuyla da kovalent bağ yapmaz. Bu nedenle metallerin bağ bandı kısmen dolu, iletkenlik bandı ise boştur. Ayrıca elektron hareketi için engel oluşturan bir band eşiğide söz konusu değildir. Metal elektronları, valens bandın düşük enerjili

orbitallerinde yüksek olasılıkla bulunurlar ve aynı band içerisinde veya aynı band ile örtüşmüş iletkenlik bandında geçebilecekleri daha üst enerji düzeyli boş yerler her zaman vardır. Elektron iletimi kısmen dolu valens ya da iletkenlik bandı üzerinde veya band eşiği geçişiyle kolayca sağlanır[56]

Yalıtkanlar; bir yapıda bağ bandı enerji düzeyleri tamamen elektronlarca dolu olduğunda elektronların bir yöne akımını sağlamak için ısı ve ışık yardımıyla serbest elektronlar oluşturulabilir. Bu şekilde yeterli enerjiye ulaşan bağ bandının en üst düzeyindeki elektronlar, band eşiğini geçerek iletkenlik bandının en alt düzeyindeki enerji seviyesine yerleşirler. Yalıtkanlarda ise band eşiği bu geçişe izin vermeyecek kadar geniştir. Geleneksel polimerlerin çoğu benzer davranışlar gösterdikleri için yalıtkandırlar.

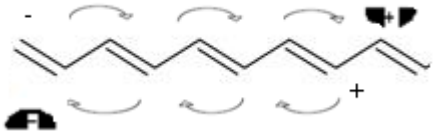
Yarı iletkenler; yalıtkanlardan daha düşük olan band eşik enerjisinden dolayı iletkenlikleri yeterli akımı sağlayacak büyüklüktedir. Ayrıca ısı ve ışık etkisiyle serbest elektronlar iletkenlik bandının en düşük enerji düzeyine geçebilirler.

Polimerlerin binlerce atom bulunan yapısında fazla orbital sayısı olmasına rağmen çoğunun yalıtkanlara benzer davranış gösterdikleri bilinir. Böylece, önemli bir band aralığı ve dolu valans orbitallerine sahip iletken polimerlerin bir iletken olması beklenmez. Çünkü π ve π^* orbitalleri arasındaki HOMO–LUMO gapı 3 eV den düşük ortalama 1.5eV civarındadır. Bu değer, yaygın inorganik yarıiletkenler için gözlenilen gap değerine benzerdir. [57]



Şekil II.66 Konjuge iletken polimer sistemlerinde π ve π^* orbitalleri arasındaki aralık

Ayrıca ana zincirinde konjuge çift bağlar bulunan iletken polimerler örgüsünde elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun yerlerin bulunması sebebiylede 10^{-6} – 10^{2} civarında iletken polimerler intrinstik bir yarıiletkendir. Burada ısı ve ışık etkisiyle serbest elektronlar iletkenlik bandına geçtikten sonra hareket ederek yük taşıyıcı işlevi yaparken bağ bandında kalan artı yük boşluğu da elektrona ters yönde polimer zinciri üzerinde kayar.[56,57]



Şekil II.67 İnstrik maddelerde elektron iletimi

Elektriği bu yolla ileten maddelere yukarıda da bahsettiğimiz gibi intrinsik yarı iletkenler denir. Böylece oluşan iletkenliğin şiddeti ısı ve ışığın miktarıyla doğru orantılıdır. Yarıiletkenlerden beklendiği gibi, elektronların termal uyarılmalarının gerekli bir sonucu olarak, sıcaklık azaldıkça iletkenlik de azalır. (T = 0 da sıfırdır). Aksine, metallerin iletkenliği sıcaklık azaldıkça artar.

Serbest elektron oluşturma yollarından ikincisi ise; dıştan yapılan bir etkiyle polimerden elektron almak veya polimere elektron vermektir. İndirgen yada yükseltgen kimyasallar veya elektrokimyasal yöntem bu amaçla kullanılabilir.

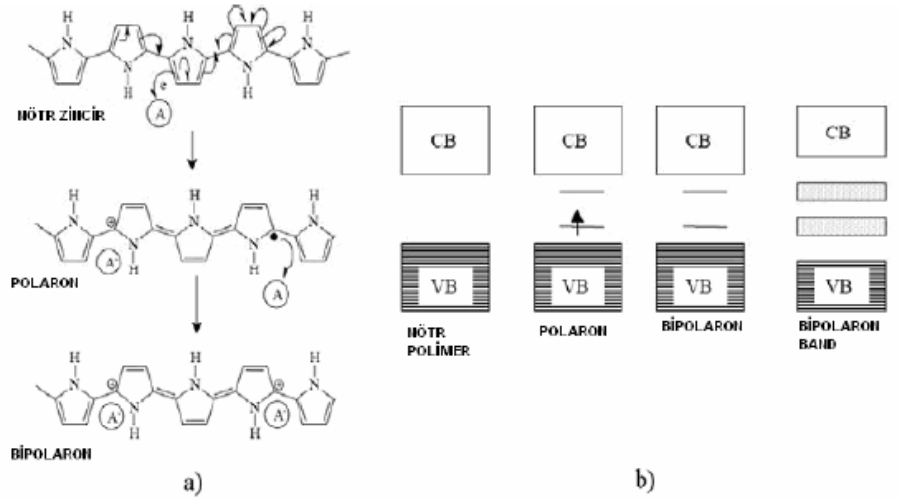
II.10.4.Doplama İşlemi

Uygun yöntemlerle (ya indirgen veya yükseltgen kimyasal maddeler ya da elektrokimyasal yöntem) bir polimere elektron verilmesine veya polimerden elektron uzaklaştırılmasına doplama veya dop etme denir. Doplama amacıyla kullanılan kimyasal maddelere de dopant denir.

Bir polimerin iletkenliğinin büyüklüğü, elektriksel iletkenlik bölümünde de bahsettiğimiz gibi örgüsündeki yük taşıyıcıların sayısına bağlıdır. Konjuge çift bağlı polimerler doplanınca örgüsündeki yük taşıyıcıların sayısı arttırılmış olur. Nitekim doplanmış konjuge çift bağlı polimerlerin elektron alan ve elektron veren gruplarla yükseltgeme ve indirgeme işlemleri gerçekleştiğinde 100 -1000 S/cm seviyesinde bile iletkenlik gösterdikleri Inzelt.; Vorontyntsev ve Heince, tarafından rapor edilmektedir. Shirakawa ve arkadaşları dop edilmemiş yarı iletken olan poliasetileni dop ederek iletkenliğini 10^7 ve 10^8 kat arttırarak metalik iletkenlerin düzeyine çıkarmışlardır.[62]

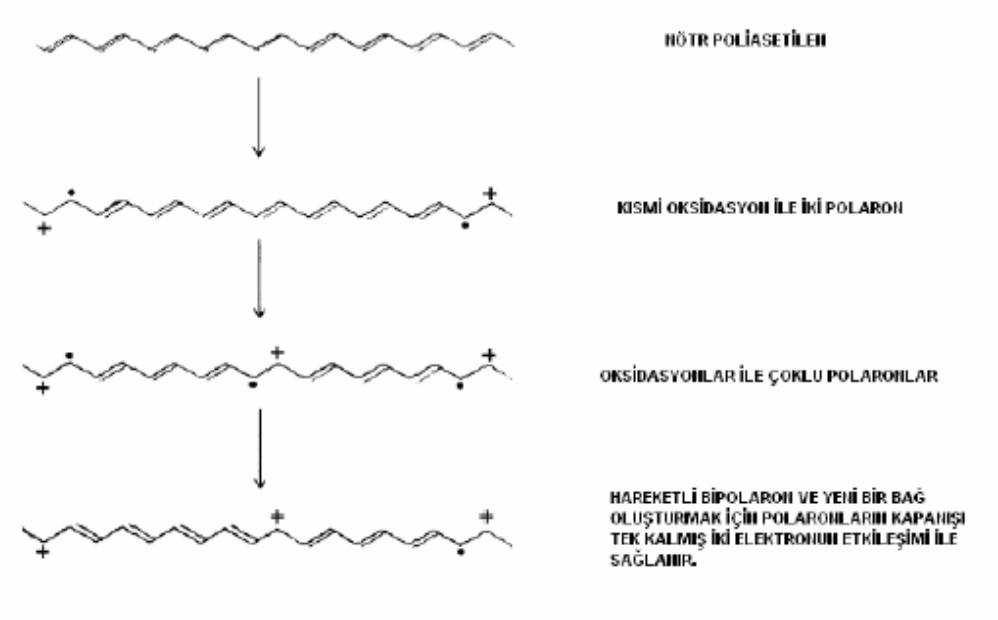
Polimerlerin doplanması sırasında elektron çekici bir grubun polimerlerden bir elektron uzaklaştırması ile polimer yükseltgenir ve zincir üzerinde bir radikal katyon (artı polaron da denir), ikinci elektronun koparılmasıyla bir dikatyon (artı bipolaron) oluşur. Bunlar dop seviyesine bağlı olarak polimer zinciri boyunca hareket edebilirler. Eğer radikal katyon yüksek dopant derişimlerinde, anyonların yük perdelemesiyle veya ısı enerjisi yardımıyla, anyon ile bağlanma enerjisini yenebilirse

polimer zincirinde hareket ederek iletkenliğe katkıda bulunur. Polimere bir elektron verilerek doplanırsa; bir radikal-anyon, iki elektron verilmesiyle bir dianyon oluşur.[56,57]



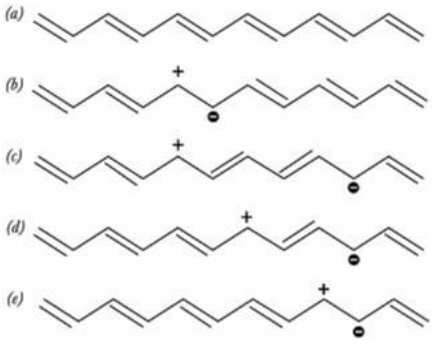
Şekil II.68 a)Polypiroldeki Yük Dagılımı b) Enerji Bandlarının Görünümü

Bipolaronlar iki radikalin birleşerek yeni bir π bağı oluşturması ile meydana gelirler. Bipolaronlar daha kararlı bağlar oluştururlar. Bipolaronun iki pozitif yükü birbirinden bağımsız değildir, fakat süper iletkenlik teorisindeki Cooper çifti gibi, bir çift olarak hareket ederler. Bir radikal katyonu olan bir polaron 1/2 spinine sahipken bipolaronların toplam spini Sp = 0 dır. [60] Polaron sayısı doping işlemi esnasında dopant miktarının arttırılmasıyla artacaktır. Bu elektronlar polimerin band eşiğinde yeni bir enerji düzeyi oluşturarak eşik enerjisinin düşmesini ve iletkenlik bandına daha kolay geçişi sağlarlar.



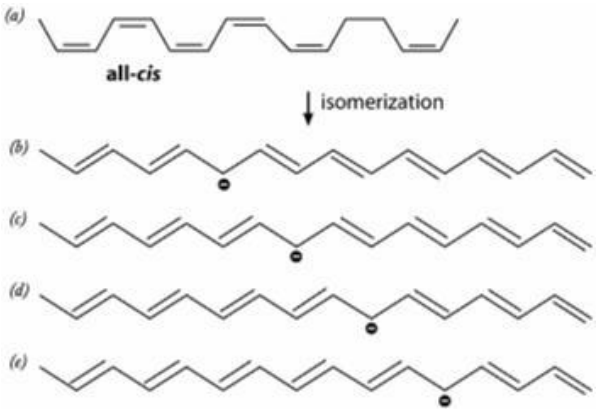
Şekil II.69 Poliasetilen için Polaron ve Bipolaron Yapıları

Polaronların radikal kısımları π bağları oluşturur ve kalan katyonlar zincir boyunca oldukça fazla hareketliliğe sahiptir. Zincir boyunca bu hareketlilik ne kadar fazla olursa iletkenlik o kadar artmaktadır. Bu yüzden yükseltgenme seviyesi arttıkça iletkenlik de o kadar artmaktadır.



Şekil II.70 Poliasetilen için zincirinin (a → b) 5.karbon atomu üstünden bir elektronun alınmasıyla oluşturulan Radikal katyonu ("Polaron"). c → e sıralamasında polaronun zincir boyunca hareketi gösterilmiştir.

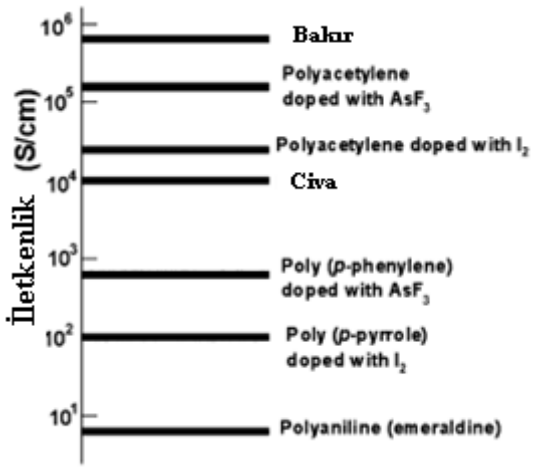
Doplama işlemi sırasında; polimer zincirinde farklı spin yük konfigürasyonuna sahip soliton denilen kararlı serbest radikallerden hata merkezleri meydana gelmektedir.[56] Bunlar tek başına yük taşıyamazlarsada bir bipolaron tarafından iki ayrı eksi solitona ayrılarak enerji düzeyini düşürür ve ara enerji düzeyinde akım taşıyabilirler. Ayrıca farklı zincirlerin solitonları arasında elektron aktarımı olmasından dolayıda iletkenliğin oluşmasını etkiledikleri ifade edilmektedir.



Şekil II.71 Soliton, cis poliasetilenin (a → b) izomerleşmesiyle oluşur ve bitişik elektronla çiftleşerek hareket eder (b → e).

Bununla birlikte, genellikle dopingle üretilen solitonlar şekilde gösterilen gibi "ardışık değişen bağ kusurları"ndan daha önemlidir. [60]

Aşağıdaki şekillerden birincisinde iletken polimerlerin doplanmış haldeki iletkenlik düzeyleri karşılaştırılmalı olarak verilmekte ikincisinde ise özellikleri gösterilmektedir.



Şekil II.72 Doplanmış iletken polimerlerin iletkenliklerinin bakır ve civayla ilişkili olarak gösterimi[61]

Polimer	İletkenlik (S/cm)	Stabilite	İşlenebilirlik
Polyacetylene	10^3–10^5	Zayıf	Sınırlı
Polyphenylene	1000	Zayıf	Sınırlı
Poly(phenylene vinylene)	1000	Zayıf	Sınırlı
Poly(phenylene sulphide)	100	Zayıf	Mükemmel
Polypyrroles	100	İyi	İyi
Polythiophenes	100	İyi	Mükemmel
Polyaniline	10	İyi	İyi

Şekil II.73 Doplanmış iletken polimerlerin özellikleri

II.10.5.Atlama (Hopping) Olayı

Zincirler arası yük transferi ve yük taşıyıcılarının bir molekülden diğerine hareketine atlama olayı denilmektedir. Polimer zinciri üzerinde indirgenme ve yükseltgenme ile iyonik halde yüklerin bir molekülden diğerine geçişi atlama olayı ile açıklanmaktadır. Polimer malzemede bulk (hacimsel) iletkenlik bir zincirden diğerine atlayacak elektron ihtiyacı ile sınırlandırılmıştır, Bundan başka atlama, malzemedeki farklı kristalimsi domainler arasında oluşan kötü kontaklar gibi makroskobik faktörlerle de sınırlanır.

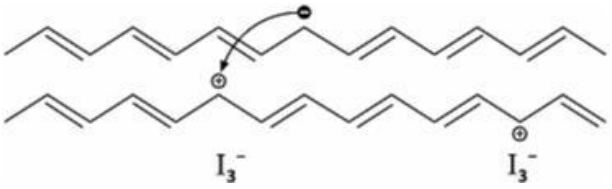
Polimer zincirinde elektronik yükün hareketi üç şekilde olmaktadır.

a) Zincir boyunca yük transferi

b) Zincirler arası yük transferi

c) Bloklar arası yük transferi.

Bu hareketlere bağlı olarak iletkenlik zincir içi ya da zincirler arası etkileşim durumuna göre tespit edilir. Farklı polimer zincirleri arasında yük sıçramasıyla oluşan iletkenliği hesaplamayı amaçlayan mekanizmanın biri "solitonlar arası sıçrama: intersoliton hopping" dır (Şek.II.74).



Şekil II.74 Intersoliton zıplama

Nötr solitonlar (üstteki) serbestçe hareket ederken, yüklü solitonlar (alttaki) dopantlar tarafından tuzaklanmaktadır. Yüklü bir soliton ile yakın bir zincir üstündeki nötr soliton etkileşebilir. Elektron bir bozukluktan diğerine atlayabilir.

Burada elektron yan yana polimer zincirleri üstündeki lokalize durumlar arasında zıplamaktadır. Dolayısıyla solitonun rolü, yakın olarak yerleşmiş lokalize soliton ile elektronu değiş tokuş ettirmek veya onun etrafına hareket etmektir. Intersoliton zıplamanın (hopping) çalışma mekanizması yüksek doplamada metalik durumla, çok düşük doplamada ise yarıiletken durum arasında bir yerde olan çoğu iletken polimerlerin işleyişine çok benzerdir.[60] Zincirler arası geçişin etkin taşıyıcı transferi ile daha kolay olduğu düşünülmektedir. Ancak polimerde sonlu bir zincir göz önüne alınırsa yüklü bir soliton diğer zincire atlayamaz. Bu atlama sonucunda bağ uzunluğunun tekrar düzenlenmesi için gerekli olan enerji oldukça fazladır ve soliton teorisi sonlu zincirler için uygun değildir. Zaten tüm konjuge polimerler

soliton taşımazlar, fakat polaronlar çoğunda bulunabilir. Yapılan araştırmalardan bipolaronların sonlu zincir üzerinden diğer bir zincire atlayabilecekleri görülmüştür. Polaron katkılı polimerlerde yük taşıması, zincir üstünde yük enjeksiyonuyla oluşturulan lokalize durumlar arasında, elektron transferi ile yapılır.

II.10.6.İletken Polimerlerin Sentezi

İletken polimer sentezinde; kimyasal veya elektrokimyasal polimerleşme, fotokimyasal polimerleşme, emülsiyon polimerleşmesi, katı-hal polimerleşmesi, plazma polimerleşmesi, piroliz, ve metal bileşikleriyle yapılan polimerleşme yöntemleri kullanılmaktadır.

Fotokimyasal polimerleşme yöntemi güneş ışığında foto başlatıcılarla (γ, x ışınları veya hızlandırılmış tanecikler gibi iyonlaştırıcılar) monomer ortamının etkinleştirilmesiyle gerçekleşen bir süreci ifade eder.

Emülsiyon polimerleşmesi; başlıca monomer, su, yüzey gerilimini düşüren yüzey aktif madde ve başlatıcıdan oluşan bir emülsiyon ortamındaki heterojen fazlar arası tepkimelerle gerçekleştirilmektedir. Eklenen zincir transfer ajanları ile molekül kütlesini kontrol edebilme avantajı verir.

Yüksek sıcaklıklarda veya kuvvetli bir elektromanyetik alanda uyarılmış atomlar, iyonlar ve serbest elektronlardan oluşan plazma ortamında herhangi bir fonksiyonel grup veya çift bağ içermeyen maddelerin polimerleşmesine plazma polimerleşmesi denilmektedir.

Bu polimerleşme türlerinden en fazla kullanılanlar ise;

a) Kimyasal Polimerizasyon

b) Elektrokimyasal Polimerizasyondur.

İletken polimerlerin çoğunu kimyasal ya da elektrokimyasal tekniklerden herhangi birisi ile hazırlamak olanaklıdır.

II.10.6.1.Kimyasal Yöntem

Bu yöntemde monomer uygun bir çözücüde çözülerek yükseltgeme veya indirgeme yapabilen bir oksidant kullanılarak polimerleştirilir. Kullanılacak olan doping maddesi ve katalizörün elde edilecek polimerin elektriksel iletkenliğini çok fazla etkilediği görülmüştür.[64]

Poli(p-fenilen) sentezinde dopant olarak $CuCl_2$ ve katalizör olarak $AlCl_3$ kullanıldığında elektriksel iletkenlik göstermemesine karşın dopant olarak AsF_5 veya Li kullanıldığında 0,3-500 S/cm arasında değişen iletkenlik gösterdiği görülmüştür.

Pirol'ün $FeCl_3$-metanol ortamında kimyasal polimerizasyonu ile yaklasık 200 S/cm iletkenlik gösteren polimer sentezlenmiştir

Eğer polimerin bol miktarda elde edilmesi gerektiyse kimyasal polimerizasyon tercih edilen yöntemdir.

Bu yöntemin dezavantajları;

a) Yükseltgenme basamağının kontrol edilememesi

b) Oluşan ürünün saf olmaması

II.10.6.2.Elektriksel Yöntem

Elektrokimyasal polimerleşmede; uygun bir çözücü ve destek elektrolitle birlikte polimerleşme hücresine konan monomerden, iki faz arasındaki yük transferi (metal elektronları ve elektrolit iyonları arasında) ve elektrot tepkimesiyle(elektrot zincir büyümesini katalitik olarak başlatır) elektrot yüzeyinde ve çözeltide polimer oluşumu sağlanır.

Polimerik ürünün; polimer film elektrot, ince tabakalı bir sensör ya da mikro teknolojiye yönelik bir kullanımı amaçlanıyorsa elektrokimyasal sentez tercih edilir. Çünkü yükseltgenme için uygulanan potansiyelin kontrol edilebilir olması, sentezin her aşamasının kontrol edilmesine olanak sağlar ve bu özellik kaliteli bir film elde etmenin ön koşuludur.

Polimerin oksidasyon basamağı elektrokimyasal yöntemlerle kolayca değiştirilebilir. Öte yandan polimerle etkileşen çözeltinin (ya da temas halindeki gazın) bileşiminin değişmesi polimerin iletkenliğinin değişmesine yol açabilir. Örnek olarak çözeltinin pH'sının yükselmesi ya da gaz fazında NH_3 gibi bir elektron verici molekül bulunması polianinilin (PANI) ya da polipirol (PPy) filmlerinin iletkenliklerinin değişmesine yol açmaktadır. Diğer bazı kimyasal tepkimelerle yapının ve iletkenliğinin değişmesi sağlanabilmektedir.[64]

Elektrokimyasal polimer elde etme yöntemleri:

a) Galvonastat

b) Potansiyostat

c) Potansiyel tarama teknikleridir.

II.11.POLİANİLİN

II.11.1.Polianilinin Tarihçesi

Polianilin bazı metallerle benzer özelliklere sahip olan iletken bir polimerdir. Syed ve Dinesan'ın bildirdiğine göre, polianilin (PANI), ilk olarak 1835 yılında anilinin yükseltgenmesiyle elde edilmiş ve bu şekilde elde edilen her ürün için "anilin siyahı" terimi kullanılmıştır. Fritzche 1840'ta, aromatik aminin kimyasal olarak yükseltgenmesiyle elde edilen ürünlerin analizini yapmıştır. Bundan sonra Lethebey 1862'de, sulu sülfürik asit çözeltisiyle elde edilen son ürünün, koyu kahverengi bir çökelek olduğunu bulmuştur. Gilchris, 1904'de, sulu HCl içindeki anilinin çözeltisinin benzer bir yükseltgenme gösterdiğini bulmuştur. Gren ve ark. 1913 yılında anilinin kimyasal yükseltgenmesiyle elde edilen ürün için para-(p-) konumundaki kinoid-imin modelinin doğrusal oktamerik yapısını önermişlerdir.[64] Polianilinin iletkenlik özellikleri ise 1970'li yıllardan sonra araştırılmaya başlanmıştır. 1990'ların sonlarında polianilinin esnek ve faydalı bir polimer olduğu ve bilgisayar chiplerine kadar pek çok uygulamalarda kullanılabileceği açıkça görülmüştür.

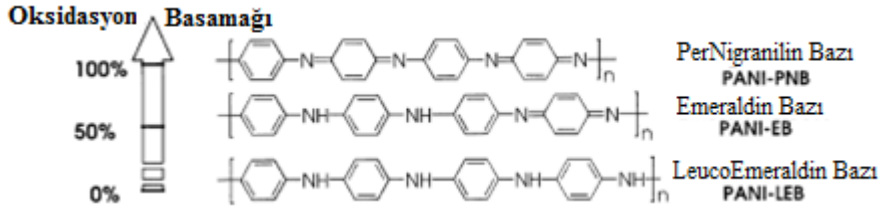
2000 li yıllara geldiğimizde ise gelişen teknoloji ve polianilin üzerinde yapılan çalışmalar sonucu; pek çok farklı özelliği yüzünden, kullanım alanlarının gelişmesine paralel olarak polianilinin işlenebilmesi, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve farklı formlarda veya kompozit olarak farklı materyallerle birlikte endüstride kullanılmasıyla ilgili yapılan çalışmaların sayısı birden artmıştır. Aynı zamanda diğer iletken polimerlere göre ucuz ve çevreci olması da ona olan ilginin artmasının sebeplerindendir.

Polianilin yarı-iletken olmasından dolayı az bulunan bir polimerdir. İzolasyon kullanımı için iletkenlik istenmeyen durumlardan, diğer amaçlar için yüksek bir şekilde iletkenlik istenilen durumlara kadar geniş kullanım aralığına sahiptir. Polianilin, bir organik kimyasal ile karıştırılabilen granül formdadır ve düzgün bir polianilin film tabakası oluşturmak için bir madde üzerine püskürtülebilmekte veya boyanabilmektedir. Polimerizasyon basamakları basittir.

II.11.2.Polianilinin Yapısı

Polianilin diğer konjuge polimerlerden farklı bir kimyasal yapı gösterir. Bu yapısındaki (amin ve imin) merkezlerden ve onların konjuge bağlarından

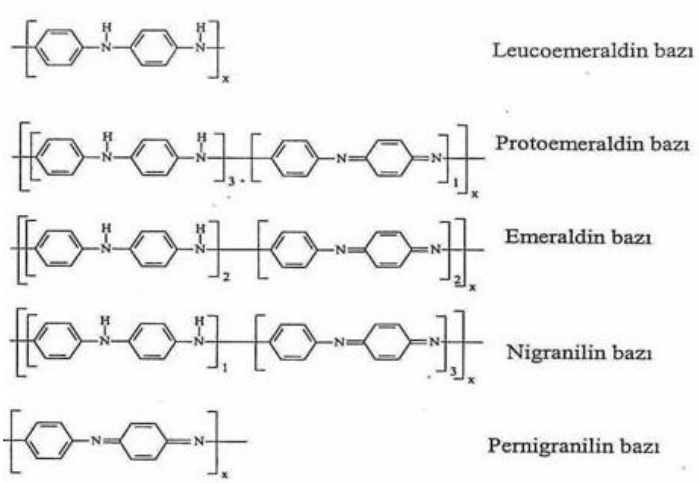
kaynaklanır. PANI oksidasyon basamaklarına göre çeşitli formlara dönüşebilir buna göre Polianilin başlıca üç temel yapıdadır.



Şekil II.75 Polianilinin temel oksidasyon basamakları ve bu basamaklarda oluşan formları[65]

Birincisi, tamamen indirgenmiş yapı ikincisi, yükseltgenmiş yapıdır. En indirgenmiş hali leuco emeraldin(LEB) tekrarlanan birimi iki benzenoid halka içeren fenilin halkalarına bağlanmış amin tipi hidrojenlerden oluşur. Tamamen yükseltgenmiş hali ise pernigranilindir. Tekrarlanan birimi bir benzenoid halka ve bir kinoid halka içerir, Fenilin halkalarına bağlanmış 1:1 oranında benzenoid tipi halkalar ve kinoid tipi halkalar içerir ve imin nitrojenlerle ayrılır. Her iki yapıda da, tekrarlanan birimdeki azot atomlarının ikisinden biri ya da ikisi, polimer çözeltisinin pH 'ına bağlı olarak protonlanabilir. Baz yapısı amin, protonlaşmış yapı ise tuz olarak adlandırılmıştır. Üçüncüsü ise yarım yükseltgenmiş anilin emeraldin (EB)dir, imin ve amin nitrojenleri eşit sayıda bulunur. Benzenoid halkalarının kinoid tipi halkalara oranı 3:1 dir. Emeraldinini tekrar eden ünitesi dört halka ve dört nitrojen içermek zorundadır. Yani yapı oktomerik (en küçük tekrarlanan birim sayısı sekiz olan yapı)dır.

Birde bu üç formdan başka elde edilen protoemeraldin ve nigranilin denilen ara formlar vardır.



Şekil II.76 Anilinin yükseltgenme ürünleri [62]

PANI'nin yapısı için aşağıdaki genelleme yapılacak olursa;

$\{[-(C_6H_4)–NH-(C_6H_4)-NH]^{1-y}[-(C_6H_4)–N=(C_6H_4)=N-]^{y}\}_n$

Yukarıdaki genel formülde y = 0 için leucomeraldin, y =0,25 için protoemeraldin, y=0,5 için emeraldin, y = 0,75 için nigranilin ve y=1 için pernigranilin yapıları oluşmaktadır. n ise polimerleşme derecesini göstermektedir.[64]

İndirgenmiş fazdaki (LEB) çok reaktifdir atmosfer şartlarında bile okside olabilir. Buna karşın yarı okside edilmiş emeraldin fazı havada stabildir, laboratuar atmosferinde kimyasal bir değişime uğramadan saklanabilir. PANI hep bu oksidasyon basamağında saklanır. Bu yüzden diğer üretilen tüm PANI çeşitleri farklı oksidasyon durumlarında EB'den elde edilir. EB oluşumu için güçlü oksidasyon ajanları kullanılır. Monomer oksidasyon oranı reaksiyon şartlarının kontrolünüde sağlar. Oluşan emeraldin tuzu amonianın sulu çözeltisinde doğal fazına geri dönebilir.[65] Emeraldin çok zor çözülebilir. Bu molekül içi amin gruplarında verici zincirlere bitişik imin gruplarında ise alıcı olan hidrojen bağlarından kaynaklanmaktadır. Sadece zincirler arası hidrojen bağlarını koparabilen çözücülerde çözünür. Bunlar ise (NMP) N-metil-2- pirolidin, taterametilüre(TMU), N-N dimetilasitamid(DMAc), hekzametilfosforamid(HMPA)dir[66,67]. Emeraldin çözeltileri jel kıvamına gelme eğilimindedir. Bu yüzden hem alıcı hem verici olan solvent oluşumları kullanılmalıdır(HMPA gibi). Yüksek konsantrasyonlu solüsyonlardan lifler ve filmler oluşturulabilir.

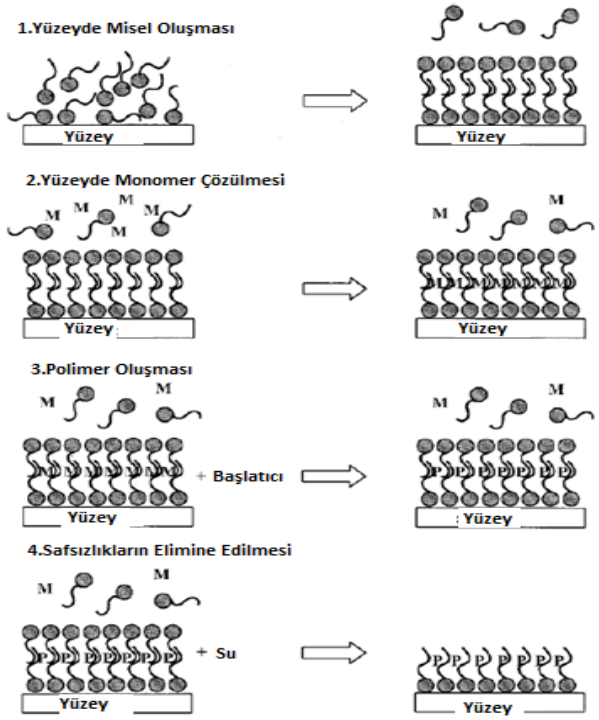
II.11.3.Polianilin Sentezi

Polianilinin üretimi için literatürde bildirilmiş pek çok yol bulunmaktadır. Bunlar; kimyasal, elektrokimyasal, klavuz ajan ile, enzimatik, plazma ve foto polimerizasyondur.

II.11.3.1.Kimyasal Polimerizasyon

Polianilinin kimyasal polimerizasyonunda tekstil yüzeylerini kaplamadada kullanılan genel yöntem oksidatif polimerizasyondur.[68] Fakat kimyasal polimerizasyonda yine kendi içinde sentez metodlarına göre heterofaz, çözelti, ara yüzey, çekirdeklenme, yer değiştirme, kendiliğinden bağlanma ve ultrasonik polimerizasyon olarak farklı gruplara ayrılır.

Öncelikle klasik oksidatif polimerizasyonu inceleyelim; Polianilin (amonyum persülfat($(NH_4)S_2O_8$) potasyumdikromat($K_2Cr_2O_7$), ve hidrojen peroksit (H_2O_2)gibi) yükseltgenlerin seyreltik asidik çözeltisi (bu asit çözeltisi hidroklorik asit HCl) sülfürik asit (H_2SO_4), nitrik asit(HNO_3), gibi) ile anilini seyreltik asidik çözeltisinin tepkimeye sokulmasıyla hazırlanır. Anilinin yükseltgenmesi ile polimerleşmesi iki elektron yüklü bir reaksiyondur. Yükseltgen tuzun görevi, ortamda bulunan ürünlerle güçlü bir koordinasyon bağı oluşturmadan, anilin molekülünden bir proton koparmaktır. Bu yöntemle anilin monomeri, konjuge çift bağ içeren polianiline kondensasyon yoluyla dönüşür. Yükseltgenme yoluyla polianilin elde edilirken çözelti aşama aşama renklenir ve siyah bir çökelek elde edilir. Renklenmenin şiddeti, yükseltgenin derişimi ve ortamın yapısına bağlıdır.[62,64,68]



Şekil II.77 Polimerizasyon işleminin aşamaları.

a)Heterofaz

Bu polimerizasyon yöntemiyle çok geniş bir hacim skalasına sahip yüksek kalitede PANI üretilir. Heterofaz polimerizasyonuda pek çok farklı metod içerir. Her metotda monomer suda zerreler(damlacıklar) halinde zayıf şekilde ayrılır. Bu zerrecikler sulu ortamda yüzey aktif maddelerle stabilize edilir. Zerrelerin büyüklüğü polimerizasyon metoduna göre değişir.[61] Polimer reçetesi başlatıcının monomer içinde sürekli fazda çözülebilmesi ve polimerizasyonun polimer zerreleri içerisinde meydana geleceği şekilde hazırlanır. Bu sırada stabilizatörlerin görevi; monomer

zerrelerini stabilize edip emilsiyon prosesine destek vermek ve reaksiyona girmeyen polimerleri ayırmaktır. Yukardada bahsettiğimiz gibi heterofaz polimerizasyonu farklı teknikler içerir.

Dispersiyon polimerizasyonunda monomer reaksiyon ortamında çözünürken; oluşan polimer çözünmez ve nano boyutlarda küresel silindirik dentrik polimerler elde edilir. Oksidasyon polimerizasyonuyla PANI üretimide bu metoda göredir.[69]

Emilsüyon polimerizasyonunda ise monomer sulu fazda disperse edilir ve uniform bir emülsiyon oluşturulur. Emülsiyon yüzey aktif maddelerle stabilize edilir. PAN' nin emilsüyon polimerizasyonuyla sentezi için anilin protonik asit ve oksidant ile kombine edilir. Ayrıca karıştırıcı olarak su ve zayıf polar ya da hiç polar olmayan çözücü de(örneğin ksilen, klorofor yada toluen gibi) ilave edilir. Bazı çalışmalarda protonik asit olarak DBSA zayıf polar çözeltilerdeki emilsiyon kabiliyetinden dolayı kullanılır. Reaksiyon sırasında çıkan ürünler PANI tuzu oluşana kadar direkt olarak izole edilmemelidir. Reaksiyon sonunda oluşan ürün daha sonra aseton ile destabile edilerek PANI tuzu çökeltilip ayrılır ve yıkanır.[70] Emilsüyon polimerizasyonu içinde farklı uygulanmalar PANI ile ilgili yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır.

Tersinir emülsiyon polimerizasyonunda; monomerin polar olmayan organik solventte(kloroform, izooktan, toluen) emülsiye edilmiş sulu çözeltisi polimerizasyon için (APS), benzoil peroksid gibi başlatıcılarla başlatılır. Reaksiyon heterojen fazda meydana gelir. Bu polimerizasyonun fiziksel şartları proses kontrolüne olanak sağlar.[61] Diğer polimerizasyonlarda görülen viskozite ve termal problemler burada önemsenmeyecek boyuttadır. Pek çok kullanım için uygun ürünler elde edilebilir. Polimerizasyon sırasında kontrole gerek olmadan gelişen yüksek molekül ağırlığı ve reaktivitede avantajları arasındadır. Reaksiyon sırasında PANI organik fazda bir komponent olarak değişmeden kalır. Polimerizasyon sonrasında organik fazdan ayrılır ve destile su ile yıkanır. Daha sonra solüsyon susuz sodyum sülfat ya da diğer uygun kimyasallarla suyun uzaklaştırılması için muamele görür. Viskoz haldeki organik solüsyona aseton ya da başka uygun kimyasal eklenerek PANI tuzu çökeltilir.

Tersinir misel polimerizasyonu yöntemiyle ise; DBSA ve sulu ABS çözeltisi izooktanla beraber kuvvetli karıştırılır. Anilin izooktan içerisinde homojen şekilde çözünür. Etonol karıştırılarak bu sisteme eklenir. Reaksiyon çözeltinin damla damla tersinir misel solüsyona eklenmesiyle başlar. Reaksiyon sonucunda koyu yeşil DBSA PANI süspansiyonu hazırlanmış olur. Sonra çözelti filtrelenerek metanol ve iyonize

su ile pH 7 de yıkanarak içindeki APS, DBSA ve reaksiyona girmemiş PANI monomeri gibi safsızlıklar arındırılır. Bu yolla oluşturulan polimerin iletkenlik işlenebilirlik, kristallenebilirlik, elektrokimyasal aktivite, çözülebilirlik, ısıl stabilitesi ve molekül ağırlığı gayet iyi seviyededir. [71]

b)Çözelti Polimerizasyonu

Bu sistemde anilin kloroform içinde çözelti olarak polimerize edilir ve akrilonitril içinde elektropolimerize edilebilir.

c)Ara Yüzey Polimerizasyonu

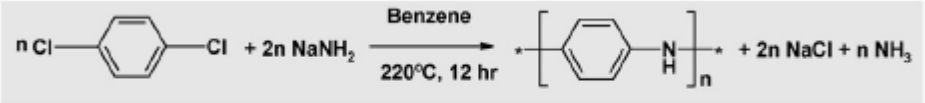
Eğer polimerizasyon reaksiyonu iki karışmayan solventin ara yüzeyinde oluşursa buna ara yüzey polimerizasyonu denir. PANI bu şekilde iki karışmayan (su ve kloroform gibi) çözücü ile farklı dopant asitlerin varlığında sentezlenir. [72] Reaksiyon oksidasyon ajanlarının (APS,H_20_2) başlatıcılığında oda sıcaklığı veyahutta tercih edilen uygun bir sıcaklıkta yüzey aktiflerin varlığında başlatılır. Son ürün santifürüjleme ile ayrılır. Çok çeşitli renkte şekil ve yoğunlukta PANI elde edilir.

d)Çekirdek Polimerizasyonu

Çekirdek polimerizasyonunda Bir materyal kalıp olarak kullanılır ve polimerizasyon bu kalıbın varlığında yapılır. Örneğin nanolifler PANI tozlarının varlığında farklı asidik dopantlar ve farklı çözücülerle oluşturulur. Böylece yüksek iletken nanolifler oluşturulmuş olur.[73] Oluşan liflerin morfolojisi kullanılan asidin tipine konsantrasyonuna çekirdek tipine solventin ve çekireğin miktarına bağlıdır.

e)Yerdeğiştirme Polimerizasyonu

p-diklorobenzenoid 220°C de organik ortamda(benzenoid gibi) sodyumamidle beraber 12 saat boyunca bekletilirse yerdeğiştirme reaksiyonu sonucu PANI oluşur.[61]

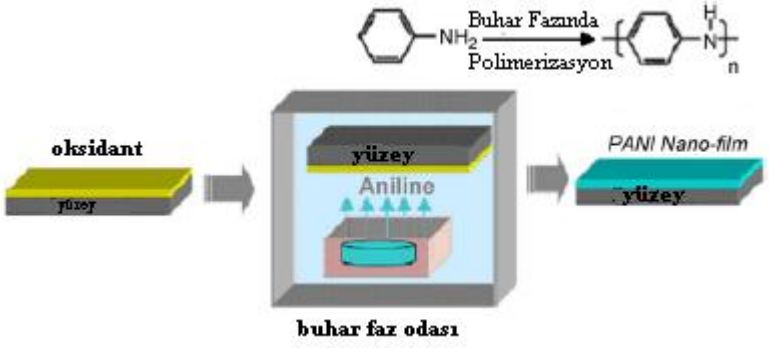


f)Kendiliğinden Bağ Polimerizasyon

Anilin , m- aminobenzenoid sülfonik asit (MSAN), oksidant olarak APS ve yüzey aktif madde olarak inidyum tin oksit(ITO) kullanılarak PANI kopolimer filmi kendiliğinden bağ yaparak oluşur.[74] Polimerik yüzey üzerinde anilinin polimerizasyonuyla ince PANI filmleri oluşur.

Buhar fazındaki polimerizasyonda ise daha ince filmler elde edilir. %10wt lik çözelti FeCL3, komfor sülfonik asit ve Fe (p toluen sülfonat) ile metil alkol (MeOH)

içinde hazırlanır. Daha sonra temiz polimerik yüzey (PET, PA,PVC gibi) çözeltiye bandırılarak yada çözelti içinde döndürülerek kaplanır ve kurutulur. Kuru kaplanmış filmler anilin buharına kapalı reaksiyon odasında farklı sıcaklıklarda 5-60 dk maruz bırakılır. Reaksiyon sonucunda yüzey üzerinde PANI polimerize olur ve metanolle reaksiyona girmemiş monomer oksidant ve diğerlerini uzaklaştırmak için birkaç kez yıkanır. Sonra 3dk boyunca 80C de kurutulur.[75]



Şekil II.78 Buhar fazında polimerizasyonun şematik gösterimi[75]

g)Ultrasonik Kimyasal Polimerizasyon

Asidik APS çözeltisi asidik anilin çözeltisine konvensiyonel yöntemdeki gibi damla damla eklenir. Fakat polimerizasyon ultrasonik dalgalar sayesinde olur. [76]

II.3.11.2.Elektrokimyasal Polimerizasyonu

Günümüzde ECP proseslerinini kullanımını avantajlı kılan iki durum vardır. Birincisi elektrokimyasal polimerizasyonunda başlangıç ve sonlanma basamaklarının kontrol edilmesidir. İkincisi ise teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişime açık potansiyelidir. ECP reaksiyonları çoğunlukla kimyasal polimerizasyona göre temizdir. Çünkü (yüzey aktif ve oksidant gibi) ilave kimyasallar kullanılmamaktadır. Bu kirliliği azaltmaktadır. Anilinden elektropolimerizasyon yöntemi ile polimer elde edilmesi için ortamın asidik olması gerekmektedir. Çünkü anilin yalnızca asidik ortamlarda suda çözünmektedir ve elektiriği iletmektedir.

Elektrokimyasal yöntemle anilin polimerizasyonunda

1) Sürekli akım(galvanostatik); üzerinden özel seviyede akım geçirilen iki elektrot bağlı olarak monomer içeren elektrolit çözeltisine batırılır. Platin elektrot üzerinde PANI filmi oluşur.
2) Sürekli potansiyel (durağan) akım potantiostatik; polimer tozu elektrot üzerine zayıf olarak tutunur.

3) Potansiyel tarama/ çevrim; PANI filmi elektrod üzerine sımsıkı yapışır.

Polianilin elde edilmesinde en fazla tercih edilen metot potansiyel tarama metodudur. Bu metotla sulu asidik çözeltide -0,2 ile 0,8 V potansiyel aralığında platin elektrot kullanılarak polianilin elde edilmiştir. Bu yöntemlerle elektrik iletebilen ince filmler oluşturulabilir.[77] Fakat uzun zincirli polimerler oluşturulamaz.

II.11.3.4.Kalıpla Polimerizasyon

Nano yapılar oluşturmada kullanılır. Değişik materyallerden kalıplar kullanılır. Bu sayede hem kimyasal hemde elektrokimyasal polimerizasyonla nano tüpler oluşturulabilir. Bu yöntemle bir boyutlu mikro ya da nano yapılı kontrol edilebilir boy çap ve boyutta PANI hazırlanabilir. Bu yöntemin dezavantajları usandırıcı ilave bir proses ve kalıpların uzaklaştırılması sırasında nano yapılı polimerin zarar görmesi yada kalıptan çıktıktan sonra şekillerinin arzu edildiği gibi olmamasıdır.

II.11.3.5.Enzimatik Polimerizasyonu

Son on yılda anilinin enzimatik polimerizasyonuyla ilgili kimyasal polimerizasyona göre daha ılımlı şartları olduğu için pek çok çalışma yapıldı. Yaban turbu peroksidi(HRP) ve soya fasülyesi peroksidi(SBP) oksidasyon enzimleridir. Hidrojen peroksit varlığında aromatik aminleri okside edebilirler. Bunlar yenilenebilir kaynaktırlar ve aromatik yapıları yüksek reaktivite gösterirler.[78] Ayrıca su ürünleriyle oksidasyonları kesilebilir. Bu şekilde anilin sentezi bu sebeplerden çevreci bir yöntemdir. Bu konuda yapılan araştırmaların çoğunda pol elektrolit kalıpları(sülfanat polstiren, polivinil sülfonik asit, deoksiribonükleik asit gibi)kullanılır. Bunlarda çevrecidirler. pH 3-4 de enzimatik polimerizasyonda düzgün yüzeyli PANI oluşur. Yalnız oluşan bu polimer tek başına film veya lif olarak kullanılamaz.

II.11.3.6.Foto Kimyasal Polimerizasyon

Burada PANI sentezinde lazer radyasyonu kullanılır. Altın elektrod anilin bağlayıcı metal tuzlar içeren solüsyona yerleştirilir. UV ya da görülebilir ışık fotonlarından birisiyle polimerizasyon yapılır.[79] Bu yöntem gümüş, nanoteller ve mikro tellerle PANI kompozitlerinin oluşturulmasında kullanılır. İletkenlik uyarıcı

dalga boyuna bağlıdır. Görünür ışık fotonları ve fibrilli UV fotonları ise küresel görünümlü yapılar oluşturur.

II.11.3.7.Plazma Polimerizasyon

Plazma polimerizasyonunda anilin monomeri ya da monomer zerrelerinin dispersiyonu plazma buharına(buhar DC sevk dişşarj reaktörü tarafından başlatılır) enjekte edilir. İkinci adımda ılımlı durumda polimer partikülleri reaktör tarafından çökeltilir. Bu metod kompozit üretmek için alternatiftir. Dispersiyon fazının kontrolüyle farklı özelliklerde kompozitler elde edilir. Çözücüsüz ve gözeneksiz kaplamalar yapılmış olur. [80]

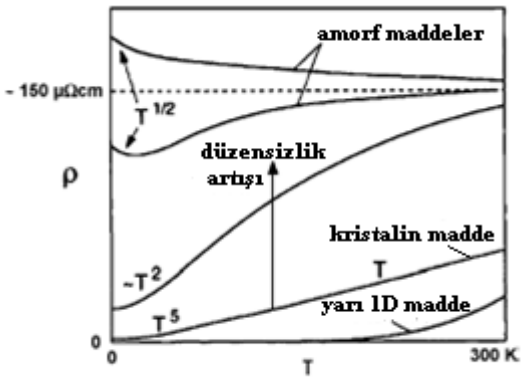
II.12.POLİANİLİNİN ELEKTRİKSEL İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ

Daha önce iletken polimerlerde (II.84) denkleminde belirttiğimiz gibi elektriksel iletkenlik; yük taşıyıcıların yoğunluk miktarına (n) ve onların madde içinde ne kadar hızlı hareket edebildiğine (u hareketlilik) bağlıdır.

Taşıyıcı yoğunluğu ve hareketliliği yarı iletkenlerde tünel etkisinin ölçümüyle belirlenebilir. Yarı iletkenlerde daha öncede belirttiğimiz gibi negatif yüklü n -tipi ve pozitif yüklü p- tipi olmak üzere iki çeşit taşıyıcı vardır. Deneysel sonuçlar polianilinin p-tipi taşıyıcalara sahip bir yarı iletken olduğunu ve iletkenliğininde boşluklarda elektron hareketine bağlı olduğunu göstermiştir.[81] Polianilinin iletkenlik mekanizmasıda; $\pi - \pi^*$ arası (iletkenlik ve bağ bandı) band genişliğine göre açıklanmakta ve elektriksel değişimi, iletkenlik ve optik özellikleri band kuramına göre belirlenmektedir. PANI band genişliği ve band enerjisi UV analizi ile belirlenir. Yapılan pek çok çalışmada PANI'nin iletkenliğinin kaynağını tanımlayan farklı iletkenlik modelleri ortaya konmuştur.

Sıcaklığa bağlı iletkenlik; tanecikli maddeler ve sıcaklığa bağlı iletkenlik gösteren metalden metal olmayana kadar tüm heterojen maddeler için; 1 boyutlu(1D) değişken atlama dağılımları(VRH), 3D boyutlu (VRH) ve 1D ile 3D (VRH) kombinasyonu olan sınırlı enerji yükleme galerileri (CELT) tanımlanmıştır. [61] Yarı 1D olan Polianilinin iletkenliğinin polimer zinciri boyunca daha da yükselen yüksek anizotropik olduğu belirtilmektedir. Polianilinide içine alan bu yarı 1D maddelerin özdirençleri düşük sıcaklıklarda az miktarda artışlar, yüksek sıcaklıklarda ise keskin artışlar göstermektedir(şekil II.79). Konvensiyonel kristalin maddelerdeki özdirenç; yüksek sıcaklıklarda uyarılmış fotonların T ye bağlı doğru orantılı artışı

yüzünden T^5 olarak artar ve düşük derecelerde azalır. Ancak sıcaklığa bağlı öz direnç artışı çok yüksek sıcaklıklarda satürasyon etkisi gösterme eğilimindedir. Düşük sıcaklıklarda ise T^2 oranında artma eğilimindedir. Amorf maddelerde yüksek derecede oryante olmamış elastik yapının dağılımının egemen olması yüzünden çok küçük sıcaklık değişimleri bile özdirenci etkiler. Amorf maddelerin özdirenci (χ) eğer özdirenç miktarı 150 μΩ/cm den daha iyiyse(bu değer sadece yarı 3D maddelerde normal taşıyıcı yoğunluğunda kullanılır) negatif sıcaklık etkisi gösterir($d\chi/dt=0$).[61,82]



Şekil II.79 Yarı 1D yüksek anizotropik (PANI) ile tipik kristalin maddelerin sıcaklık değişimine bağlı iletkenlik özdirenç değişimlerinin karşılaştırılması [31]

Daha öncede belirtildiği gibi yarıiletkenler gibi bazı maddeler genellikle Ohm kanunundan saparlar. Bu yüzden iletkenlik şartları farklı denklemle ifade edilebilir. Düzenli olmayan yarı iletkenlerde (band genişliği bölgeleriyle lokalize edilmiş) iletkenlik boşluklar arası atlama ile meydana gelir. Mott yasasına göre[83] değişken atlama dağılımları(VRH) için iletkenliğin şartlarını aşağıdaki denklemler ifade eder.

$$\sigma(T) = \sigma_0 \, exp\left[-\left(\frac{T_0}{T}\right)^{\gamma}\right] \tag{II.89}$$

$$\sigma_0 = e^2 f_e \, {R_a}^2 N(E) \tag{II.90}$$

$$T_0 = \frac{\lambda \alpha^3}{kN(E)} \tag{II.91}$$

fa=atlama frekansı

λ=18,1 boyutsuz sabit

α= 1/dalga fonksiyonunun düşüşü

κ=Boltzman sabiti

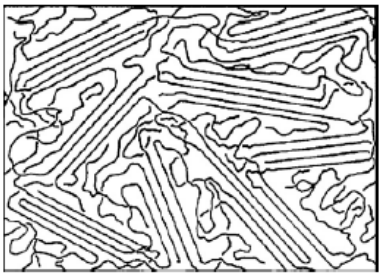
N(E)= bölge yoğunluğu

Ra=atlama mesafesi

$$R = \left[\frac{9}{8\,\pi\alpha kTN(E)}\right]^{1/4} \quad \text{(II.92)}$$

3D de atlama için üstsel kuvvet γ=1/4 2D atlama için γ=1/3 ve 1D de atlama için γ=1/2 dir. PANI gibi yarı iletkenlerde elektronik tüneller sayesindeki iletken bölgeyle yalıtkan bölge arasındaki iletkenlik 1D (VRH) ile aynıdır ve katsayısı γ=1/2 dir.

PANI kristalin bölgelerin amorf bölgeler içinde dağıldığı yarı kristalin heterojen bir yapıdadır. (Şekil II.80)Bu yapı yarı iletken adaların iletken olmayan amorf bölgelerle çevrilmesiyle aynıdır. Kristalin bölgeler elektron delokalizasyonuyla ya da yükün düzenli yapıya bağlı olarak taşınmasıyla iletkenliğin meydana geldiği doğal iletken bölgelerdir. Bu bölgede polaron yapı boyunca yük taşıyıcıları atlar. Polaron yapı emeraldin bazındaki anilinin protonlanması (bu işleme doplama denir) ile oluşur. Polianilinin iletkenliğinin sebebi bu kristalin bölgedir. Fakat bu kristalin bölgenin etrafı amorf iletken olmayan bölge ile çevrilidir ve bu bölge düzensiz ya da kıvrımlı zincirlerin oluşumuna neden olur. Polianilinin toplam iletkenliği iletken bölgeler arasında kurulan köprülere bağlıdır. Yük taşıyıcıları için tüneller iletken ve iletken olmayan bölgeler arasında meydana gelir.



Şekil II.80 Polianilinin Kristalin- amorf heterojen yapısı

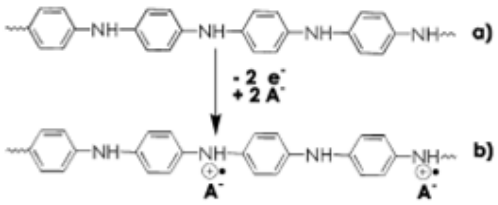
II.12.1.Polianilinin Doplanması

PANI doplama yöntemleri;

- EB ve dopant sulu ortamda ya da solventte kimyasal olarak karıştırılır.
- EB ve dopant kuru olarak karıştırılır.
- Elektrokimyasal yöntem

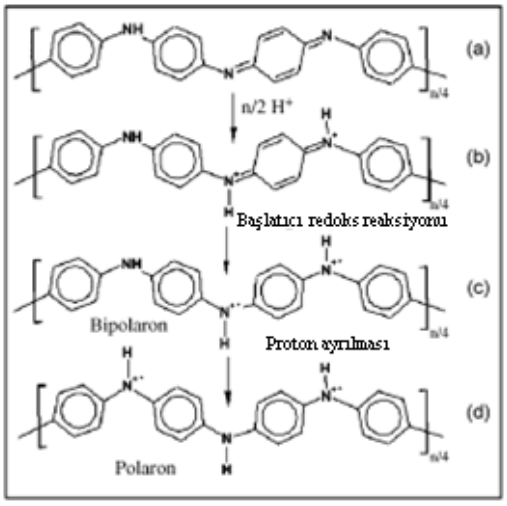
- Termal yöntem
- Radyasyonla muamele

Polianilinin doplanması; leucoemeraldin okside edilir (a ve b). LEB zinciri radikal katyon vererek polaran oluşturur.[65]



Şekil II.81 Polianilinin oksidadif merkezli doplanması

PANI gibi güçlü yapısal merkezleri olan polimerler sadece redoks mekanizmasıyla değil asit temelli olarakta doplanabilirler. Asitle doplama mekanizması yarım oksidasyon (emeraldin) fazıyla açıklanabilir. Bunun için protonik asitle protonlanarak emmeraldin tuzu oluşturulur. Bu yükün saklandığı bipolaran formudur. Daha sonra bu yükler yeniden dağılarak başlangıç redoks prosesiyle bipolaronlara ve proton ayrılmasıyla polarona dönüşür.



Şekil II.82 a) Emeraldin tuzu protonlanmadan önce b)%50 protonlandıktan sonra c)bipolaron formu d)polaron formu

Asit temelli doping ile oksidasyon dopingi sonucu aynı ürün oluşur. Oksidasyon basamağına göre oluşan polianilin için üç temel yapıdan emeraldin fazındaki yapının protonlanması veya doplanması sonucu leuco emeraldin ve pernigralinilin fazına göre daha yüksek iletkenlik elde edilir çünkü; (LEB ve PNB) nin doplanması sonucunda oluşan nitrojen atomları birden fazla oluşur buda birden fazla boşluk demektir.[61,65,81,84,85] Birden fazla boşluk olması elektron

atlamasını imkansız hale getirir bu yüzden bu fazlar yalıtkan ürünler oluşturur. Elektriksel iletkenliğin istendiği yapıların üretiminde emeraldin fazı kullanılır.

Doplama sırasında π bağ sistemindeki yük transferi sağlanmış olsa da polimerin kimliği korunur. Fakat titreşim, elektronik ve diğer özellikler doplamaya bağlı olarak değişir. Doplamanın en önemli sonucu polimerin iletkenliğinin arttırılmasıdır. Polimerin çözülebilir gruplara sahip olması da doplamayla sağlanır.

II.12.2.Polianilinin İletkenliğine Etki Eden Faktörler

Polianilinin iletkenliği;

- Molekül ağırlığına
- Kristalinite yüzdesi ve zincirler arası boşluğa
- Oksidasyon seviyesi ve moleküler düzene
- Doplanma miktarına ve dopantın tipine
- Ortamın nemine
- Ortamın sıcaklığına
- Ortamın pH na bağlıdır.

Molekül ağırlığı; kesin belirli tipte ve ağırlıkta molekül elde edilene kadar uzun dağılımlı elektron bulutlarının delokalizasyonu sonucu konjuge bağlar oluşmadığı için iletkenlik artmamaktadır. Diğer tarftan yüksek molekül ağırlığı da zincir simetrisinde mükemmel olmayan biçimde yük delokalizasyonu oluşturacağı için buda iletkenliği düşürecektir.

Polianilinin toplam iletkenliği molekül içi moleküller arası ve domainler arası iletkenliğin toplamıdır. $\sigma_{top} = \sigma_{m.i.}\sigma_{m.a}\sigma_{d.a}$ Molekül içi iletkenliği yapıdaki kusurlar etkiler bu yüzden oligamerik yapı kristallendikçe iletkenlikde artacaktır. Domainler yalıtkan matriks içindeki iyi organize olmuş zincir kümelerinde meydana gelir ve toplam iletkenlik miktarını belirler.[61,81]

Kristalinite yüzdesi; kristalinite arttıkça yapı daha da organize hale geldiği için iletkenlikde artar. Ayrıca zincir içi yük hareketliliği zincir boyunca artar ve atlama miktarıda artar.

Zincirler arası boşluk; boşluğun azalmasına bağlı olarak yük taşıyıcılarının atlama mesafesi de azalacağı için iletkenlikte artacaktır. Zincirler arası boşluk ve kristalinite miktarı X ışınlarının kırılma analizi ile hesaplanabilir.[86]

Oksidasyon seviyesi ve moleküler düzen; daha öncede belirttiğimiz gibi polianilinin iletkenliği için emeraldin fazı çok önemlidir. Çünkü diğer fazlardan elde edilen yapılar yalıtkandır. Oksidasyon sırasındaki Anilin/oksidant oranının polyanilinin elektriksel iletkenliğine etkisi oldukça düşüktür. Ancak anilin/oksidant oranı düştükçe polianilinin verimi düşmektedir.

Anilin/oksidant oranı k aşağıdaki formüle göre hesaplanır. [65]

$$kx = 2{,}5\ n_{an} / n_{ox}\ n_e \qquad \text{(II.91)}$$

nan = anilinin mol sayısı

nox= oksidant maddesinin mol sayısı

ne= alınan verilen elektron sayısıdır.

Oksidasyon sırasında her anilin molekülünden 2,5 elektron ayrıldığı farz edilmektedir. Monomerin oksidanta oranı 0,5'ten küçük olduğunda mavi renkli ve düşük iletkenliğe sahip polimer oluşmaktadır. Bu polianilinin yukarıda bahsettiğimiz emeraldin bazıdır. Monomerin oksidanta oranı 0,5'ten büyük olduğunda iletkenliği daha yüksektir. Çünkü polimer zinciri kısmen yükseltgenmiş ve protonlanmıştır. Emeraldindeki kinoid ve benzenoid yapıları %50 doplamayla kristalin bölgede yüksek seviyede iletkenlik için en önemli faktördür. Eger oksidant konsantrasyonu monomer konsantrasyonundan daha büyük olursa oksidantın fazlasının bulunduğu ortamda polimer zinciri tamamen yükseltgenir ve polianilinin mor renkli iletken olmayan pernigranilin formu oluşur. İyi kalitede polianilin üretimi için $k \geq 1$ olmalıdır. Polianilinin oksidasyon seviyesi IR analiziyle belirlenebilir. [62,65,81,86]

Doplama miktarı; bu polianilinin iletkenliği için en önemli faktörlerden birisidir. Çünkü yükün boşluklarda taşındığı polaronun oluşumu bu işlem ile sağlanır. Yukarıda da bahsettiğimiz gibi %50 doplamayla oluşan polaronlar sayesinde mükemmel iletkenlik sağlanır yalnız %50den fazla doplamada iletkenlik bipolaron oluşumu nedeniyle düşer.[86] Doplama miktarı termogravamatik analiz ile belirlenebilir.

Dopantın tipi; dopanttaki iyon sayısı polianilindeki çekirdeklenme adımında elektron birikimini etkilediği için; polianilinin oluşumunu ve morfolojisini, işlenebilirliğini, işlenme yöntemini ve iletkenliğini etkiler. Örneğin dikarboksilik asit polianilinde dopant olarak kullanıldığında; düşük randuman ve iletkenlik fakat yüksek çözünürlük sağlar.[87]

Tablo II.15 Değişik asitlerle doplanmış polianilinin iletkenlik değerleri[61]

Dopant	İletkenlik (S/cm)	İşelenbilirlik
Hidroklorik asit	1,7x10-1	Zor
Dodesil Benzenoid Sülfonik Asit (DBSA)	10	Çözülebilir
Aromatik fosforik asit diester	0,1x10	Eriyebilir
Asetik asit	10-1	Zor
Benzenoid sülfonik asit	0,2x10	Eriyebilir

Ortamın sıcaklığı; iletkenlik sıcaklığın artmasıyla ters orantılı olarak değişmektedir. Sıcaklı arttıkça iletkenlik ve verim azalır. Düşük sıcaklıktaki polimerizasyonda, uzun konjugasyonlu ve yüksek iletkenliğe sahip filmler elde edilmektedir. Düşük sıcaklıkta hazırlanan polyanilinin iyi iletkenlik göstermesinin sebebi hidroliz gibi yan reaksiyonların engellenmesidir. Çünkü polimerizasyon karışımında artan yan ürünler iletkenliğin düşmesine neden olur. [62]

Aslında yükselen sıcaklıklara bağlı polianilinin yapısının korunmasıda kullanılan dopantın tipine bağlıdır. En iyi iletkenlik yapılan deneyler sonucunda dopant olarak kullanılan tüm organik ve inorganik asitlerin içinde 173±1°C methan sülfonik asit de görülmüştür. Yüksek molekül ağırlığına sahip dopantlarda iletkenlik 180 °C ye kadar, polimerik asitlerde ise oda sıcaklığında korunabilmektedir.[88]

Ortamın pH'ı; Polyanilinin iletkenliği ortamın pH'ına da bağlıdır. pH=3'ten büyük olan çözeltilerden elde edilen polimer iletken değildir. Ortamın pH'i arttıkça iletkenlik azalmaktadır. Polyanilinin sentezi için ortamın asidik olması gerekir. Çünkü pH azaldıkça polimerizasyon hızı artmaktadır. Aynı zamanda kullanılan dopantında asidik olması iletkenliği arttırmaktadır. Çünkü yüksek pH'lı bazik dopantlar düşük iletkenlik sağlamaktadır.

II.13.POLİANİLİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Polianilinin mekanik yapısını etkileyen faktörler;

- Molekül yapısı
- Çapraz bağlanma
- Yoğunluk
- Kristallik
- Morfolojik yapısı

Son yapılan çalışmalarla birlikte polianilin ile esnekliği iyi olan filmler elde etmek mümkün olmuştur. Esnek polianilin filmler elde etmek için Perklorat ve Tetrafloroborat kullanılmaktadır.

Polianilinin redoks işlemi sırasında iyonların filmin içine ve dışına taşınması mekanik özelliklerin değişmesine neden olmaktadır. Polianilin filmlerin indirgen durumda daha esnek yapıya sahip oldukları görülmüştür.

Polimer yapısında kullanılan iyonlarında polimer filminin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Düşük molekül kütleli dopantlar kullanıldığı zaman çubuğa benzer yapı görülürken, yüksek molekül kütleli dopantlar kullanıldığı zaman tanecikli fibriler yüzey yapısı gözlenmiştir. Düşük molekül ağırlıklı birimlerin uzaklaştırılması ile polimerin mekanik özelliklerinin iyileştirilebildiği görülmüştür.[64]

Düşük sıcaklıklarda (-3 ile -5 0C) kimyasal polimerleşme ile elde edilen polimerlerin kopma geriliminin yüksek sıcaklıklarda elde edilen polimerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

II.14. POLİANİLİNİN ÇÖZÜNÜRLÜK VE İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

Yeşil renkli bir toz olarak bilinen polianilinin işlenebilirliği üzerine yapılan araştırmalarda alkali substitue organik solventler ya da aromatik substitueler kullanılmış bu sayede işlenebilirlik ve çözülebilirlik arttırılmışsa da iletkenlikte düşüş gözlemlenmiştir. Çünkü; polimer zinciri boyunca pi-elektron dağılımından dolayı tamamen doplu iletken polianilin makromolekülü, çözelti ortamında katı ve serttir. Sübstitüe grupların kullanılması zincirde pi-konfigürasyonunu azaltarak zincirin esnekliğini arttırmaktadır. Sonuç olarak çözünürlükteki iyileşme, elektriksel iletkenlikte azalmaya neden olmaktadır.

Sülfonat polistiren gibi polimerik dopantlar kullanılarak işlenebilir ve boyutsal stabilitesi iyi filmler elde edilmiştir. Bir başka yöntemle polimerik yüzey aktifler sayesinde kolodial polianilin üretilmiştir. Farklı sülfonik asit türevlerinin polianilinin doplu olarak organik solventlerde çözülmesini sağladığıda yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür.[34] Örneğin DBSA ya da komfor sülfonik asitle doplu PANI m-kresol ve ksilen gibi organik çözgenlerde çözülebilmektedir. Yapılan bir çalışmada suda çözünebilen elektriksel iletken PANI polistiren sülfonik asitle

doplanarak oluşturulmuştur. Ayrıca çözünebilir iletken polimerler elde etmek için polimerleşmelerin anilin türevleri ile yapılması yönünde çalışmalar yapılmıştır.[61]

II.15.POLİANİLİNİN KULLANIM ALANLARI

Polianilin; termal stabilitesi, ekonomik ve çevreci olması kolay sentezi ve özelliklerinin değişebilmesi, elektriksel iletkenliği, yüksek viskozitesi, iletkenlik değişimi, farklı oksidasyon basamakları, yüksek kapasitans değerleri ve renk değiştirme gibi pek çok özelliği yüzünden; elektriksel, elektronik, termolelektrik, elektrokimyasal, elektromanyetik, elektromekaniksel, elektroreolojik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Polianilinin tekstilde kullanımında akıllı gömleklerle hastanın fizyolojik durumunun takibi, akıllı spor ya da askeri kıyafetlerde değişen ısıl ve çevresel regülasyonlara uyum sağlanabilmektedir. Ayrıca elektriği ileten akıllı tekstil yapıları oluşturulmaktadır. İletken kaplamalar ve kompozitler EDS maddelerinde ve elektromanyetik radyasyonu absorbe etme ve yansıtma özelliği olan yapılarda (konveyör bantları, halılar, perdeler vb) kullanılmaktadır. PANI; radyo, mikro ve milimetrik dalgalardaki enerji değişimlerinden etkilenerek dielektrik sabitini değiştirmek suretiyle yüksek oranda elektromanyetik kalkanlama sağlayabilmektedir.

Tablo II .16 Polianilinin özelliklerine göre kullanım alanları verilmiştir.

Polianilinin Özellikleri	**Polianilinin Kullanım Alanları**
Elektriksel iletken yapısı	İletken adhesif, mürekkep,ve boya Antistatik tekstiller EDS(elektrostatik yüksüz)maddeler
Elektrik alan altındaki çözeltide artan viskozite	Elektroreolojik (ER) materyaller
Asidik bazik yada nötr ortamlarda değişen elektriksel iletkenlik ve renk	NH3, CO2 gaz Kimyasal, civa ve PH sensörlerinde Biyo sensörler; Bakteri ve C vitamini dedektörlerinde
Doplama ve yükseltgenme indirgenmeye bağlı morfolojik değişimler	Gaz ayırma membranları Nötr çözgen membranları
Oksidasyon basamak değişimleri	İyon alışveriş materyalleri
Yüksek kapasitans değerleri gösterme	Kapasitör , Enerji depolama aygıtları
Elektromanyetik radyasyon absorblama ve yansıtma yeteneği	Elektromanyetik dalga yayınımına karşı kalkanlama materyalleri
Optik rejim içinde elektromanyetik dalgalara tepki	Silinebilir optik bilgi depolama ortamları Doğrusal olmayan optikler(NLO)
Yüksel elektriksel iletkenlikten tamamen yalıtkana dönüşebilme	Dijital hafıza aygıtları
Darbeli akımlara karşı gerilerek değişim	Yapay kaslar
Enerji toplama ve transfer etme yeteneği	Şarj edilebilir piller için elektrod, Mikrobiyel yakıt hücreleri için anot Elektrokromik göstergeler ve akıllı pencereler
Oksidasyon basamağına göre elektron alma yada verme yeteneği	Güneş pilleri Diyotlar
Değişik uyarıcılar altında renk yayma	Organik yada polimerik ışık yayan diyotlar

BÖLÜM III

TEZ ÇALIŞMALARI

III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada polianilin kaplı poliester ve poliamid kompozit kumaşları üretmek için %100 poliester dokuma ve %100 poliamid örme kumaşlar üzerine polianilin kaplanılarak polimerizasyonu sağlanmış ve iletken poliamid/polianilin ve poliester/polianilin kompozit kumaşları oluşturulmuştur.

Bu sayede elde edilen kompozit kumaşların yüzey özellikleri, mekanik özellikleri ve yıkamalar sonrası davranışları; elektromanyetik dalgalara karşı davranış ve iletkenlik özellikleri, standart atmosfer şartları altında (% 65 ± 2 nispi nem ve 20 ± 2 ºC sıcaklıkta) incelenmiş ve sonuçları hem birbirleriyle hem de muamele görmemiş halleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

III.2.DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

III.2.1. Kullanılan Kumaşlar

Bu deneysel çalışmada kullanılan%100 poliester ve %100 poliamid ham kumaş özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo III.1 %100 Poliester Dokuma Kumaş

Özellikler	Dokuma
Atkı Sıklığı	29 atkı/cm
Çözgü Sıklığı	35 çözgü/cm
Atkı Numarası	150D/48F
Çözgü Numarası	70D/40F
Gramaj	123g/m^2
Örgü	Bez ayağı

Tablo III.2 %100 Poliamid Örme Kumaş

Özellikler	Örme
Sıra Sıklığı	26 sıra/cm
Çubuk Sıklığı	32çubuk/cm
İplik Numarası	110 Denye
Gramaj	173 g/m^2
Örgü	1/1 Rib

III.2.2. Kullanılan Kimyasallar

- Anilin (%99)Sigma-Aldrich (Monomer)
- HCl (%37) Merck (Asit)
- Amonyum per sülfat (%98)APS($(NH_4)_2S_2O_8$) Merck (Yükseltgen)
- Perlon OS X (Yüzey aktif madde)

III.2.3. Kullanılan Cihazlar

- Mukavemet test cihazı INSTRON 4411
- Autoburst Digital SDL-Atlas Patlatma Mukavemeti Test Cihazı
- RODHE & SCHWARZ ZVL-Network Analyzer ve ve numune tutucu olarak EM 2107A ; Elektromanyetik dalga karşısındaki davranış testleri için.
- KEITHLY 8009 Resistivity Text Fixture İletkenlik ölçümü için
- Perkin Elmer 100 ATR-FTIR cihazı; polimer ve yüzey arasındaki bağ çeşitlerini incelemek için
- JEOL Ltd. JSM-5910LV SEM cihazı; yüzey yapısını ve görünümünü incelemek için kullanılmıştır.

III.3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

III.3.1. Poliester ve Poliamid Kumaşlar Üzerine Polianilinin Polimerizasyonu İle Kompozit Kumaşların Üretimi

Kompozit oluşturulmadan önce, kullanılacak monomer içindeki safsızlıkları uzaklaştırmak için destile edildi. Destilasyon işleminden sonra şeffaf bir renk alan anilin fazla bekletilmeden polimerizasyonda kullanıldı.



Şekil III.1 Destilasyon işlemi

Kimyasal polimerizasyon yöntemiyle farklı monomer konsantrasyonlarında poliester ve poliamid kompozit kumaşlar elde edildi. Çalışılacak konsantrasyonu bulabilmek için çeşitli denemeler yapıldı. Yapılan denemeler sonucunda alt ve üst monomer oksidasyon oranı limitleri; kalkanlamanın 0 çıktığı 0,4 ve 2,5 olarak belirlendi. Ayrıca en iyi sonuçların elde edildiği 1 oranı için hem 0,2 M hem 0,8 M anilinle yapılan çalışmalar sonucunda 0,8 M anilin konsantrasyonunda daha yüksek kalkanlama ve mukavemet değerleri elde edildi. Bu yüzden ana konsantrasyon olarak 0,8 M seçildi. Ayrıca Anilin/oksidant oranı olarak da 0,66 ; 1 ve 1,5 oranları seçildi. Bu veriler ışığında reçeteler belirlenerek kompozit kumaşlar üretildi. Poliester ve poliamid kumaşlara aynı konsantrasyonlarda ki reçeteler uygulandı. Kompozit kumaşların üretimi için; HCl çözeltisine monomer ve yüzey aktif madde ilave edildi. Elde edilen çözelti yarım saat 2-3°C sıcaklıkta karıştırıldıktan sonra kumaşlar ilave edildi.



Şekil. III.2 Polimerizasyon İşlemi

Kumaşlar çözeltide 1.5 saat sürekli karıştırılarak bekletildi. Bu sırada pH sürekli ölçülerek 3 ün altında olduğu görüldü. Daha sonra APS HCl çözeltisinde çözülerek damla damla ilave edildi.



Şekil. III.3 Polimerizasyonun tamamlanması

Elde edilen çözelti, kumaşlara polimerizasyon işleminin tamamlanması için 2-3°C sıcaklıkta 1.5 saat kumaşlar siyah yeşil bir renk alana kadar sürekli karıştırılarak bekletildi. Bu işlemin ardından kumaşlar polimerizasyon çözeltisinden çıkarıldı.

Yeterli miktarda 0.2 M HCl çözeltisi ile ve kumaş üzerindeki aşırı asit moleküllerini uzaklaştırmak için eşit hacimde destile su ile yıkanarak oda sıcaklığında kurutuldu.

III.3.1.1.Poliester kumaş üzerine 0,8 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu

76 ml anilin, yüzey aktif madde ve 300 ml 1M HCl çözeltisi buz banyosunun içerisinde 2-3 °C sıcaklık ve pH 1-2 arasında 30 dk manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra kumaşlar ilave edildi ve karıştırılmaya devam edildi. 1.5 saat sonra sonra kumaşlar üzerindeki anilinin polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için ayrı olarak 400ml 1M HCl içerisinde 182.4 g $(NH_4)_2S_2O_8$ çözündürülerek hazırlanıp; kumaşında içinde bulunduğu çözeltiye damlatılarak ilave edildi. Kumaşlar polimerizasyon banyosunda renkleri siyah veya yeşil oluncaya kadar sürekli karıştırılarak bekletildi.

Elde edilen kompozit kumaş öncelikle 0.2 M HCl ve daha sonrada aynı hacimde destile edilmiş su ile yıkanarak polimerizasyon karışımından uzaklaştırıldı. Bu kumaşlar oda sıcaklığında ve 60% bağıl rutubette 24 saat bekletilerek kurutuldu.

III.3.1.2.Poliester kumaş üzerine 0,5 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu

50 ml anilin, yüzey aktif madde ve 300 ml 1M HCl çözeltisi buz banyosunun içerisinde 2-3 °C sıcaklık ve pH 0-1 arasında 30 dk manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra kumaşlar ilave edildi ve karıştırılmaya devam edildi. 1.5 saat sonra sonra kumaşlar üzerindeki anilinin polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için ayrı olarak 400ml 1M HCl içerisinde 182.4 g $(NH_4)_2S_2O_8$ çözündürülerek hazırlanıp kumaşında içinde bulunduğu çözeltiye damlatılarak ilave edildi. Kumaşlar polimerizasyon banyosunda renkleri siyah veya yesil oluncaya kadar sürekli karıştırılarak bekletildi.

Elde edilen kompozit yukarıdaki şartlarda yıkanarak kurutuldu.

III.3.1.3.Poliester kumaş üzerine 1,2 M PANInin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu

114 ml anilin, yüzey aktif madde ve 300 ml 1M HCl çözeltisi buz banyosunun içerisinde 2-3 °C sıcaklık ve pH 1-2 arasında 30 dk manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra kumaşlar ilave edildi ve karıştırılmaya devam edildi. 1.5 saat

sonra sonra kumaşlar üzerindeki anilinin polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için ayrı olarak 400ml 1M HCl içerisinde 182.4 g $(NH_4)_2S_2O_8$ çözündürülerek hazırlanıp kumaşında içinde bulunduğu çözeltiye damlatılarak ilave edildi. Kumaşlar polimerizasyon banyosunda renkleri siyah veya yeşil oluncaya kadar sürekli karıştırılarak bekletildi.

Elde edilen kompozit yukarıdaki şartlarda yıkanarak kurutuldu.

III.3.1.4.Poliamid kumaş üzerine 0,8 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu

76 ml anilin, yüzey aktif madde ve 300ml 1M HCl çözeltisi buz banyosunun içerisinde 2-3 °C sıcaklık ve pH 1-2 arasında 30 dk manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra kumaşlar ilave edildi ve karıştırılmaya devam edildi. 1.5 saat sonra sonra kumaşlar üzerindeki anilinin polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için ayrı olarak 400ml 1M HCl içerisinde 182.4 g $(NH_4)_2S_2O_8$ çözündürülerek hazırlanıp kumaşında içinde bulunduğu çözeltiye damlatılarak ilave edildi. Kumaşlar polimerizasyon banyosunda renkleri siyah veya yeşil oluncaya kadar sürekli karıştırılarak bekletildi.

Elde edilen kompozit yukarıdaki şartlarda yıkanarak kurutuldu.

III.3.1.5.Poliamid kumaş üzerine 0,5 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu

50 ml anilin, yüzey aktif madde ve 300ml 1M HCl çözeltisi buz banyosunun içerisinde 2-3 °C sıcaklık ve pH 0-1 arasında 30 dk manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra kumaşlar ilave edildi ve karıştırılmaya devam edildi. 1.5 saat sonra sonra kumaşlar üzerindeki anilinin polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için ayrı olarak 400ml 1M HCl içerisinde 182.4 g $(NH_4)_2S_2O_8$ çözündürülerek hazırlanıp kumaşında içinde bulunduğu çözeltiye damlatılarak ilave edildi. Kumaşlar polimerizasyon banyosunda renkleri siyah veya yeşil oluncaya kadar sürekli karıştırılarak bekletildi.

Elde edilen kompozit yukarıdaki şartlarda yıkanarak kurutuldu.

III.3.1.6.Poliamid kumaş üzerine 1,2 M PANI'nin 0,8 M APS Varlığında Polimerizasyonu

114 ml anilin, yüzey aktif madde ve 300ml 1M HCl çözeltisi buz banyosunun içerisinde 2-3 °C sıcaklık ve pH 1-2 arasında 30 dk manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Daha sonra kumaşlar ilave edildi ve karıştırılmaya devam edildi. 1.5 saat sonra sonra kumaşlar üzerindeki anilinin polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi için ayrı olarak 400ml 1M HCl içerisinde 182.4 g $(NH_4)_2S_2O_8$ çözündürülerek hazırlanıp kumaşında içinde bulunduğu çözeltiye damlatılarak ilave edildi. Kumaşlar polimerizasyon banyosunda renkleri siyah veya yeşil oluncaya kadar sürekli karıştırılarak bekletildi.

Elde edilen kompozit yukarıdaki şartlarda yıkanarak kurutuldu.

III.3.2.Elde Edilen Kompozit Kumaşlara Uygulanan Testler ve Yöntemleri

III.3.2.1. Mukavemet Testi

Elde edilen kompozit kumaşların muamele gördükleri anilin ve kimyasallardan sonra mukavemetlerinde iyi veya kötü herhangi bir değişimin olup olmadığının tesbiti için mukavemet testi yapılmıştır. Testte bilgisayar kontrollü *Instron 4411* model mukavemet cihazı kullanılmıştır. TS EN ISO 13934-1e göre test eni saçaklar hariç 50mm, uzunluğu 200 mm ve test hızı 100 mm/dakika olarak seçilmiştir.[89] Öngerilim değeri kumaşın gramajına göre 5kg olarak seçilmiştir. Şekilde Instron marka cihaz görülmektedir. % uzama değeri, uzama değerinin test uzunluğuna bölümünün %'sidir.



Şekil III.4 İnstron Marka 4411 Model Mukavemet Ölçüm Cihazı

III.3.2.2. Patlatma Mukavemeti Testi

Kompozit kumaşların patlatma mukavemeti testi TS 393 EN ISO 13938-1 numaralı Türk Standardı kapsamında T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığına bağlı KOSGEB Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi İkiteli Tekstil Kalite Kontrol Laboratuvarında yapılmıştır.

Test işleminden önce kumaş numuneleri %65±2 Nispi Nem ve 20±2 ºC sıcaklıkta 24 saat kondüsyonlanmıştır.

Patlatma mukavemeti testi kumaşların mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu test işleminde belirli bir alan üzerinde yer alan kumaşa cihazın alt tarafından basınçlı hava gönderilmektedir. Diyafram üzerinde yer alan kumaş bu basınçlı hava yardımıyla şişirilmektedir ve kumaş patlatılmaktadır. Sonuçta bu test, kumaşı oluşturan ipliklerin veya liflerin belirli bir süre içerisinde (18-40 saniye) patlatılması esasına dayanmaktadır. Kumaşların patlatma mukavemet değerleri (Kpa) basınç biriminde, süre (saniye) biriminde verilmektedir.

Kumaşların patlatma mukavemeti testinde SDL-Atlas firmasının test cihazları kullanılmıştır. Örme kumaşlara 80mm çaplı numune 20±5 sn hız ile test yapılmıştır. Patlama anındaki basınç ve deney süresi kaydedilmiştir.



Şekil III.5 Autoburst Digital SDL-Atlas Patlatma Mukavemeti Test Cihazı

III.3.2.3. FTIR Analizi

FTIR analizi Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarlarında PERKIN ELMER Spectrum 100 ATR-FTIR model Spektrofotometre cihazında yapılmıştır. FTIR cihazında ışıma şiddeti zamanın fonksiyonu olarak ele alınarak, yapıdaki bağların durumu ve polimer ile yüzey arasında ki bağlanma yerleri incelenmiştir. FTIR iki veya daha fazla bileşenden oluşan kompozitlerin etkileşimini karakterize etmek için en önemli yoldur. FTIR analizi yapılırken numune üzerine basınç uygulanarak spektrumu alınmıştır.

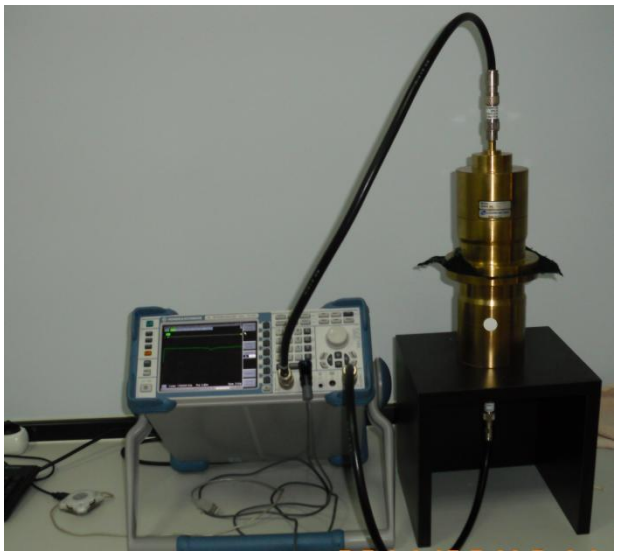


Şekil III.6 Perkin Elmer 100 ATR-FTIR cihazı

III.3.2.4. Elektromanyetik Dalgaları Kalkanlama Etkinliği Testi

Kumaşların elektromanyetik özelliklerinin tespiti Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tekstil Eğitimi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu testler RODHE & SCHWARZ ZVL- Network Analyzer ve numune tutucu olarak EM 2107A kullanılarak yapılmıştır. Bu cihazla elektromanyetik kalkanlama değeri absorbsiyon ve yansıma değerleri ile hesaplanmıştır. Test işleminden önce numuneler %65±2 Nispi Nem ve 20±2 ºC sıcaklıkta 24 saat kondüsyonlanmıştır.



Şekil III.7 RODHE & SCHWARZ ZVL- Network Analyzer Cihazı

Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ASTM D 4935-10 standartına göre 15-3000 MHz frekans aralığında ölçülmüştür.[90] Ölçüm yapılırken referans numunesi kullanılarak kalınlık tesbit edilmiş elde edilen sonuçlar referans numunesi çıkarılarak hesaplanmıştır.



Şekil III.8 Ölçüm numunesi ve referans numunesi

Farklı frekans aralıklarında yapılan testlerde elde edilen EMSE değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EMSE\ (dB) = 10 \log_{10} (P_{out} / P_{in}) \qquad (III.2)$$

Burada, desibel (dB), güç oranının birimidir. Kalkanlama etkililiğinde genellikle belirtilen; P_{out} çıkış gücü (watt) ve P_{in} giriş gücü (watt)'tır.

Volt olarak elde edilen sonuçlar için ise; $SE(dB)=20 \log (V_{out}/ V_{in})$ (III.3)

V_{out} çıkış voltu ve V_{in} giriş voltudur.

Geçirgenlik değeri $T= 10^{(-SE/10)}$ denklemi, yansıtma değeri denklem (II.75a) ve son olarak absorbsiyon değeri ise denklem (II.76a) kullanılarak hesaplanmıştır.

III.3.2.5. İletkinlik Testi

Kompozitlerin iletkenliğini belirleyebilmek için yüzey özdirençleri ölçülmüş, direnç ve iletkenlik ters oratılı olduğu için; özdirenç hesaplanarak kompozitlerin iletkenlikleri belirlenmiştir. Yüzey özdirenci ölçümü için Marmara Üniverstitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Labratuvarındaki Keithley 8009 Resistivity Test Fixture cihazı kullanılarak ölçümler ASTM D 257 standartına göre yapılmıştır.[91]



Şekil III.9 Keithley 8009 Resistivity Test Fixture cihazı

Ölçümler için test kutusu içerisine numune yerleştirilmiştir. İki elektrodla ölçüm yapan bu cihazda 6-10 lbs basınç altında 20mA akım ve 0,7 V ve 0,6 V gerilim altında numune direnci (R) ölçülmüş daha sonra yüzey özdirenci aşağıdaki denklemden

$$\chi = \frac{2\pi r_0}{r_1 - r_0} \times R \qquad \text{(III.4)}$$

ve $\frac{2\pi r_0}{r_1 - r_0}$ =53,4 eşitliğinden yararlanılarak(bu eşitlik cihazın özelliklerine göre verilen(r_0 çaplı) merkez elektrod ve ($r_1$çaplı) dış bilezik elektrod ölçülerine göre hesaplanmıştır) ohm/sq olarak hesaplanmıştır.

III.3.2.6. Yıkama Testi

Elde edilen kompozitlerin tekrarlı yıkamalar sonucunda iletkenlik ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin nasıl değiştiğinin incelenmesi için; literatürde yapılan çalışmalarda bazik deterjanların ve musluk suyunun iletken polimer kaplamaları deprotonasyona uğratarak elektriksel iletkenlik özelliklerini kaybetmelerine sebep olduklarının belirtilmesi yüzünden, kompozitler 40°C de 30 dk naniyonik deterjan ve destile su çözeltisinde pH 6 da manyetik karıştırıcıyla karıştırılarak yıkanıp[92-94] daha sonra 24 saat oda sıcaklığında kurutulmuştur.

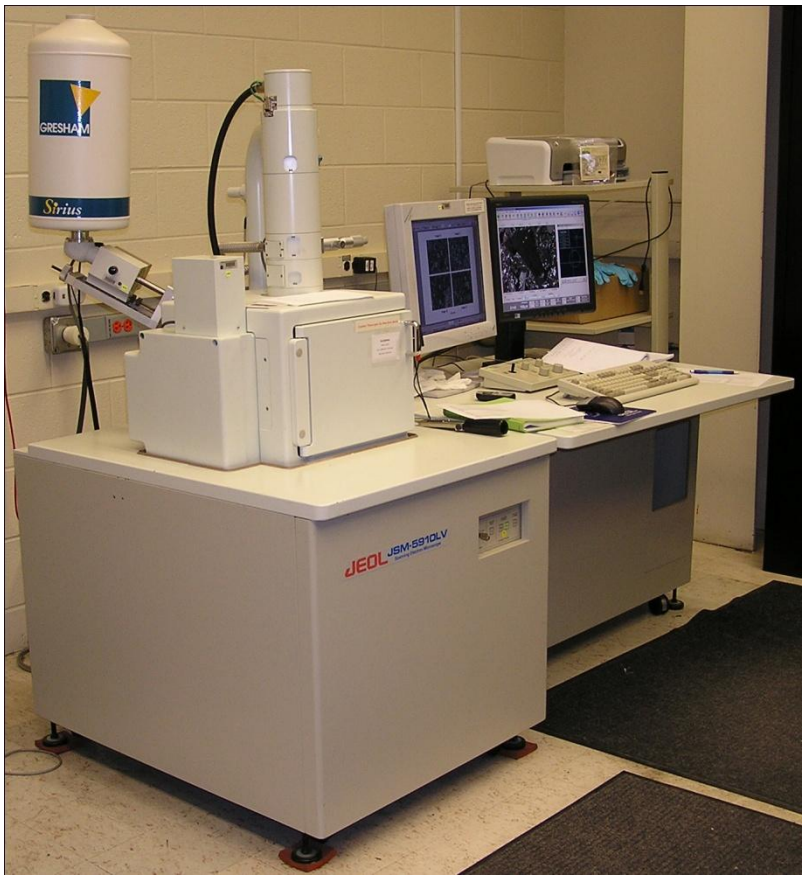
III.3.2.7. SEM Analizi

SEM analizi Marmara Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde, JEOL Ltd., JSM-5910LV elektron mikroskobunda yapılmıştır. Elektron mikroskobunda numuneden görüntü alabilmek için numune öncelikle altınla kaplanmıştır. Numuneler çift yönlü karbon bant üzerine yapıştırılarak 2 mA akımda, 4 dakika, 5-6 nanometre kalınlığında altın ile kaplanmıştır. Altın kaplama cihazı (Polaron Range Sputter Coater-SC7620) şekil III. 10'da görülmektedir.



Şekil III. 10 Polaron Range Sputter Coater-SC7620 (altın kaplama cihazı).

Daha sonra kaplanan numuneler elektron mikroskobuna yerleştirilip büyütülmüş görüntüleri bigisayar ekranında görüntülenerek incelenmiştir.



Şekil III. 11 SEM, JEOL Ltd., JSM-5910LV.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

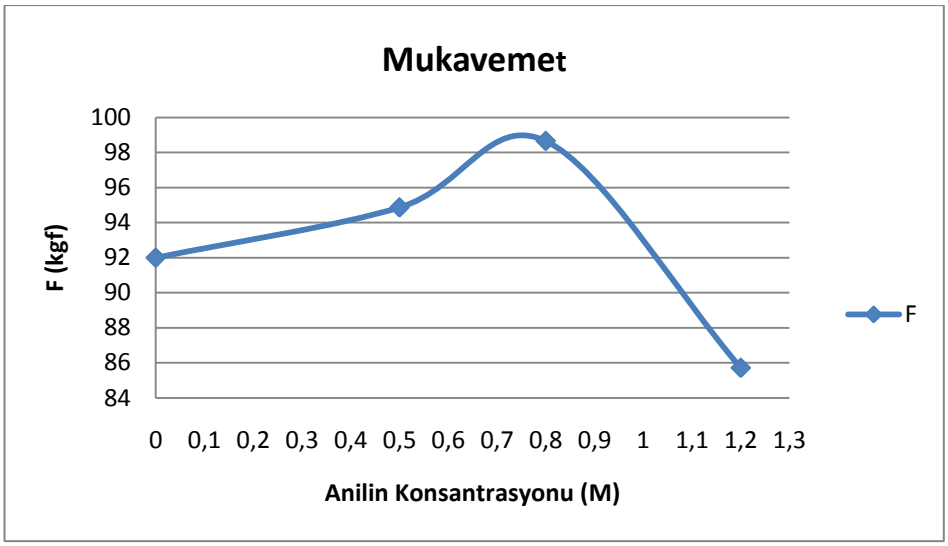
Bu bölümde polianilinin kimyasal polimerizasyonuyla oluşturulan kompozit kumaşlar üzerine standart atmosfer şartlarında (% 65 ± 2 nispi nem ve 20 ± 2 ºC sıcaklıkta) yapılmış olan testlerin sonuçları ve bu sonuçlara göre kompozitlerin fiziksel, mekanik, elektriksel ve elektromanyetik özellikleri tartışılmak üzere anlatılmaktadır.

IV.1. MUKAVEMET TESTLERİNİN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Aşağıdaki tabloda polimerizasyon sonrasında elde edilen kompozitlerin mukavemet ve uzama değerleri ham poliester kumaşın değerleriyle birlikte verilmiştir.

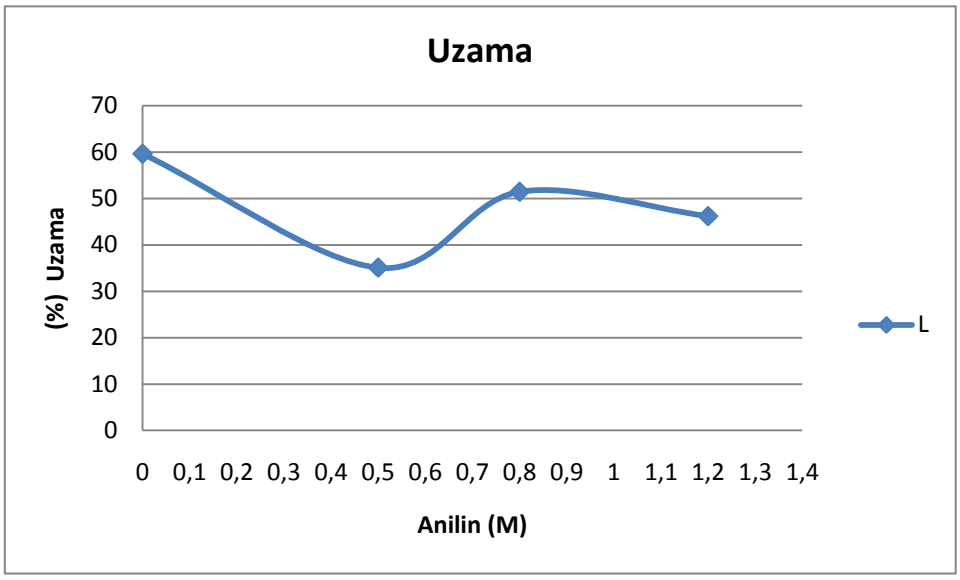
Tablo IV.1 Mukavemet ve Kopma Uzaması Değerleri

Konsantrasyon	Mukavemet (kgf)	Uzama %
İşlem Görmemiş Kumaş	92	59,66
0,5 M	94,87	35,06
0,8M	98,66	51,44
1,2 M	85,72	46,18



Şekil IV.1 İşlem görmemiş (%) PES kumaş (0) ve 0,5-0,8-1,2 M (Mol/Litre) Anilin polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların mukavemet değerleri

Şekil IV.1 ’de üç farklı konsantrasyondaki kompozit kumaşların mukavemet değerlerinin birbirleriyle ve işlem görmemiş dokuma kumaşla karşılaştırılması görülmektedir. Mukavemet değerleri incelendiğinde; ham kumaşa göre polimerizasyon sonrasında 0,5 M konsantrasyonda mukavemetin arttığı 0,8 M’da mukavemet değerinin en yüksek olduğu 1,2 M’da ise ham halden bile daha düşük bir mukavemet değeri görülmektedir. Mukavemetin iletkenlik ve elektromanyetik kalkanlama değerleriyle doğru orantılı olarak arttığıda göz önüne alındığında; polimerizasyon sonucu iletken polimerin kompozitin mukavemetini, aromatik PES yapısına PANI’nin aromatik benzenoid yada kinoid halkasının eklenmesi ve oluşan karbonil amin bağları etkileşimi sayesinde arttırdığı söylenebilir. Fakat 1,2 M konsantrasyonunda mukavemetin azalmasının sebebi; yüksek monomer derişiminden dolayı polimerizasyon ortamında reaksiyona girmeden kalan APS ve anilin moleküllerinin etkileşerek çok sayıda monomerik aktif merkez oluşturması, bunlardanda çözülebilir oligomerik yapıların oluşması ve bunun sonucunda kumaşa bağlanan PANI veriminin düşmesi ile, yapıdaki mukavemete etki eden bağların miktarınında düşmesi olabilir.



Şekil IV.2 İşlem görmemiş (%) PES kumaş 0 ve 0,5-0,8-1,2 M Anilin polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların uzama değerleri

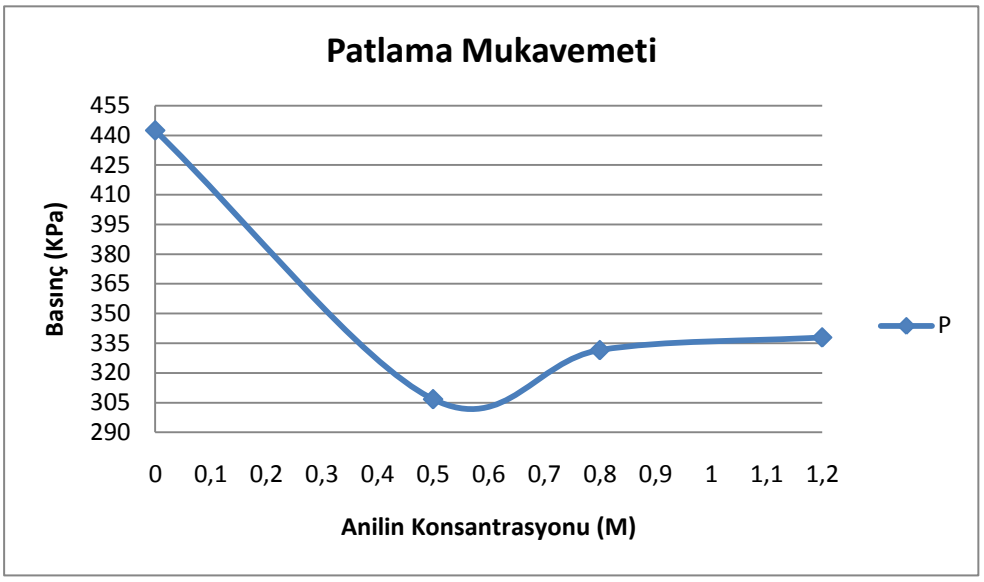
Şekil IV.2 'de kompozitlerin uzama değerlerinin birbirleriyle ve ham kumaşla karşılaştırılması görülmektedir. Uzama değerlerine bakıldığında ham kumaşa göre uzama değerlerinin düştüğü ve 0,5 M'de en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kumaşın kaplanması sonucu daha rijit bir hal alması ya da oluşan yeni bağlar sonucunda esnekliğini kaybetmesi olabilir.

IV.2. PATLATMA MUKAVEMET TESTLERİNİN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Aşağıdaki tablo ve grafikte üç farklı konsantrasyonda ki kompozit kumaşların mukavemet değerlerinin birbirleriyle ve işlem görmemiş örme kumaşla karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo IV.2 Patlama Basıncı ve Patlama Süresi Değerleri

Konsantrasyon	Basınç (KPa)	Süre (sn)
İşlem Görmemiş Kumaş	442,5	32,1
0,5 M	306,7	11,8
0,8M	331,5	20,5
1,2 M	337,9	18,4



Şekil IV.3 İşlem görmemiş (%) PA kumaş (0) ve 0,5-0,8-1,2 M (Mol/Litre) Anilin polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların patlama mukavemet değerleri

Mukavemet değerleri incelendiğinde; ham kumaşa göre polimerizasyon sonrasında 0,5 M konsantrasyonda mukavemetin çok sert bir düşüşle azaldığı 0,8 M'da mukavemet değerinin yükseldiği ve 1,2 M'da ham kumaştan daha düşük olmasına rağmen en yüksek mukavemet değerinin elde edildiği görülmektedir. Mukavemetin 0,5 M da azalıp konsantrasyon miktarına bağlı olarak artış göstermesi PANI/PA kompoziteri için anilin oksidant oranına bağlı olarak ortamdaki fazla yükseltgen sebebiyle iletken polimer elde edilmesine rağmen; kısa yada düşük konjugasyona sahip zincir oluşumu olabilir. Genel olarak mukavemetin düşmesi ise; poliamide bağlanan iletken PANI'nin poliamidin iç yapısında oluşturduğu değişikliklerin mukavemeti zayıflatması olabilir. Zaten patlama zamanlarının da dramatik bir şekilde düşmesi yapının zayıfladığının göstergesidir.

IV.3. FITR ANALİZİ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Poliesterde ki 2932 cm^{-1} ve 2853 cm^{-1} deki karakteristik pikler yapıdaki C-H bağlarından kaynaklanmaktadır. Bu piklerin müthiş şekilde zayıflayıp düşmesi kompozitte PANI ve PES etkileşiminin ve PANI'nin emeraldine tuzunun oluşmasının göstergesidir.

PES'te gözlemlenen 1712cm^{-1} deki pik C=O gruplarından kaynaklanmaktadır. Kompozitlerde bu piklerin zayıflayıp genişlemesinin sebebi PANI den gelen amin ile karbonil fonksiyonel gruplarının etkileşiminden (C=N) ve yine anilinden gelen 1,4 kinoid, keton esnemesinden kaynaklanmaktadır. 0,8M konsantrasyonda 0,5 M'e göre

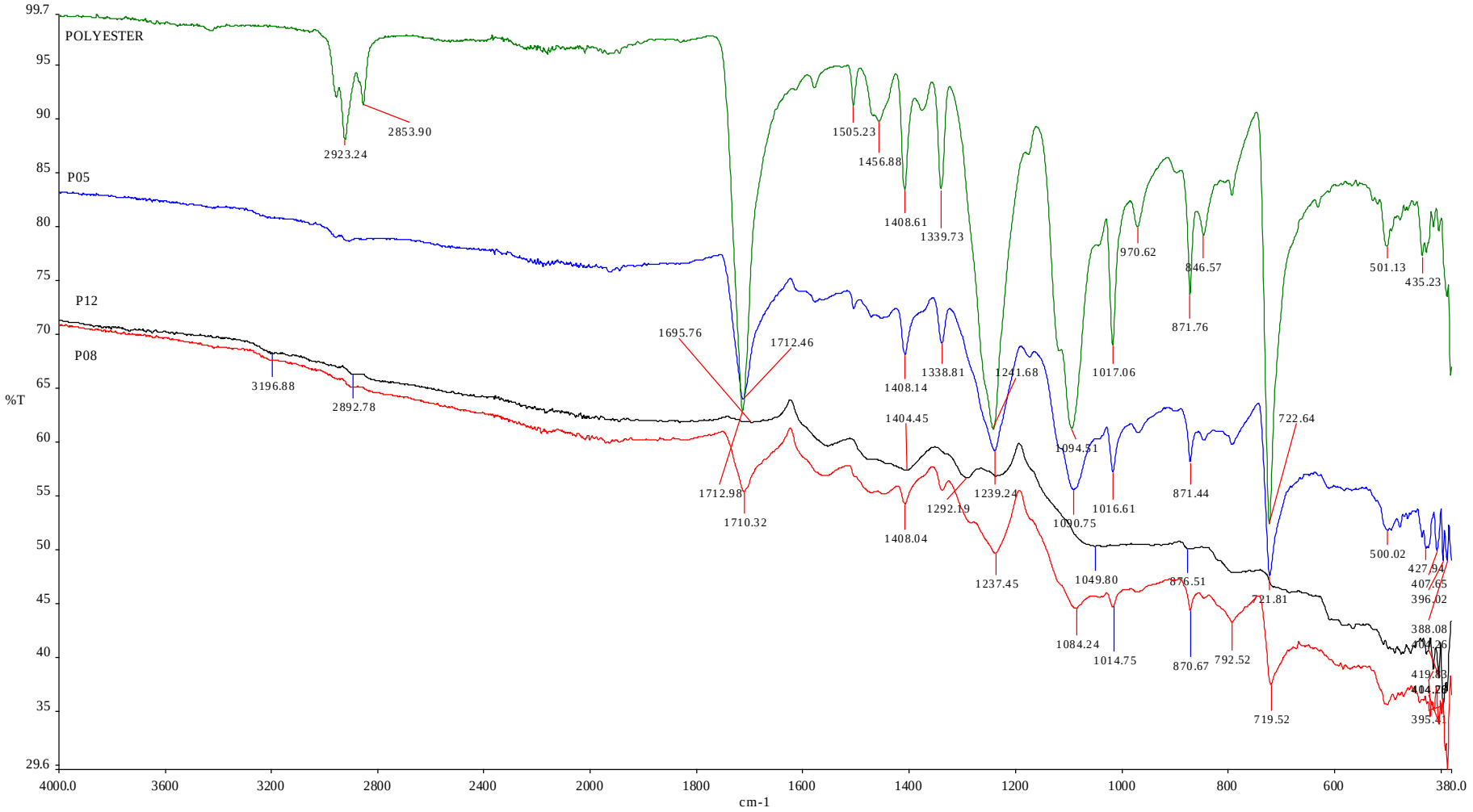
daha geniş bir pik oluşmasının ve 1710 cm^{-1} kaymasının sebebi hem bağın artması hemde doplamanın daha fazla olması olabilir. Bu pikler bize iletken PANI oluşumunuda göstermektedir. 1,2M konsantrasyonunda ise pikin tamamen zayıflamış olamasına rağmen 1650 cm^{-1}'lere kayması PANI PES etkileşiminin çok iyi olmasına karşın kinoid oluşumunun engellenemediği sonucunu çıkarmamızı sağlayabilir. Bunun sonucunda da iletkenliği düşük polimerin oluştuğu sonucuna varılabilir. Çünkü fazla kinoid oluşumu iletkenliği düşürmektedir.[84]

1550-1570 cm^{-1} arasındaki pikler anilinin karakteristik benzenoid (C-N) ve yarı kinoid (C=N) halkalarından kaynaklanan piklerdir. Bu pikler literatürdeki karakteristik PANI polimeri pikleriyle de uyum göstermektedirler. 1500-1580^{-1} cm bölgesi iletken polianilini karakterize eden bölgedir.[93] Ayrıca bu piklerden 0,8M konsantrasyonunun pikinin geniş ve daha düşük frekansta olmasının sebebi doplama sonrasında pozitif yüklerin delokalize olması ve elektron bulutlarının yoğunluğunun düşmesi yada yeniden düzenlenmesi olabilir. Bu kompozitin doplama miktarının dolayısıyla iletkenliğinin daha fazla olmasının sebebide bu olabilir.

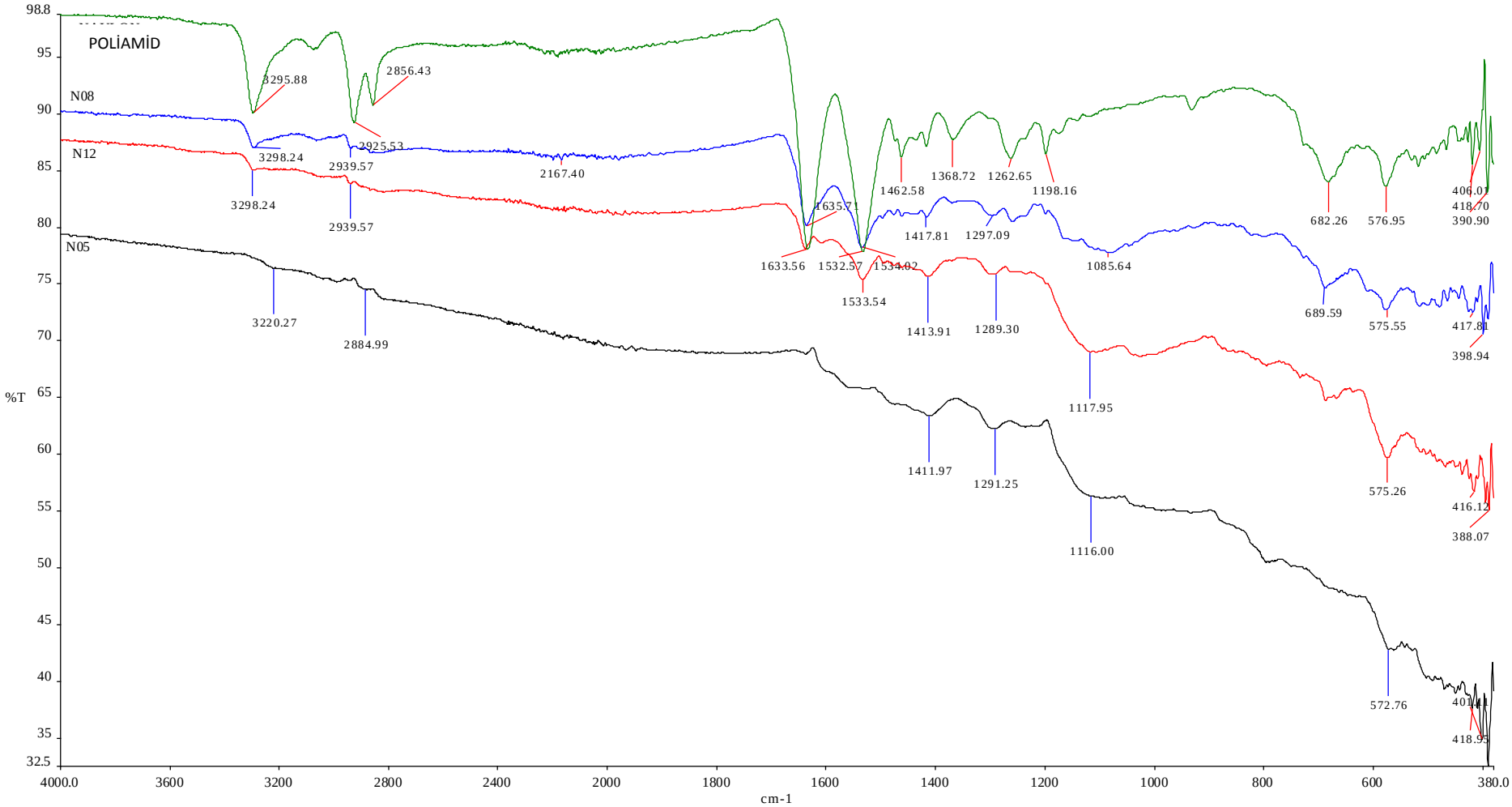
1600-1500 cm^{-1} arasındaki pikler PES ve PANI nin aromatik yapısından kaynaklanmıştır.

1290ve 1291 cm^{-1} de oluşan pikler ise anilinden gelen C-N titreşimlerindendir. Bu pikin şiddeti 1,2M konsantrasyonunda en fazla iken 0.5M'da yok denecek kadar azdır. 790 cm^{-1}'deki pikler PANI'deki 1,4 disubstitue benzenoid halkasının deformasyon titreşimi yüzündendir.

Aşağıdaki Şekil IV.4.'te PANI/PES kompoziti için ve Şekil IV.5.'te PANI/PA kompoziti için FTIR analizi sonuçları görülmektedir.



Şekil IV.4 İşlem görmemiş (%) PES kumaş ve (P05)0,5M- (P08) 0,8M-(P12)1,2 M Anilinin poliester kumaşa polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların FTIR değerleri



Şekil IV.5 İşlem görmemiş (%) PA kumaş ve (N05)0,5M- (N08) 0,8M-(N12)1,2 M Anilinin poliamid kumaşa polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların FTIR değerleri

Poliamiddeki 3295 cm^{-1}'deki karakteristik pik N-H gerilmelerine tekabül etmektedir. Bu piklerin özellikle 0,5 M konsantrasyonun da olmak üzere müthiş şekilde zayıflayıp düşmesi PANI den gelen N-H gerilmeleriyle PA ve PANI'nın amino grupları arasındaki kuvvetli hidrojen bağlarına işaret etmekte ve kompozitlerde PANI ve PA etkileşimine ilaveten PANI'nin polimerizasyonunun göstergesi olmaktadır. Ayrıca bu konsantrasyonda pikin daha düşük bir dalga boyuna kaymasıda doplama sonrası daha fazla pozitif yük delokalizasyonu sonucunda elektriksel yükün geçişinin kolaylaşmasıdır. Buda direnci azaltıp iletkenliği arttıran bir faktördür.

2858 cm^{-1}'deki karakteristik pikler yapıdaki C-H asimetrik ve simetrik titreşimlere tekabül eder. Kompozitlerde bu piklerin genişleyip zayıflamasıda anilinden gelen aromatik C-H gerilimlerine bağlıdır.

PA'te gözlemlenen 1633 cm^{-1}'deki pik amid piki ile C=O bandından kaynaklanmaktadır. Kompozitlerde bu piklerin zayıflayıp genişlemesinin sebebi PANI'den gelen amin ile PA karbonil fonksiyonel gruplarının etkileşiminden(C=N) ve yine anilinden gelen 1,4 kinoid keton esnemesinden kaynaklanmaktadır. 0,5M konsantrasyonunda daha geniş bir pik oluşmasının sebebi hem bağın artması hemde doplamanın daha fazla olması olabilir. 1560-1580 cm^{-1} arasında 1,2M ve 0,5M deki pikler anilinin karakteristik benzenoid ve yarı kinoid halkalarından kaynaklanan C=C germe titreşimlerine tekabül eden piklerdir. Bu piklerin yapıda görülmesi poliamidden gelen C-N titreşimleriyle anilinin C=C germe titreşimlerinin etkileşiminin dolayısıyla anilinin polimerizasyonunun ve PA anilin etkileşiminin göstergesidir. Bu pikler karakteristik PANI polimeri pikleriyle de uyum göstermektedirler. 0,8M'de bu pikin olmamasının sebebi yüzey direnci yüksek bir polimerin elde edilmiş olması olabilir. Ayrıca bu piklerden 0,5M konsantrasyonunun pikinin geniş ve daha düşük frekansta olmasının sebebi yukarıdada bahsettiğimiz gibi doplama sonrasında pozitif yüklerin delokalize olması ve elektron bulutlarının yoğunluğunun düşmesi ya da yeniden düzenlenmesi olabilir. 0,5M konsantrasyonunda oluşturulan kompozitin doplama miktarının dolayısıyla iletkenliğinin daha fazla olmasının sebebide bu olabilir. 1420 cm^{-1} civarındaki pikler PANI nin benzenoid halkasındaki C=C gerilme titreşimlerinden kaynaklanmıştır.

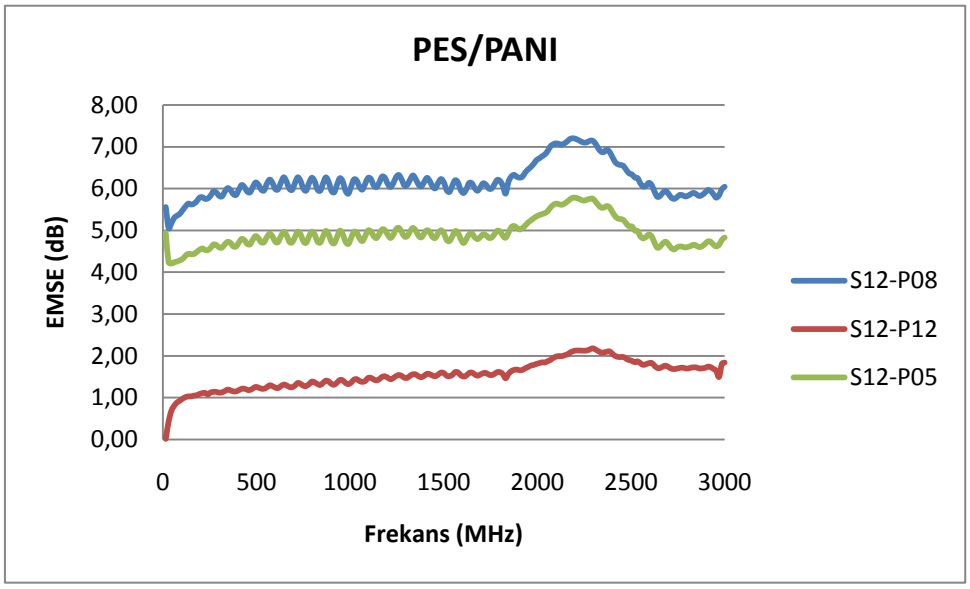
1290, 1291 ve 1297 cm^{-1} oluşan pikler ise anilinden gelen C-N titreşimlerindendir. Bu pikin şiddeti her üç konsantrasyon içinde hemen hemen aynıdır. Kompozitlerde 1116 cm^{-1} civarında oluşan pikler PANI'nin daha düşük

dalga boylarına tekabül eden N=Q=N (Q kinoid halkası) eğilme titreşimlerine delalet etmektedir. 0,5 M ve 1,2M de görülen 1050 cm^{-1}'deki pikler aromatik C-H düz eğilmelerine bağlı olabilir. 790 cm^{-1} deki pikler PANI'deki 1,4 disubstitue benzenoidoid halkanın deformasyon titreşimi yüzündendir.

IV.4. ELEKTROMANYETİK DALGALARI KALKANLAMA ETKİNLİĞİ TESTLERİNİN SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

IV.4.1.EMSE Sonuçları ve Karşılaştırılması

Şekilde PES kompozit kumaşların diğer tüm faktörler sabit tutularak (APS, HCl, Sıcaklık, pH ve süre) üç farklı anilin konsantrasyonunda gösterdikleri kalkanlama davranışları birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

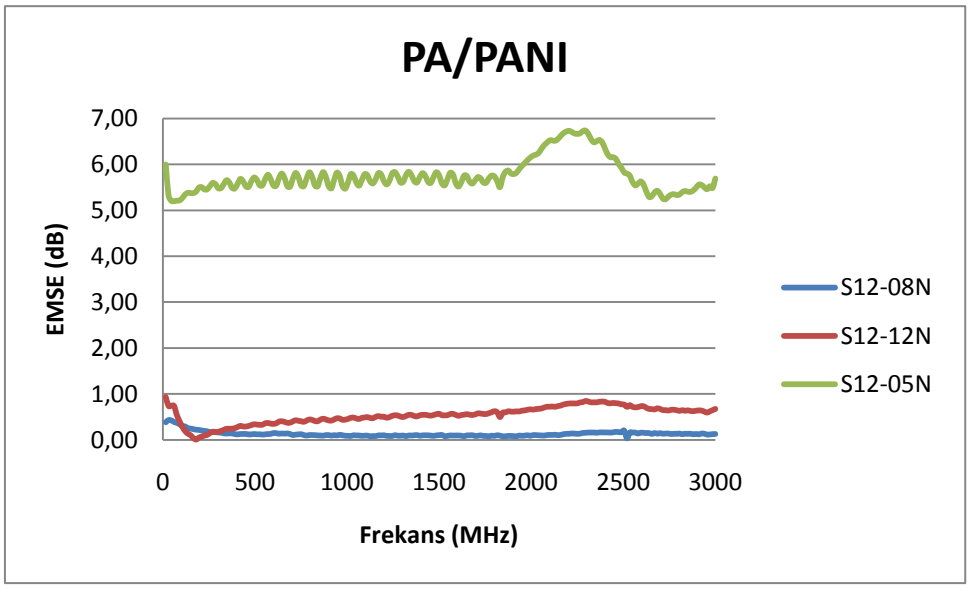


Şekil IV.6 PANI/PES kompozit kumaşlarının (P05-P08-P12) 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki 15- 3000 MHz frekans aralığında kalkanlama değerleri

Grafiğe bakıldığı zaman anilin konsantrasyonu arttıkça kalkanlama değerinin doğru orantılı olarak artmadığı dikkat çekici bir şekilde görülmektedir. Konsantrasyon arttıkça artma eğilimi gösteren değerler belirli bir noktadan sonra düşmeye başlamıştır. 0,5 M anilin konsantrasyonunda 5,70 dB olarak ölçülen kalkanlama değeri, 0,8 M anilin konsantrasyonunda en yüksek kalkanlama değeri olan 7,20 dB olarak elde edilmiştir. En az kalkanlama ise 2,18 dB ile 1,2 M anilin konsantrasyonunda ölçülmüştür. Bunun sebebi FTIR analizindede bahsettiğimiz gibi iletkenliği engelleyen kinoid halkalarının oluşması sonucunda iletkenliği düşük polimerin elde edilmesi ile birlikte, polimerizasyon sırasında oluşan oligomerler yüzünden kumaş üzerinde polimerizasyonun yeterince olmaması sonucunda

kaplanan PANI veriminin düşmesidir. Her üç konsantrasyon için 0-1900 MHz aralığında tamamen lineer değerler olmamakla beraber düzgün dağılım gösteren kalkanlama değerleri elde edilmiştir. 1900- 2700 MHz arasında kalkanlama değeri önce artmış ve en yüksek değerler her üç konsantrasyonda da yaklaşık olarak 2100-2200 MHz aralığında ölçülmüştür. 2700-3000 MHz aralığında daha önceki frekanslarda da gözlemlenen düzgün dağılım gösteren değerler elde edilmiştir. Grafiktede görüldüğü üzere kalkanlama değerleri farklı olmakla beraber her üç kompozitinde belirli frekans aralıklarında gösterdikleri davranışlar bire bir benzer ve eğrileri bire bir uyumludur. Ayrıca elde edilen değerler 0,5 M ve 0,8 M konsantrasyonlarındaki kompozitler için yakın çıkmıştır.

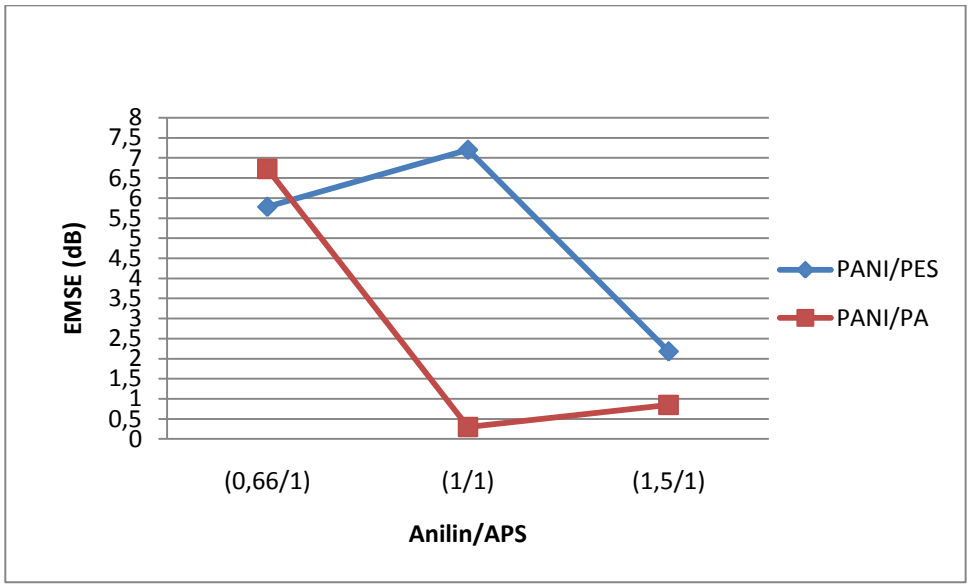
Aşağıdaki şekilde ise PA kompozit kumaşların diğer tüm faktörler sabit tutularak (APS, HCl, Sıcaklık, pH ve süre) üç farklı anilin konsantrasyonunda gösterdikleri kalkanlama davranışları birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil IV.7 PANI/PA kompozit kumaşlarının (05N-08N-12N) 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki 15- 3000 MHz frekans aralığında kalkanlama değerleri

Grafiğe bakıldığı zaman en yüksek kalkanlama değerinin en düşük konsantrasyonda elde edildiği ve konsantrasyon arttıkça önce azalan kalkanlama değerinin daha sonra tekrar bir miktar arttığı görülmektedir. Ayrıca konsantrasyonlara göre kalkanlama değerleri incelendiğinde aralarındaki geniş farkta açıkça görülmektedir. En yüksek kalkanlama değeri 0,5 M anilin konsantrasyonunda 6,74 dB olarak öçülmüştür. En az kalkanlama ise 0,3 dB ile 0,8 M anilin konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bu davranış PES kompozitine göre tamamen farklı karakterdedir. 0,8M'de kalkanlamanın bu kadar düşük çıkmasının sebebi FTIR

analizinde de bahsettiğmiz karakteristik iletken PANI pikinin kompozitte görülememesi olabilir. 1,2 M konsantrasyonunda ise kalkanlama değeri bir miktar artarak 0,85 dB olarak ölçülmüştür. 0,5 M ve 1,2 M anilin konsantrasyonunun eğrisi PES kompozitlerinin eğrisiyle uyumlu olarak 0- 1900 MHz arasında lineer olmamakla beraber düzgün dağılım gösteren değerler göstermiştir. 1900-2700 MHz arasında önce yükselen değerlerle; en yüksek kalkanlama değeri 2200-2300 MHz arasında en yüksek noktaya ulaştıktan sonra düşerek, 2700-3000 MHz aralığında tekrar düzgün dağılım gösteren değerler elde edilmiştir. Ayrıca 1,2 M konsantrasyonda elde edilen eğri diğer eğrilerden de farklı bir karakter göstererek tüm frekanslarda düzgün dağılım gösteren lineere yakın değerler vermiştir.



Şekil IV.8 PA/ PANI ve PANI/PES kompozit kumaşlarının Anilin/APS oranlarına göre kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması

Anilin/APS oranına göre kalkanlama değerleri karşılaştırıldığında ön denemeler sonucunda 2,5/1 ve 1/2,5 değerlerinde kalkanlama hem poliester hemde poliamid için 0 çıktığı için; poliester için öncelikle artan 1/1 oranından sonra ise tekrar azalarak 0 değerinin elde edildiği bir değerler grafiği oluşmuştur. Bu bilgiler ışığında poliester için en iyi Anilin/ APS oranının 1/1 olduğu ve en iyi konsantrasyonunda 0,8 M olduğu görülmüştür. Artan monomer konsantrasyonuyla beraber Anilin/APS oranı düştüğü için polimerizasyon ortamında reaksiyona girmeden kalan APS ve anilin molekülleri etkileşerek çok sayıda monomerik aktif merkez oluşturmaktadır. Bunun sonucunda çözeltide oluşan oligomerik yapılar ve düzensiz yerleşen polimerler yüzünden yüzeydeki polianilin miktarı azaldığı için de kalkanlama azalmıştır. Buna karşın azalan monomer miktarıyla birlikte APS oranı

çok fazla arttıkça da kalkanlamanın azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise; fazla yükseltgenme sonucunda aşırı radikal katyon oluşumu ve kısa yada düşük konjugasyona sahip zincir oluşumu nedeniyle iletkenliğin azalmasıdır.

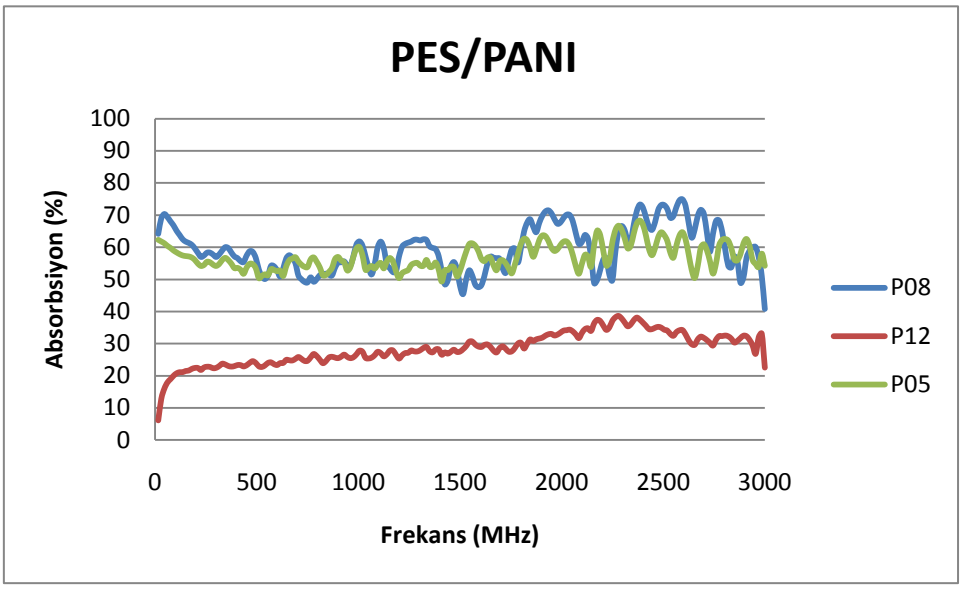
Poliamid kompozitinde ise en iyi kalkanlama değeri 0,5 M da 0,66/1 Anilin/APS oranında ölçülmüştür. 1/1 oranında (0,8 M) da sert bir düşüşle kalkanlama 0,3 dB'e kadar inmiştir. Daha sonra 1,2 M konsantrasyonunda tekrar 0,85 dB çıkmıştır. Bu davranışıyla poliester kompozitinden farklı bir grafik oluşturmuştur. Poliamid kompozitlerinde daha düşük konsantrasyonlarda daha iyi iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Çünkü çözeltideki anilin miktarı arttıkça anilin ile APS arasındaki faz ayrımı sebebiyle anilin jelleşmektedir. Yüksek viskoziteli anilinin kumaş yüzeyine difizyonu sağlanamamakta, APS ile birlikte çözeltide oligomerik yapılar oluşturmaktadır. Bu yüzeyin iletkenliğini düşürmektedir. Bu yüzden seyrek monomer konsantrasyonlu çözeltilerde kumaş yüzeyine iyi difüze olan anilin yüzeyde polimerize olduğu için oligomerik yapılar engellenerek iletken polimer oluşumu olmakta ayrıca kumaştaki polianilin mikatarının artmasıda iletkenliği dolayısıyla kalkanlamayı arttırmaktadır.

Bu grafikten PES kompozitinin kalkanlama değerlerinin PA kompozitine göre çok daha yüksek olduğuda görülmektedir. Bunun sebebi çalışılan konsantrasyonlarda ve anilin/oksidant oranlarında polianilinin poliester kumaş iç yapısına daha iyi işleyerek iletkenliği ve verimi yüksek polimer oluşturması olabilir. Ayrıca SEM görüntülerinde PES kompoziti yüzeyinde daha fazla polimerin tesbit edilmeside bu sonucu göstermektedir. En iyi kalkanlama poliesterde 0,8 M iken poliamidde 0,5 M dır. Ayrıca poliesterde konsantrasyonlar arasındaki kalkanlama farkı çok yüksek değerler değildir. Oysaki poliamidde 0,8 ve 1,2M de 0,5 M a göre çok düşük kalkanlama değerleri çıkmıştır.

Elektromanyetik kalkanlama sonuçlarının daha iyi analizi için absorbsiyon,yansıtma ve geçirgenlik değerlerinin ayrıca incelenmesine ihtiyaç vardır.

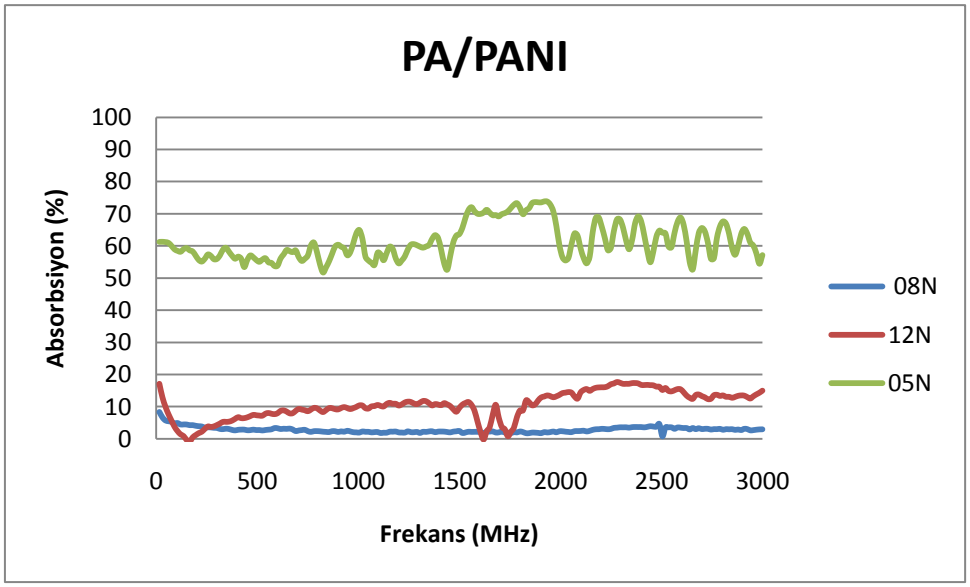
IV.4.2.Absorbsiyon Sonuçları ve Karşılaştırılması

Aşağıdaki grafikte PANI/PES kompozit kumaşının absorbsiyon değerleri üç farklı konsantrasyon için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil IV.9 PANI/PES kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki % Absorbsiyon değerleri

PES kompozitlerinin absorbsiyon değerlerini incelediğimizde yine en yüksek absorbsiyon değerinin %50 ve %73 değerleri arasında 0,8 M konsantrasyonda elde edildiği görülmektedir. 0,5 M konsantrasyonunda da %50-%65 değerleri arasında 0,8 M ile benzer bir grafik görülmektedir. 1,2 M konsantrasyonunda %20-40 arasında absorbsiyon değeri elde edilmiştir. Bu grafik diğerlerine göre lineere daha yakın bir dağılım göstermektedir. Her üç grafiktede 1700-2700 MHz aralığında absorbsiyon değerleri artmıştır. Bu sonuçlara göre elde edilen kompozitlerden 0,5M ve 0,8 M konsantrasyonlarının absorbsiyon değerleri gayet iyidir.



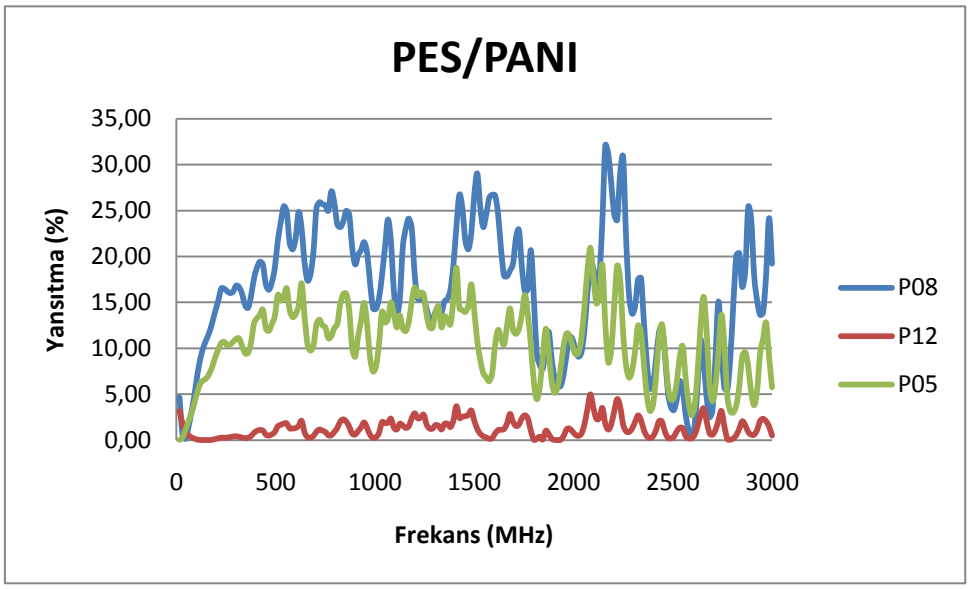
Şekil IV.10 PA/ PANI kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki % Absorbsiyon değerleri

Yukarıdaki grafikte verilen PA kompozitlerinin absorbsiyon değerlerini incelediğimizde en yüksek absorbsiyon değerinin %50 ve %74 değerleri arasında 0,5 M konsantrasyonda elde edildiği görülmektedir. Bu değer PES kompozitinin 0,8M konsantrasyondaki değerine yakındır. Yalnız PA kompozitinin değerleri lineer olmamakla beraber daha düzgün dağılımlıdır. Ayrıca değerlerin yükseldiği frekans 1500-2000 MHz civarıdır. 2000-3000MHz aralığındada stabil bir absorbsiyon eğrisi görülmektedir. 1,2 M konsantrasyonda ise %0-%20 değerleri arasında 2000-2500 MHZ'da en yüksek değerlerin elde edildiği çok fazla dalgalanmanın olmadığı lineere yakın bir grafik oluşmuştur. 0,8 M konsantrasyonunda %2-6 arasında absorbsiyon değeri elde edilmiştir. Bu grafik diğerlerine göre lineere daha yakın bir dağılım göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre PA kompozitinde yanlızca 0,5M'de absorbsiyon değerinin iyi olduğu diğer konsantrasyonlarda çok iyi değerlerin elde edilemediği görülmektedir.

Yukarıdaki iki grafikde görüldüğü üzere kalkanlama ve iletkenlik özellikleri arttıkça kompozitlerin absorbsiyon özellikleride artmaktadır. Çünkü iletken polimerler asitle muamele görmeleri sonucunda oluşan dipoller sayesinde elektromanyetik dalgayla etkileşerek onu absorbe edebilmektedirler. Kompozitlerin FTIR analizinde de absorbsiyon değerlerinin yüksek çıktığı 0,8 M ve 0,5 M PANI/PES kompozitleriyle 0,5 M PANI/PA kompozitlerinde, piklerin doplama yüzünden genişleyip daha düşük frekanslara kaymaları sonucunda dipollerin oluştuğu açıkca görülmüştür. Bu yüzden iletken polimer kompozitlerinin absorbsiyon özellikleri iyidir.

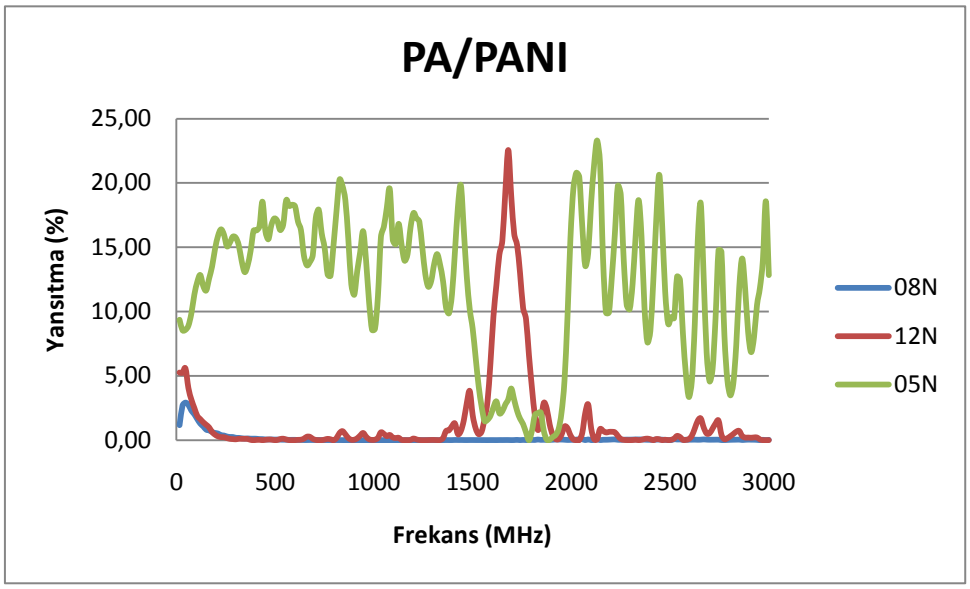
IV.4.2. Yansıtma Sonuçları ve Karşılaştırılması

Aşağıdaki şekilde PANI/PES kompozit kumaşının yansıtma değerleri konsantrasyonlara göre karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil IV.11 PANI/PES kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki % Yansıtma değerleri

PES kompozitlerinin yansıtma değerleri incelendiğinde yansıtma grafiğinin absorbsiyon grafiğinin tam tersi olduğu açıkça görülmektedir. Yansıtma için en yüksek değerler 0-1900 MHz aralığında elde edilirken en düşük değerler yaklaşık olarak 2500-2700MHz aralığında elde edilmiştir. Absorbsiyonun yüksek olduğu frekanslarda yansıtma değerleri düşmüştür. En yüksek yansıtma değeri 0,8M konsantrasyonda ortalama %15-30 arasındadır. 0,5M konsantrasyonda 0,8 M ile benzer bir eğri ve %5-20 arasında yansıtma değeri ölçülmüştür. Değerlerin azaldığı ve arttığı frekanslar hemen hemen aynıdır. 1,2 M konsantrasyonda ise yansıtma değeride düşük çıkarak %0-5 arasında elde edilmiştir. Görüldüğü üzere PES kompozitlerinin absorbsiyon değerleri yansıtma değerlerine göre çok daha yüksektir. Çünkü kalkanlama yaparken yansıtmaktan çok absorbe ederek dalgaların geçişini önlemektedirler. Bu iletken polimerlerin karakteristik yapısıyla uyumlu bir sonuçtur.

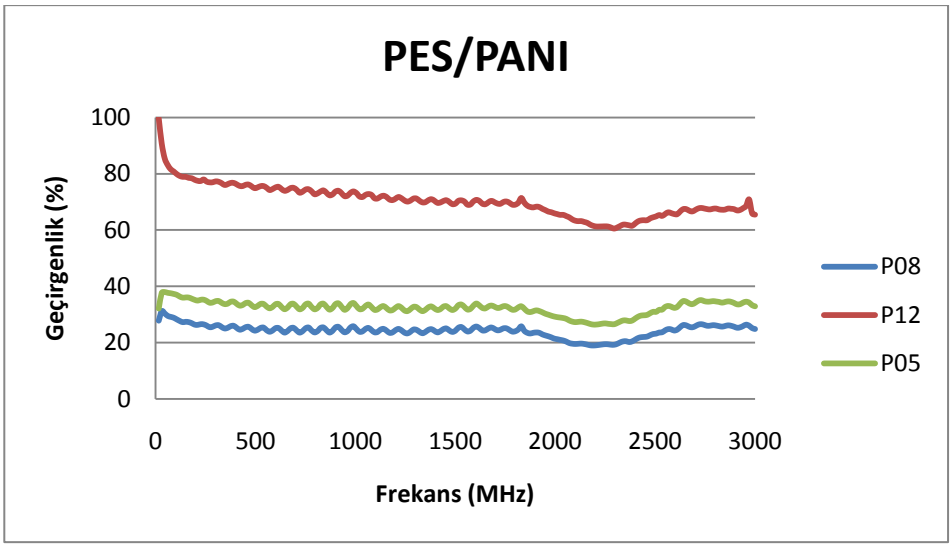


Şekil IV.12 PANI/PA kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki % Yansıtma değerleri

PA kompozitlerinin yansıtma değerleri incelendiğinde burada da yansıtma grafiği absorbsiyon grafiğinin tam tersidir. Yansıtma için en yüksek değerler 0-1500 ve 2000-2500 MHz aralığında elde edilirken en düşük değerler yaklaşık olarak 1500-2000 MHz aralığında elde edilmiştir. Zaten frekans arttıkça yansıtmanın azalması beklenen bir sonuçtur. En yüksek yansıtma değeri 0,5 M konsantrasyonda ortalama %10-23 arasındadır. 0,8M konsantrasyonda yansıtma değerleri neredeyse 0 dır. 1,2 M konsantrasyonda ise yansıtma değeri genelde %1-3 civarındayken 1500-2000MHz aralığında birden artarak %22 lere çıkmıştır. Poliamidde sadece 0,5M konsantrasyonda PES kompozitine benzer bir yansıtma değeri ölçülmüştür. PA kompozitlerinin yansıtma değerleri PES kompozitlere göre çok daha düşüktür. Bunun sebebide kalkanlama değerinin düşük olmasıdır.

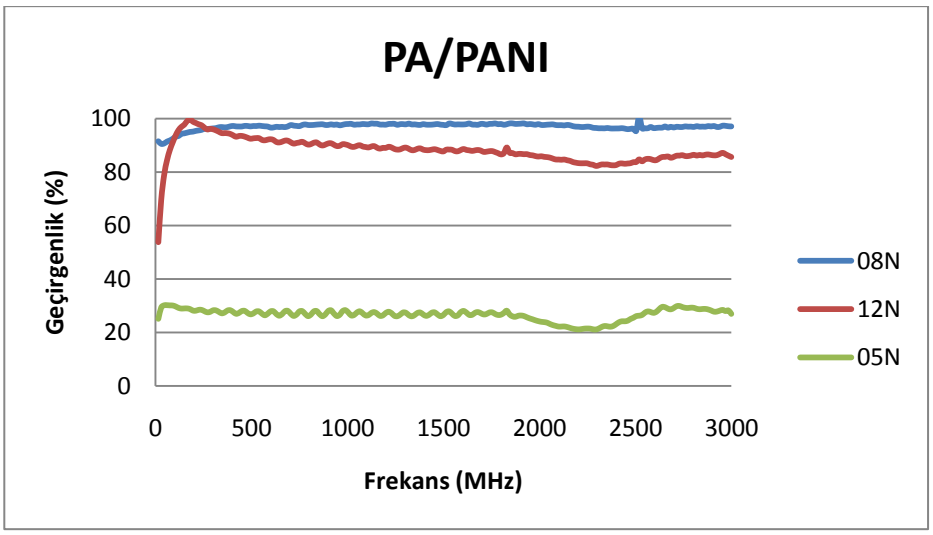
IV.4.2. Geçirgenlik Sonuçları ve Karşılaştırılması

Aşağıdaki grafikte PANI/PES kompozitlerinin geçirgenlik değerleri verilmiştir.



Şekil IV.13 PANI/PES kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki % Geçirgenlik değerleri

Yukarıdaki grafik incelendiğinde geçirgenlik grafiğinin EMSE grafiğinin tam tersi olduğu açıkca görülmektedir. Geçirgenlik azaldıkça kalkanlama etkinliği arttığı için 0,8 M da en düşük geçirgenlik değeri yaklaşık olarak % 19 civarında elde edilmiştir. Buna göre PES kompozitlerinde 0,8 M konsantrasyonda %81 kalkanlama etkinliği görülmektedir. 0,5 M de ise yaklaşık %24 geçirgenlik değeri ve buna göre %76 kalkanlama etkinliği elde edilmiştir. 1,2 M konsantrasyonda ise geçirgenlik çok fazladır. Zaten yukarıda da tartışıldığı üzere konsantrasyonun çok fazla artmasıyla kalkanlama azaldığı için geçirgenliğin artmış olması beklenmektedir. Bu konsantrasyonda %61 geçirgenlik ve %39 kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Bu durumda materyalin kalkanlaması çok zayıftır.



Şekil IV.14 PANI/PA kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki % Geçirgenlik değerleri

Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere PA kompozitlerinde ise 0,5M'de %21 geçirgenlik değeriyle %79 kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Diğer konsantrasyonlarda ise; 1,2 M de %91 geçirgenlik ve %18 kalkanlama etkinliği ve 0,8 M %96 geçirgenlikle yalnızca %4 kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Bu iki konsnatrasyonunda kalkanlaması daha öncede belirttiğimiz üzere yok denecek kadar azdır. Bu yüzden gelen dalgaların tamamına yakınını geçirmektedirler.

IV.5. İLETKENLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

İletkenlik değerinin tesbiti için kompozitlerin yüzey özdirenci ölçülmüştür. Yüzey özdirenci arttıkça iletkenlik azalmaktadır buna göre yüzey özdirenci ile iletkenlik ters orantılıdır.

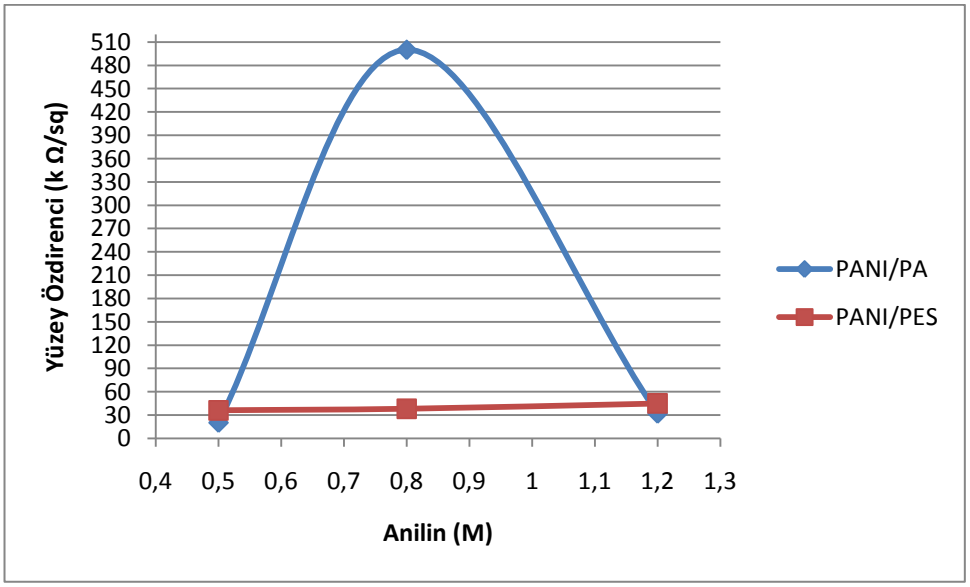
Tablo IV.3 Kompozitlerin farklı gerilimlerdeki yüzey özdirençleri (kΩ/sq)

	0,5N*	**0,8N***	**1,2N***	**0,5P***	**0,8P***	**1,2P***
0,6 V	20,7	500	32,8	35	37	46
0,7 V	20,3	500	32	36	38	45

*0,5N PA/ PANI 0.5M Konsantrasyon- 0,8N PA/ PANI 0.8M Konsantrasyon- 1,2 N PA/ PANI 1,2 M Konsantrasyon

*0,5P PES/ PANI 0,5M Konsantrasyon- 0,8P PES/ PANI 0,8M Konsantrasyon -1,2P PES/ PANI 1,2M Konsantrasyon

Aşağıdaki grafikte kompozitlerin yüzey özdirenci değerleri verilmektedir. Bu yüzden iletkenlik değerleri grafiği bu grafiğin tam tersi olacaktır. Elde edilen değerler 10^2-10^5 ohm/sq arasında olduğu için kompozitler iletkendir.



Şekil IV.15 PANI/PES ve PANI/PA kompozit kumaşlarının 0,5-0,8-1,2M Anilin konsantrasyonlarındaki yüzey özdirenci değerlerinin karşılaştırılması

Yukardaki grafikte görüldüğü üzere poliester anilin kompozitinde, 0,5 M konsantrasyonda en düşük yüzey özdirenci dolayısıyla en yüksek iletkenlik değeri

elde edilmiştir. Kalkanlamanın en yüksek çıktığı 0,8 M değerinde ise daha yüksek yüzey özdirenci ve daha düşük iletkenlik ölçülmüştür. 1,2M ise beklendiği üzere daha yüksek yüzey özdirenci dolayısıyla daha düşük iletkenlik ölçülmüştür. Bu grafikten görüleceği üzere PANI/PES kompozitlerinde iletkenlik anilin konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır.

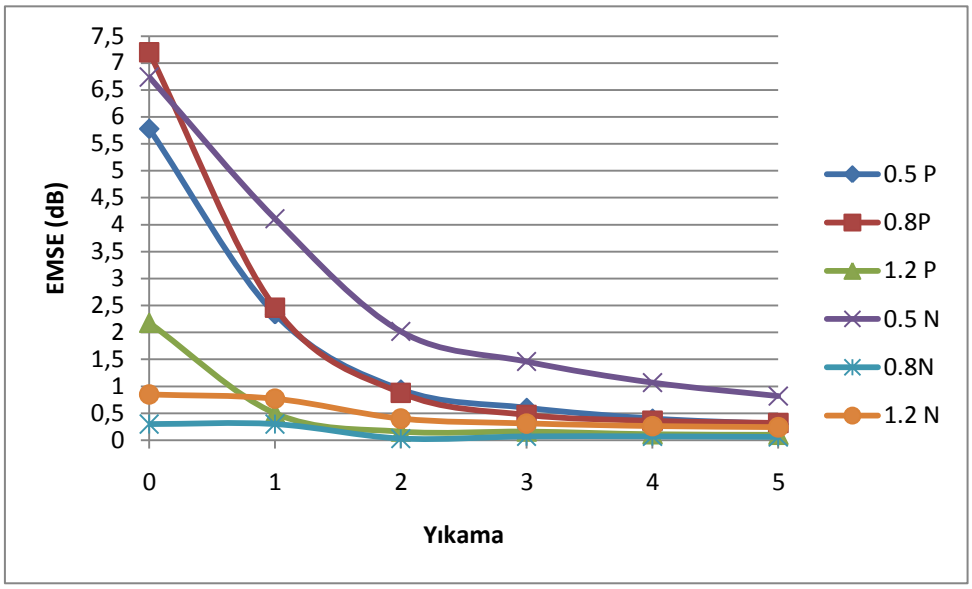
PANI/PA kompozitinde ise yüzey özdirençleri 0,5M ve 1,2M konsantrasyonlarında PES kompozitlerine göre oldukça düşük ölçülmüştür. Fakat 0,8M konsantrasyonda kumaşın özdirenci birden yaklaşık 25 kat artarak 10^5 değerlerine gelmiştir. Bunun sebebi daha öncede FTIR sonuçlarında da belirttiğimiz gibi iletkenliği zayıf bir yapı elde edilmiş olmasıdır. Her iki kompozitinde tüm konsantrasyonları karşılaştırıldığında iletkenliğin en yüksek olduğu değer grafiklerdede görüleceği üzere PANI/PA kompozitindeki 0,5M konsantrasyonudur. Ayrıca 1,2M konsantrasyonunda da PA kompozitlerinin iletkenlik değerleri PES kompozitinin en iyi iletkenlik değerinden bile daha iyi çıkmıştır. Buna karşın kalkanlama değerlerinin düşük çıkması farklı bir sonuçtur.

IV.6. YIKAMA TESTLERİ SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Tekrarlı yıkama testleri sonucunda yıkamayla beraber kalkanlama ve iletkenlik değerlerinin değişimi incelenerek aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Tablo IV.4 Yıkama sonrası Emse Değerleri (dB)

YIKAMA	0,5M PANI/PES	0,8M PANI/PES	1,2M PANI/PES	0,5M PANI/PA	0,8M PANI/PA	1,2M PANI/PA
0	5,78	7,20	2,18	6,74	0,3	0,85
1	2,34	2,46	0,50	4,11	0,3	0,77
2	0,94	0,88	0,16	2,02	0,03	0,40
3	0,60	0,47	0,16	1,46	0,07	0,31
4	0,40	0,36	0,11	1,07	0,07	0,26
5	0,30	0,32	0,10	0,82	0,06	0,24



Şekil IV.16 0,5-0,8-1,2 M Anilin polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların tekrarlı yıkamalar sonucu EMSE değerlerinin değişimi

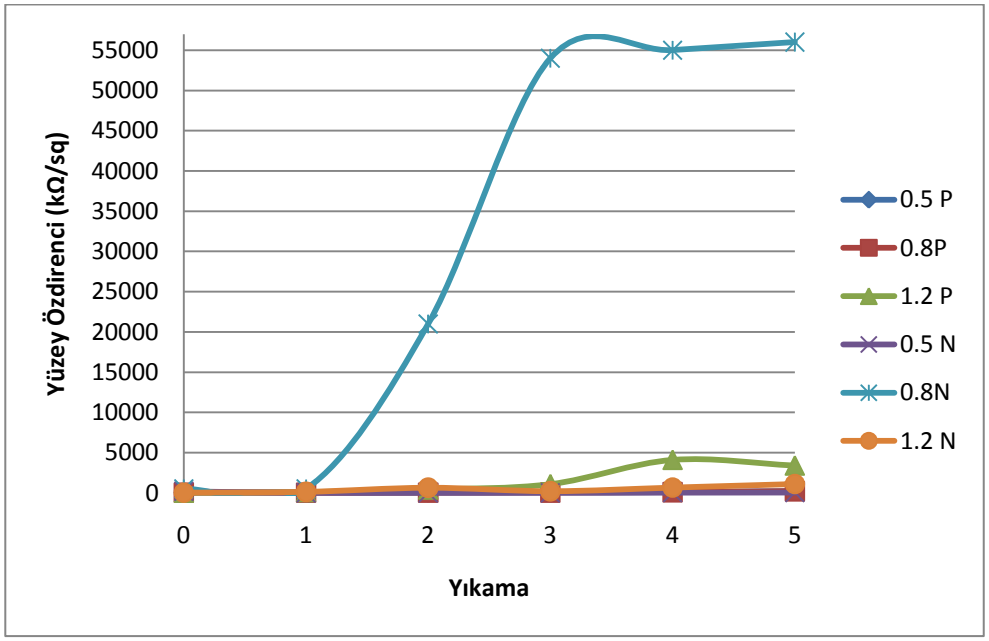
Yukarıdaki tabloda ve grafikte görüldüğü üzere ilk yıkamadan sonra PES kompozitlerinde kalkanlama değeri çok sert bir düşüş göstermiştir. Örneğin 0,8 M' da EMSE %66 azalarak 7,20 dB' den 2,46 dB'e kadar gerilemiştir. 1,2 M PES kompozitinde EMSE %88 azalma gösterirken 0,5 M PES kompozitinde %60 azalma tesbit edilmiştir. Buna karşın PA kompozitlerde ise 1. Yıkama sonucu 0,5 M'da kalkanlama değerinde %40 azalma görülmüştür. 1,2 M'da %10 azalma görülmesine rağmen 0,8 M'da hiç azalma görülmemiştir. 2. yıkama sonucunda da kalkanlama değerindeki düşüş hızlı olurken daha sonraki yıkamalarda düşüş daha yavaş olmuştur. 5. yıkama sonucunda ise; 0,8 M PES kompozitinin EMSE değeri %96 azalırken, 0,5 M PA kompozitininki %82 azalmıştır. 1,2 M PA kompozitinin EMSE değerinde ise %72 azalma tesbit edilmiştir. Yıkamalar sonrasında görülüyor ki; PANI'nin poliesterle etkileşimi sonrası oluşturduğu bağlar poliamid PANI etkileşimine göre çok daha azdır. Bunun sebebi poliamiddeki N-H gruplarıyla PANI arasında bağın oluşmasıyla açıklanabilir. İkisininde amin grupları arasındaki güçlü hidrojen bağları yıkamalar sonrası polianilinin yüzeyden uzaklaşmasını önlemiştir. Aynı zamanda SEM görüntüleri incelendiğinde PES kompozitin yüzeyinde daha fazla partikül olmasına rağmen yapının porozlü olması homojenliği ve tutunmayı etkilediği için yıkamalar sonrasında yüzeyden ayrılmayı kolaylaştırmış olabilir.

Aşağıdaki tablo ve grafikte yıkamalar sonrasındaki yüzey özdirenç değişimi değerleri verilmiştir.

Tablo IV.5 Yıkama sonrası Yüzey Özdirenci Değerleri (kΩ/sq)

YIKAMA	0,5M PANI/PES	0,8M PANI/PES	1,2M PANI/PES	0,5M PANI/PA	0,8M PANI/PA	1,2M PANI/PA
0	36	38	45	20,3	500	32
1	20	18	12	13	500	130
2	29	29	430	14	$21*10^3$	640
3	46	51	$11*10^2$	14	$54*10^3$	210
4	93	92	$41*10^2$	29	$55*10^3$	660
5	230	210	$34*10^2$	46	$56*10^3$	$11*10^2$

Yıkamalar sonrası yüzey özdirenci değerleri incelendiğinde; PES kompozitlerinin hepsinin ve 0,5M konsantrasyonlu PA kompozitinin ilk yıkama sonrasında yüzey özdirençleri düşmüş dolayısıyla iletkelikleri artmıştır. Bunun sebebi; yıkama ile beraber polimerizasyon sonrasında hala kumaş üzerinde kalmış olabilecek, düzensiz yerleşen monomerler ve oligomerler gibi reaksiyon artıklarının uzaklaştırılması olabilir.



Şekil IV.17 0,5-0,8-1,2 M Anilin polimerizasyonuyla oluşmuş kompozit kumaşların tekrarlı yıkamalar sonucu yüzey özdirenç değerlerinin değişimi

3. yıkamadan sonra PES kompozitlerinin yüzey özdirençleri yaklaşık 6 kat artmış dolayısıyla iletkenlik azalmıştır. Fakat tekrarlı yıkamalar sonucunda elde edilen iletkenlik değerleri kompozitlerin yalıtkan olmadığını göstermektedir. PA kompozitlerinde ise 0,5 M da ilk yıkama sonrası düşen yüzey özdirenci 5. Yıkama

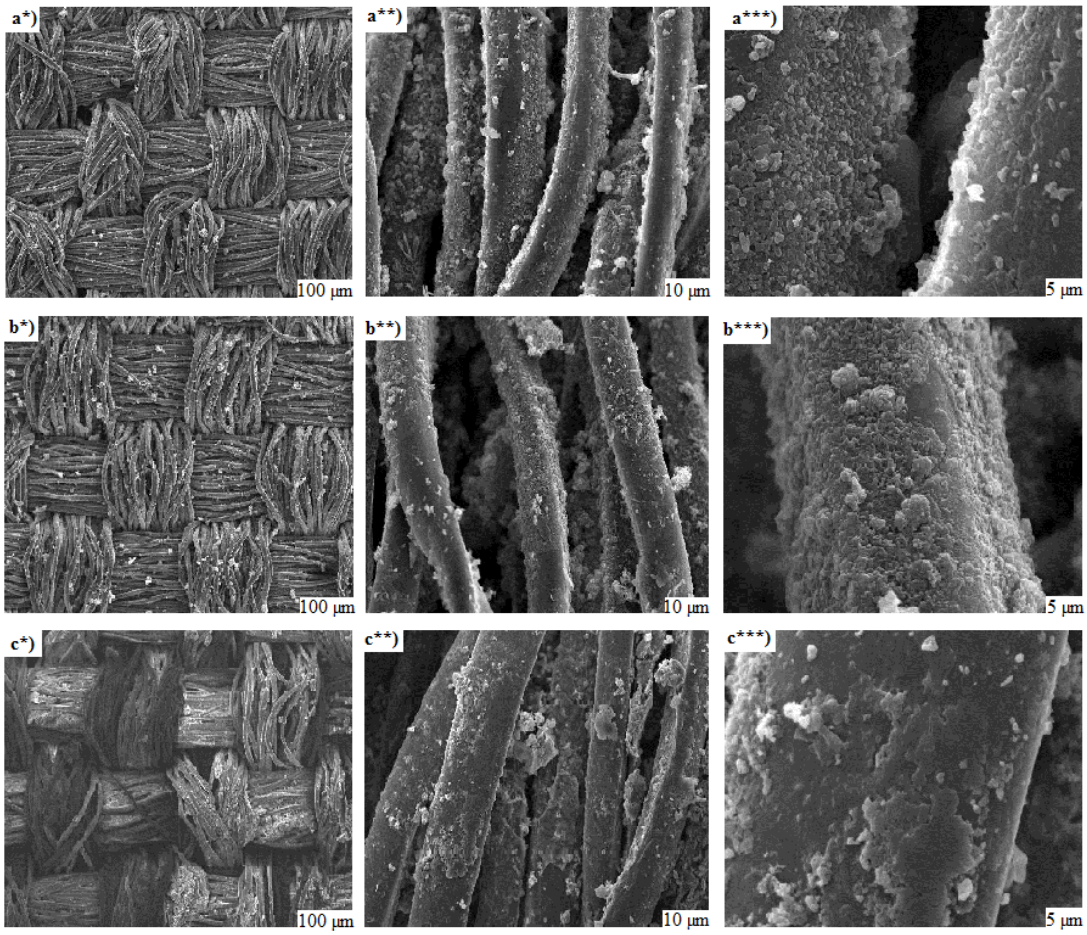
sonrası ancak 2.5 kat artmıştır. En son yıkama sonrası elde edilen değer PES kompozitlerinin yüzey özdirençlerine göre çok düşük bir değerdir. 1,2 M PA kompozitinin ilk ölçülen yüzey özdirencide tekrarlı yıkamalar sonrasında çok fazla artmamıştır. Sadece zaten yüksek olan 0,8 M PA kompozitinin yüzey özdirenci 5. Yıkama sonucunda yalıtkan maddeler sınıfına dahil olacak 10^6 Ω/sq değerine ulaşmıştır. Böylece PA kompozitlerinin iletkenliğinde çok fazla düşüş olmamıştır. Bunun sebebi yukarıdada bahsettiğimiz gibi poliamiddeki N-H gruplarıdır. Bunlar uzaklaşan anilin miktarını azaltmaktadırlar. Diğer taraftan PES kompozitlerde SEM görüntülerindede görüldüğü üzere yüzeyin pürüssüz olmaması sebebiyle artan, uzaklaşan anilin miktarına bağlı olarak yüksek yüzey özdirençleri elde ediliyor olabilir. Zaten PA kompozitlerinin EMSE değerleride tekrarlı yıkamalar sonrasında PES kompozitler kadar sert düşüşler göstermemiştir.

Yıkamalar sonrasında kompozitlerdeki renk değişimi incelendiğinde; hem poliester hemde poliamid kompozitlerindeki renk değişimi yeşilden maviye doğru olmuştur. En son yıkama sonrasında iletken kompozitlerin rengi mavi olmuştur. Bunun sebebi doplanmış polianilinin dedop olmuş polianiline dönüşmesidir. Yukarıda tartıştığımız iletkenliklerinin ve kalkanlama etkinliklerinin azalmasının sebeplerinden biride budur. Çünkü iletken PANI polimeri koyu emeraldine yeşiliyken iletkenliği düşük olan dedop anilinin rengi koyu mavidir. Kompozitlerin rengine bakarakta kalkanlama değerlerinin düşme sebebi bu nedenle anlaşılabilecektir.

IV.7. SEM GÖRÜNTÜLERİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Kompozit kumaşların SEM görüntüleri incelendiğinde; PANI ile kaplama sonrası bazı bölgelerin poroz bir yapıyla tamamen kaplandığı, bazı bölgelerin ise irili ufaklı tanecikli PANI ile kaplandığı görülmüştür. Lif yüzeyine tutunmuş granüllü yapılar anilinin küresel yapısıyla uyumludur. Ayrıca lifler arasındaki kümeleşmiş anilin adacıkları büyütme oranı arttıkça görülmektedir. Lif aralıklarına nüfüz eden bu adacıklar bireysel liflerle etkileşerek tüm kumaş yüzeyinde iletkenlik sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Tek lif görüntülerinde ise; tüm konsantrasyonlarda hem poliester hemde poliamid yüzeyine PANI polimerinin farklı oranlarda, şekillerde ve dağılımda tutunduğu görülmektedir. Konsantrasyon artışıyla doğru orantılı olarak artan yüzeye yapışma, belirli bir konsantrasyondan sonra aşırı monomerin yüzeyde polimerizasyonu azaltıp, çözeltide oligomerler oluşturmasına bağlı olarak

azalmaktadır. Aşağıdaki şekillerde her iki kompozit içinde; üç farklı konsantrasyon için, üç farklı büyütme oranlarında çekilmiş olan SEM görüntüleri görülmektedir. (Şekil IV.18 ve 19)

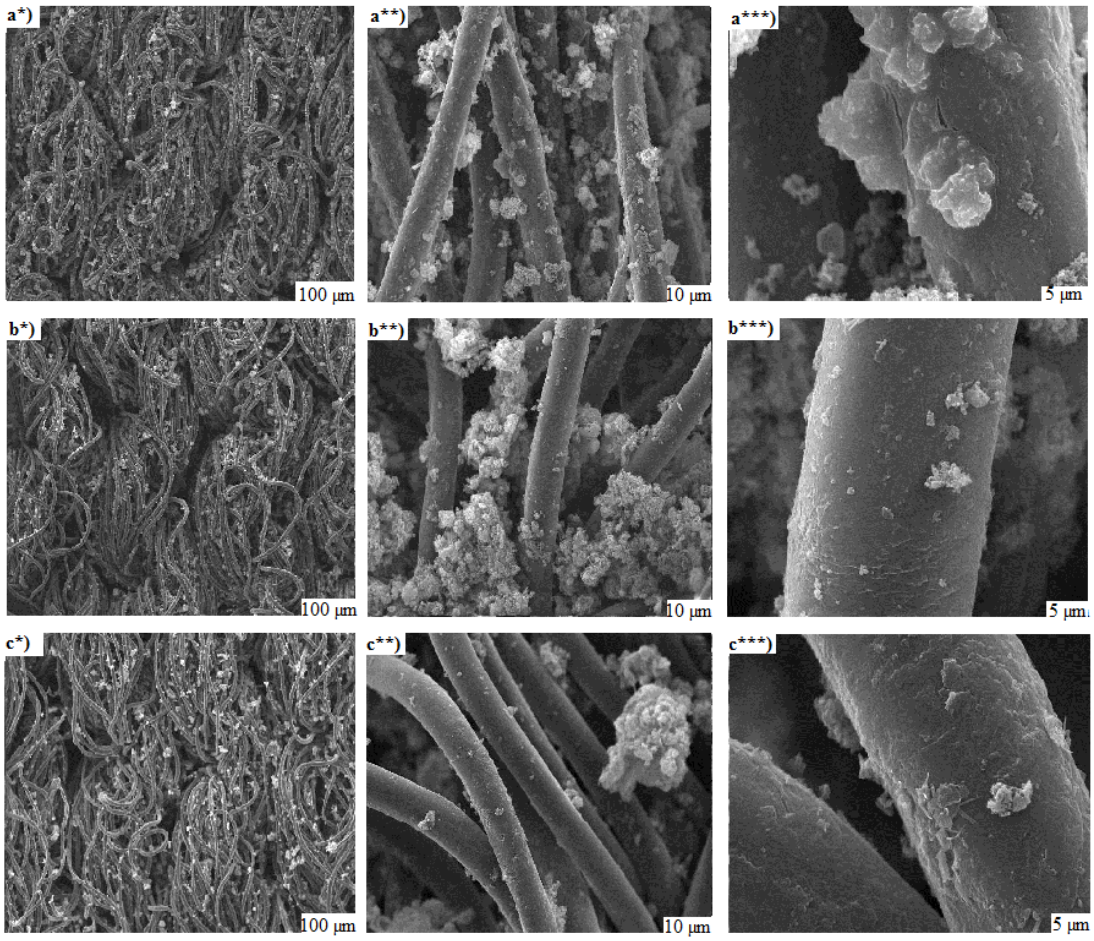


Şekil IV.18 PANI/PES kompozitlerinin SEM Görüntüleri;a)0,5 M konsantrasyonluPANI/PES, b)0,8 M konsantrasyonlu PANI/PES, c)1,2 M konsantrasyonlu PANI/PES.(* x100, **x1000, ***x5000).

PANI/PES kompozitlerinde konsantrasyona göre artan kaplama yoğunluğu şekil IV.18.(a*,a**) ve (b*,b**)'de görülmektedir. Lifler arasındaki nodüller (düğümcükler) konsantrasyona bağlı olarak artan polimer adacıklarıdır. Şekil IV.18.(a***)ve(b***)'de ise yüzeydeki anilin formasyonu ve kaplamanın sürekliliği görülmektedir. Kalkanlamanın düşük çıktığı 1,2 M kompozitlerde (şekil IV.18.(c* ve c**)); anilin partiküllerinin homojen olmayan düzensiz ve süreksiz yerleşimi dikkat çekmektedir. Buradan kaplama yoğunluğuyla kalkanlamanın doğru orantılı olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Yüzeye kaplanan anilin partükülleri büyütme oranı arttıkça daha net görülmektedir. PANI/PES kompozitlerinde kaplanan yüzeylerin porozlü bir

yapıya sahip olduğu ve tüm yüzeylerin belirli oranda PANI ile kaplandığı açıkça görülmektedir.

PANI/PA kompozitlerinde ise; lif aralarındaki yüzeye yapışmamış olan pek çok partikül ve kümeleşmiş anilin adacıklarının yanı sıra, tek lif görüntülerinde de görüldüğü üzere lif yüzeyinde polimerize olarak lifi kaplayan daha pürüzsüz ve homojen bir yapı görülmektedir. Bu yüzden PANI/PA kompozitlerinin yıkama dayanımları PANI/PES kompozitlerine göre çok daha iyi çıkmıştır. Buna karşın şekil IV.19 (b)' de görülen 0,8M'da iletkenliğin düşük çıkması ve kalkanlamanın olmaması, FTIR analizlerindede görüldüğü üzere iletken olmayan anilinin elde edilmiş olmasıdır. İletkenliğin ve kalkanlamanın elde edildiği, şekil IV.19.(a) ve (c)'de görüntüleri verilen iki kompozit karşılaştırıldığında ise; iletkenliğin yüksek çıktığı 0,5 M PANI/PA kompozitinin yüzeyine daha fazla anilin partikülünün tutunduğu şekil IV.19.(a**)'da net bir şekilde görülmektedir.



Şekil IV.19 PANI/PA kompozitlerinin SEM Görüntüleri; a)0,5 M konsantrasyonluPANI/PA, b)0,8 M konsantrasyonlu PANI/PA, c)1,2 M konsantrasyonlu PANI/PA. (* x100, **x1000, ***x5000).

BÖLÜM V

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

V.1. GENEL SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara göre kimyasal polimerizasyonla iletken PANI/PES ve PANI/PA kompozit kumaşlarının elde edilebildiği görülmüştür. Bu kumaşlara yapılan testler sonucunda;

- PANI/PES kompozit kumaşlarının mukavemet değerleri ham poliester kumaş ile karşılaştırıldığında; monomer konsantrasyonu arttıkça mukavemetinde arttığı fakat en yüksek konsantrasyon değerinde ham kumaştan bile daha düşük bir değere indiği görülmüştür.
- PANI/PES kompozit kumaşlarının uzama değerleri ham poliester kumaş ile karşılaştırıldığında; kopma uzamasının her üç konsantrasyonda da azaldığı açıkca görülmüştür. En düşük konsantrasyonda en az kopma uzaması elde edilirken konsantrasyon miktarı arttıkça artan uzama en yüksek konsantrasyonda bir miktar düşsede en düşük konsantrasyondan daha yüksek bir değer ölçülmüştür.
- PANI/PA kompozit kumaşlarının patlatma mukavemetleri değerleri ham poliamid kumaşın değerleriyle karşılaştırıldığında; mukavemetin ham kumaşa göre polimerizasyon sonrasında çok sert bir düşüşle azaldığı daha sonra ise konsantrasyona bağlı olarak yükseldiği fakat işlem görmemiş poliamidin mukavemetinin tüm kompozitlerinkinden daha yüksek olduğu tesbit edilmiştir.
- FTIR analizi sonucunda; PES PANI etkileşimini ve oluşan bağları karakterize eden piklerle beraber iletken polimerin polimerize edildiğini gösteren pikler gözlemlenmiştir. Bu verilere göre PANI/PES kompozit

kumaşında polimerin yüzeye bağlandığı ve iletken yapılı polimerin elde edildiği sonucu çıkarılmıştır.

- PANI/PA kompozitlerinin FTIR analizi sonucunda; üç konsantrasyonda da PANI PA arası bağların ve polimerizasyonun oluştuğu görülmesine rağmen; kalkanlamayı sağlayacak iletkenlik pikleri en düşük konsantrasyonda belirgin bir şekildeyken, en yüksek konsantrasyonda daha zayıf bir şekilde ve orta konsantrasyonda ise neredeyse hiç gözlemlenmemiştir. Bu verilere göre her PANI/PA kompozit kumaşında polimerin yüzeye bağlanmasına rağmen, en düşük ve en yüksek konsantrasyonda iletkenliği karakterize edilebilen polimerin elde edilebildiği sonucu çıkarılmıştır.

Kompozit kumaşların elektromanyetik dalgalara karşı davranış özellikleri incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre;

- PANI/PES kompozitlerinde ilk iki konsantrasyonda; monomer konsantrasyonu arttıkça kalkanlama değeri artmış fakat en yüksek konsantrasyonda birden düşerek en düşük değer elde edilmiştir. Bu verilere göre PANI/PES kompozitleri için en iyi kalkanlama değeri 7,20 dB değeriyle 0,8 M konsantrasyondadır.
- PANI/PA kompozitlerinde ise en iyi kalkanlama değeri en düşük konsantrasyonda ölçülmüştür. Daha sonra hızlı bir şekilde düşen kalkanlama etkinliğinin en yüksek konsnatrasyonda bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Bu verilere göre PANI/PA kompozitleri için en iyi kalkanlama değeri 6,74 dB değeriyle 0,5 M konsantrasyondadır.
- Kalkanlama etkinliği gösteren tüm kompozitlerde en yüksek kalkanlama değerleri 2000-2300 MHz aralığında ölçülmüştür. Ayrıca tüm kompozitlerde benzer karakterde eğriler gözlemlenmiştir. Buna karşın en iyi kalkanlama değerleri seçilen konsantrasyonlar için PES kompozitlerinde elde edilmiştir.
- PANI/PES kompozitlerinin absorbsiyon değerlerinin kalkanlama değerleriyle doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek absorbsiyon değeri olarak %73 değeri ölçülmüş ve kompozitlerin absorbsiyon özelliklerinin iyi olduğu bulunmuştur.

- PANI/PA kompozitlerinde ise en iyi absorbsiyon değeri %74 ile en düşük konsantrasyonda ölçülmüştür. Bu verilere göre PA kompozitinin absorbsiyon özelliğinin PES kompozitlerine göre daha iyi olduğu görülmüştür.
- Kompozit kumaşların yansıtma değerleri; her iki kompozitin tüm konsantrasyonları için kalkanlama değerleriyle doğru orantılı olarak ölçülmüştür. En yüksek yansıtma değeri PANI/PES kompozitinde %30, PANI/PA kompozitinde ise %23'tür. Bu verilere göre iletken polimerlerin yansıtma yerine absobsiyon yaptığı görülmektedir.
- En yüksek geçirgenlik değeri kalkanlamanın en düşük çıktığı konsantrasyonda PANI/PA kompozitinde %96 ve en düşük geçirgenlik değeri ise kalkanlamanın en yüksek çıktığı konsantrasyonda PES /PANI kompozitinde %19 olarak ölçülmüştür. Bu verilerden PANI/PES'nin bu konsantrasyonda %81 kalkanlama etkinliği gösterdiği bulunmuştur.
- Kompozit kumaşların iletkenlik özellikleri incelendiğinde; en yüksek yüzey özdirenci 0,8M PANI/PA kompozitinde 500 kΩ/sq ve en düşük yüzey özdirenci yine PANI/PA kompozitinde 0,5 M 'da 20 kΩ/sq olarak ölçülmüştür. PANI/PES kompozitinde ise en düşük özdirenç en düşük konsantrasyonda, 0,5 M'da 35 kΩ/sq olarak ölçülmüştür. PANI/PES kompozitlerinde monomer konsantrasyonu arttıkça iletkenlik düşmüştür. Ayrıca kompozitlerin yüzey özdirençleri dolayısıyla iletkenlikleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu verilere göre tüm kompozitlerin konsantrasyonlara göre gösterdikleri iletkenlik özellikleri kalkanlama özelliklerinden farklı çıkmıştır denilebilir.
- Yıkama testlerinin sonucunda yıkamaların tüm kompozitleri olumsuz etkilediği görülmesine rağmen; PANI/PA kompozitlerinin yıkama sonrası kalkanlama ve iletkenlik değerlerindeki düşüş PANI/PES kompozitleri kadar dramatik olmamıştır. Ayrıca ilk yıkamadan sonra yüzeydeki safsızlıkların elimine edilmesi yüzünden tüm kompozitlerde iletkenlik artışı gözlemlenmiştir. Fakat kalkanlama değeri düşmüştür. Tekrarlı yıkamalar sonucunda yalnızca 0,8 M konsantrasyonlu PANI/PA kompoziti yalıtkan hale gelmiştir.

- Kompozit kumaşların SEM görüntüleri incelendiğinde; tüm konsantrasyonlarda hem poliester hemde poliamid yüzeyine PANI polimerinin farklı oranlarda, şekillerde ve dağılımda tutunduğu görülmektedir. PANI ile kaplama sonrası bazı bölgelerin poroz bir yapıyla tamamen kaplandığı, bazı bölgelerin ise irili ufaklı tanecikli PANI ile kaplandığı görülmüştür. Poliester kompozit kumaşın yüzeyinde poliamidden daha fazla anilin partiküllerine rastlanmıştır. Buna karşın PANI/PA kompozitinde daha pürüssüz bir kaplama görülmektedir. Kaplama yoğunluğuya kalkanlamanın doğru orantılı olduğu görülmektedir. Kalkanlamanın düşük çıktığı ve FTIR analizleri sonucu polimerizasyonun iyi sağlanamadığı yapılarda homojen olmayan, düzensiz ve süreksiz yerleşim dikkat çekmektedir.

V.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, bundan sonraki çalışmalara ışık tutması açısından aşağıdaki önerilerin yerinde olacağı düşünülmektedir.

- Bu çalışmada poliester ve poliamid kumaşlar üzerine polianilin herhangi bir yüzey işlemi yapılmadan polimerize edilmiştir. Bundan sonraki yapılacak çaılşmalarda yüzey modifikasyonu işlemleriyle yüzey enerjisi ve alanı arttırılarak; polimerin adhezyonu sonucunda yapıya bağlanan polianilin miktarı arttırılarak daha yüksek iletkenlik, kalkanlama değerleri ve yıkama dayanımları elde edilebilir.
- Yapılacak benzer çalışmaların tek kat yerine birkaç kat polimerle kaplanarak yapılması ile iletkenlik ve kalkanlama değerleri arttırılabilir.
- Bu çalışmada çalışılan konsantrasyonlar sonucunda; PA kumaşları için 0,5M en düşük konsantrasyon olarak seçilmiş ve en yüksek kalkanlama değeri bu konsantrasyonda elde edilmiştir. Bunun üzerindeki konsantrasyonlarda istenen düzeyde kalkanlama elde edilememiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda 0,5M'in altındaki konsantrasyonlarda çalışılması kalkanlama değerinin nasıl değişeceğinin gözlemlenmesi açısından önemlidir. PES kumaşlar için ise; 0,8 M ve 1,2 M arasındaki konsantrasyonlarda çalışılması

kalkanlama değerinin düştüğü kritik konsantrasyonun daha iyi gözlemlenmesi açısından önemlidir.

- Bu çalışmada anilinin poliester ve poliamid yüzeylere kimyasal polimerizasyon ile polimerize edilmiştir. Yapılacak çalışmalarda; vizkozite ve termal problemlerin yaşanmayacağı, oksidasyon basamağının kontrol edilebildiği, daha az kimyasal ve monomer kullanılarak daha iyi nufuziyetin ve bağlanmanın sağlanabileceği, anilinin buhar fazında polimerizasyonu ya da elektrokimyasal polimerizasyon yöntemleri seçilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Çınar, K.: " Elektromanyetik Alan", *Bilim ve Teknik*, 465 **(2006)** 80

[2] http://sciart.karaelmas.edu.tr/bolumler/fizik/Ders%20Notlari/E02.pdf (10.11.2009)

[3] http://www.fizikportali.com/forum/index.php?topic=795.0 (10.09.2009)

[4] http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektriksel_alan (04.09.2009)

[5] Eren,R.; Atış, A.: "Elektroteknoloji Ders Notları", *Ders Notu*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü,Bursa, Türkiye, **(1999)** 13

[6] Sarı, H.: "Işığın Elektromanyetik Tanımlaması. 1: Boşlukta Elektromanyetik Dalgalar"*Ders Notları,* Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, **(2008)**
editor.ank ara.edu.tr/moodle/mod/resource/view.php?id=100 (03.12.2009)

[7] Can, M.: "Metal filament takviyeli çekirdek ipliklerden üretilmiş kumaşların mekanik ve elektromagnetik özelliklerin incelenmesi" *Yüksek Lisans Tezi,* Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul, Türkiye, **(2008)** 5

[8] Bayrakçı, H.: "Elektromagnetik Dalga Teorisi", Birsen Yayın Evi, İstanbul, Türkiye, **(2001)**

[9] www.gökbilimi.com (03.04.2010)

[10] Orhun, Ö.; Tanışlı, M.: "Elektromagnetik Dalgalar", *Fizik Fasikül 2 (11.Bölüm),* Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, Türkiye, **(1998)** 177

[11] Yücel,E.: "Elektromanyetik Spektrum", *Ders Notları*, http://www.akat.org/sizin_icin/elektromagnetik_tayf.pdf (03.04.2010)

[12] Tübitak Bitlen.: *,Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkca Sorulan Sorular Ve Yanıtları*, 1.Baskı,TÜBİTAK Yayınları, Ankara, Türkiye **(2001)** 2

[13] Erhan, E.: "Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri", *Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye, **(1998)** 36

[14] Yağmur, F.; Bozbıyık, A.; Hancı, İ.H.: "Elektromanyetik Dalgaların İnsan Biyokimyası Üzerine Etkileri", *Sted Dergisi* , 12 **(2003)** 296

[15] Bold, A.; Toros, H.; Şen, O.: "Manyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkisi", *III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu,* İTÜ, İstanbul, Türkiye, Mart, **(2003)** 19

[16] Seyhan, N.: "Elektromanyetik Kirlilik ve Kaynakları", *Nöropsikiyatri Arşivi Dergisi,* 47 **(2010)** 158
http://www.faqs.org/periodicals/201004/2069554971.html (10.11.2011)

[17] Sevgi, L.: "Elektromanyetik Uyumluluk", *Ders Notları*, Doğuş Üniversitesi, Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, **(2002)**

[18] Blackman, C.: "Cell Phone Radiation: Evidence from ELF and RF Studies Supporting More Inclusive Risk Identification and Assessment", *Pathophysiology*, 16 **(2009)** 205 www. elsevier.com (20.06.2010)

[19] Franzellitti, S.; Valbonesia, P.; Ciancaglinia, N.; Biondib, C.; Contina, A.; Bersanic, F.; Fabbria, E.: "Transient DNA Damage Induced by High-Frequency Electromagnetic Fields(GSM 1.8 Ghz) ın The Human Trophoblast HTR-8/Svneo Cell Line Evaluated with the Alkaline Comet Assay", *Mutation Research*, 683 **(2010)** 35

[20] Scarella, G.; Clatz, O.; Lanteri, S.; Beaume, G.; Oudot, S.; Pons, J.P.; Piperno,S.; Joly, P.; Wiart, J.: "Realistic Numerical Modelling of Human HeadTissue Exposure to Electromagnetic Waves from Cellular Phones", *C. R. Physique*, 7 **(2006)** 501 www sciencedirect.com (25.12.2009)

[21] Ruediger, H.W.: "Genotoxic Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields", *Pathophysiology*, 16 **(2009)** 89

[22] Balmori, A.: "Electromagnetic Pollution From Phone Masts. Effects On Wildlife." *Pathophysiology*, 16 **(2009)** 191 www. elsevier.com (15.03.2010)

[23] Özataş, H.M.: "Günlük Hayatta Karşılaşılan Elektromanyetik Alanlar ve İnsan Sağlığı" *Cumhuriyet Bilim Teknik*, 901 **(2000)** 13

[24] Khurana, V.G.; Teo, C.; Kundi, M.; Hardell, L.; Carlberg, M.: " Cell Phones and Brain Tumors: A Review Including The Long-Term Epidemiologic Data", *Surgery, Neurology*, 72 **(2009)** 205.

[25] Lixia, S.; Yao, K.; Kaijun, W.; Deqiang, L.; Huajun, H.; Xiangwei, G.; Baohong, W.; Wei, Z.; Jianling, L.; Wei, W.: "Effects of 1.8GHz Radiofrequency Field On DNA Damage And Expression of Heat Shock Protein 70 ın Human Lens Epithelial Cells", *Mutation Research*, 602 **(2006)** 135

[26] Franzellitti, S.; Valbonesi, P.; Contin, A.; Biondi, C.; Fabbri, E.: "HSP70 Expression in Human Trophoblast Cells Exposed to Different 1.8ghz Mobile Phone Signals", *Radiation. Researc,*. 170 **(2008)** 488

[27] Diem, E.; Schwarz, C.; Adlkofer, F.; Jahn, O.; Rüdiger, H.: "Non-thermal DNA Breakage by Mobile-Phone Radiation (1800 Mhz) In Human Fibroblasts and ın Transformed GFSH-R17 Rat Granulosa Cells ın Vitro", *Mutation Research*, 583 **(2005)** 178

[28] Dummer, L.D, "3D Percolation Model Fort He Prediction of Critical Volume Fraction In Particulate Composites" *MS Thesis*, Colorado State University, Departman of Mechanical Engineering, Colorado, USA **(2007)** 1.

[29] Chung, D.D.L.: "Materials for Electromagnetic Interference Shielding", *Applied Materials Science,* CRC Press LLC, Florida, USA,4 **(2001)** 50.

[30] Tong, X.C.: *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding,*CRC Press LLC, Florida, USA,4 **(2009)** 2.

[31] Dhawan,S.K.; Singh, N.; Venkatachalam, S.: "Shielding Efectiveness of Conducting Polyanilin Coated Fabrics at 101 Ghz" *Synthetic Metals* 125 **(2002)** 389.

[32] Al-Saleh, M.H.; Sundararaj. U.: "A Review of Vapor Grown Carbon Nanofiber/Polymer Conductive Composites", *Carbon,* 47 **(2009)** 2 .

[33] Shreeanad,S.; Palaniappan,S.; Sathyanarayana, D.N.: "Conducting Polyanilin Blends and Composites" *Progress in Polymer and Science*, 23**(1998)** 993.

[34] Harlın, A.; Nousıaınen, P.; Puolakka, A.: "Development of Polyester and Polyamide Conductive Fibre", *Journal of Materıals Scıence* ,40 **(2005)** 5365, www.springerlink.com (20.03.2008)

[35] Jung-Sim, R.; Yong-Seung, C.; Tae Jin, K.; Sang-wook,N.: "Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics" *Textile Research Journal*, 78 **(2008)** 825.

[36] Chena, H.C.; Lee, K.C.; Lin, J.H.; Koch, M.: "Comparison of Electromagnetic Shielding Effectiveness Properties of Diverse Conductive Textiles Via Various Measurement Techniques" *Journal of Materials Processing Technology* ,192–193 **(2007)** 549.

[37] Aniołczyk, H.; Koprowska, J.; Mamrot, P.; Lichawska, J.: " Application of Electrically Conductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy" *Fıbres & Textıles* , 12 **(2004)** 48.

[38] Palamutcu, S.; Dağ, N.: "Fonksiyonel Tekstiller I : Elektromanyetik Kalkanlama Amaclı Tekstil Yuzeyleri" *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 3 **(2009)** 87.

[39] Cheng, K.B.; Ramakrishna, S.; Lee, K.C.: "Development of Conductive Knitted- Fabric-Reinforced Thermoplastic Composites for Electromagnetic Shielding Applications" *Journal of Thermoplastic Composite Materials,* 13 **(2000)** 378.

[40] Dhawana, S.K.; Singha, N.; Venkatachalamb, S.: "Shielding Behaviour of Conducting Polymer-Coated Fabrics in X-Band, W-Band and Radio Frequency Range" *Synthetic Metals,* 129 **(2002)** 261, www.elsiever.com (25.12.2009).

[41] Chung, D.D.L.: "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials", *Carbon* , 39 **(2001)** 279.

[42] Varnaıtė, S.; Vıtkauskas, A.; Abraıtıenė, A.; Rubežıenė, V.; Valıenė, V.: "The Features of Electric Charge Decay in The Polyester Fabric Containing Metal Fibres" *Materıals Scıence.* 14, **(2008)**

[43] Kim, M.S.; Kim, H.K.; Byun, S.W.; Jeong, S.H.; Hong, Y.K.; Jood, J.S.;Song, K.t.; Kim, J.K.; Lee, C.J.; Lee, J.Y.: "PET Fabric/Polypyrrole Composite with High Electrical Conductivity for EMI Shielding" *Synthetic Metals* , 126 **(2002)** 233.

[44] Hakansson, E.; Amiet, A.; Nahavandi, S.; Kaynak,A.: "Electromagnetic Shielding Properties Of Polypyrrole/Polyester Composites In The 1–18 Ghz Frequency Range" *Synthetic Metals,* 156 **(2006)** 917.

[45] Hakansson, E.; Amiet, A.; Nahavandi, S.; Kaynak,A.: "Electromagnetic Interference Shielding And Radiation Absorption In Thin Polypyrrole Films"*European Polymer Journal,* 43 **(2007)** 205.

[46] Wojkiewicz, J.L.; Fauveaux, S.; Maine, J.L.: "Elektromagnetic Shielding Properties of Polyanilie Composites" *Synthetic Metals*, 135-136 **(2003)** 127.

[47] Avloni,J.; Ouyang, M.; Florio,L.; Henn, A.R.; Sparavigna,A.R.: "Polypyrrole-coated Nonwovens for Electromagnetic Shielding" *Journal Of Industrial Textiles*, 38 **(2008)** 55.

[48] Avloni,J.; Ouyang, M.; Florio,L.; Henn, A.R.; Sparavigna, A.R.: "Electromagnetıc Shıeldıng wıth Polypyrrole-Coated Fabrıcs" *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20 **(2007)** 241.

[49] Parys, M.V.: "Functional and Smart Coatings", *Unıtex,* **(2006)** 6 http://www.unitex.be/index.php/downloads.html?file=tl_files/users/downloads/smart+textiles+4.pdf (20.03.2010)

[50] Wha Oh,K.; Hwa Hong,K.; Hun Kım,S.: "Electrically Conductive Textiles by in situ Polymerization of Aniline" *Journal of Applied Polymer Science* , 74 **(1999)** 2094.

[51] (www.mybadbaby.com (10.05.2010)

[52] (www.hamileatleti.com(08.05.2010)

[53] (www.emrkoruma.com(10.05.2010)

[54] (www.v3.espacenet.com(10.05.2010)

[55] (www.wipo.int(08.05.2010)

[56] Saçak,M.: *Polimer Kimyası*, 4. Baskı, Gazi Büro Kitabevi, Ankara, Türkiye, **(2008)** 423

[57] Oğuz, İ.: **"**İletken Polimer/Kırmızı Çamur Nanokompozitlerinin Kimyasal Yöntemle Hazırlanması Ve Özelliklerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, **(2005)** 15

[58] Akbaba, G.: "Levent Toppare", *Bilim ve Teknik,* 432 **(2003)** 86

[59] Kim, B.; Koncar, V.; Devaux, E.: "Electrıcal Properties of Conductıve Polymers: Pet –Nanocomposıtes Fıbres" *Autex Research Journal*, 4 **(2004)** http://www.autexrj.org/ (10.08.2010)

[60] www.polimerkimyası.com(09.05.2010)

[61] Bhadraa, S.; Khastgir, D.; Singhaa, N.K.; Lee, J.h.: "Progress in Preparation, Processing and Applications of Polyaniline", *Progress in Polymer Science*, 34 **(2009)** 783

[62] Adamhasan, A.: "Poliester/Polianilin, Pamuk/Polianilin Kompozit Kumaşlarının Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, **(2008)** 6

[63] Wise, D.L.; Wnek, G.E.; Trantolo, D.J.; Cooper, T.M.; Gresser, J.D.: *Electrical and Optical Polymer Systems*, Marcel Dekker Press, New York, USA, **(1997)** 23

[64] Başbilen, B.: "Yüzeyi Polianilinle Kaplanmış Pirincin Klorürlü Ortamdaki Elektrokimyasal Davranışı", *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, **(2006)** 5

[65] Pron, A.; Rannou, P.: "Processible Conjugated Polymers: From Organic Semi Conductors to Organic Metals and Super Conductors", *Progress in Polymer Science*, 27 **(2002)** 135

[66] Zhang, W.; Angelopoulos, M.; Epstein, A.J.; Macdiarmid, A.G.; "Experimental Evidence for Hydrogen Bonding in Polyaniline: Mechanism of Aggregate Formation And Dependency On Oxidation State", *Macromolecules*, 30 **(1997)** 2953

[67] Puda, A.; Ogurtsova, N.; Korzhenkob, A.; Shapovala, G.: "Some Aspects of Preparation Methods and Properties of Polyaniline Blends and Composites with Organic Polymers" *Progress in Polymer Science*, 28 **(2003)** 1701, www.sciencedirect.com. (25.12.2009)

[68] Knittel, D.; Schollmeyer, E.: "Electrically High-Conductive Textiles", *Synthetic Metals*, 159 **(2009)** 1433 www.ScienceDirect.com (20.04.2010)

[69] Stejskal, J.; Gilbert, R.G.: "Polyaniline: Preparation of a Conducting Polymer", *Pure and Applied Chemistry*, 74 **(2002)** 857

[70] Kinlen PJ, Liu J, Ding Y, Graham CR, Remsen EE. "Emulsion Polymerization process for organically soluble and electrically conducting polyaniline", *Macromolecules*, 31 **(1998)** 1735

[71] Han, D.; Chu, Y.; Yang, L.; Liu, Y.; Lv, Z.: "Reversed Micelle Polymerization: A New Route for The Synthesis of DBSA-Polyaniline Nanoparticles", *Colloids and Surfaces A* 259, **(2005)** 179 www.elsevier.com (25.12.2009)

[72] Chen, J.; Chao, D.; Lu, X.; Zhang, W.: "Novel Interfacial Polymerization for Radially Oriented Polyaniline Nanofibers", *Materials Letters,* 61 **(2007)** 1419, www.sciencedirect.com (17.04.2010)

[73] Xing, S.; Zhao, C.; Jing, S.; Wang, Z.: "Morphology And Conductivity of Polyaniline Nanofibers Prepared by 'Seeding' Polymerization", *Polymer,* 47 **(2006)** 2305.

[74] Yang, C.H.; Huang, L.R.; Chih, Y.K.; Lin, W.C.; Liu, F.J.; Wang, T.L.: "Molecular Assembled Self-Doped Polyaniline Copolymer Ultra-Thin Films", *Polymer,* 48 **(2007)** 3237.

[75] Kim, J.Y.; Lee, J.H.; Kwon, S.J.: "The Manufacture And Properties of Polyaniline Nano-Films Prepared Through Vapor-Phase Polymerization", *Synthetic Metals,* 157 **(2007)** 336.

[76] Wang, J.X.; WuD, Y.Y; Qiang, J.P.: "Sonochemical Synthesis of Polyaniline Nanofibers", *Ultrasonics Sonochemistry,* 14 **(2007)** 75.

[77] Iroh, J.O.; Zhu, Y.; Shah, K.; Levine, K.; Rajagopalan, R.; Uyar, T.: "Electrochemical Synthesis: A Novel Technique For Processing Multifunctional Coatings", *Progress in Organic Coating,*. 47 **(2003)** 365. www elsiever.com (25.12.2009)

[78] Mejias, L.; Reihmann, M.H.; Sepulveda-Boza, S.; Ritter, H.: "Newpolymers from Natural Phenols Using Horseradish or Soybean Peroxidase", *Macromoleculer Bioscience,* 2 **(2002)** 24.

[79] Barros, R.A.; Azevedo, W.M.; Aguiar, F.M.: "Photo-induced Polymerization of Polyaniline". *Materials Characterizatin,* 50 **(2003)** 131.

[80] Nastase, F.; Stamatin, I.; Nastase, C.; Mihaiescu, D.; Moldovan, A.: "Synthesis and Characterization Of Pani–Sio2 And Pth–Sio2 Nanocomposites'Thin Films by Plasma Polymerization". *Progress in Solid State Chemistry,* 34 **(2006)** 191.

[81] Bhadra, S.; Chattopadhyay, S.; Singha, N.K.; Khastgir, D.: "Improvement of Conductivity Of Electrochemically Synthesized Polyaniline", *Journal of Applied Polymer Science,* 108 **(2008)** 57.

[82] Ashcroft NW, Mermin D. *Solid State Physics*, Holt-Saunders, New York, USA, **(1976)** 523.

[83] Mott,N.F.; Davis, E.A.: *Electronic Processes In Non-Crystalline Materials*, 2nd edition, Clarendon Press, Oxford, England **(1979)** 34.

[84] Price, A.D.; Naguib, H.E.: "Synthesis and Characterization of Porous Polyanilin Conductive Polymers" *Cellular Polymers,* 27**(2008)** 201.

[85] Chakraborty, G.; Sarkar, A.; Ghosh, P.; Meikap. A.K.; Chowdhury, P.: "Frequency-Dependent Resistivity and Magnetoresistivity of Iodine Doped Conducting Polyanilin" *Polymer Engineering and Science,* 49 **(2009)** 910.

[86] Bhadra, S.; Chattopadhyay, S.; Singha, N.K.; Khastgir, D.: "Effect of Different Reaction Parameters on The Conductivity And Dielectric Properties of Polyaniline Synthesized Electrochemically and Modeling of Conductivity Against Reaction Parameters Through Regression Analysis". *Journal of Polymer Science: Polymer Physics,* 45 **(2007)** 2046.

[87] Erdem, E.; Karakis, M.; Sacak, M.: "The Chemical Synthesis of Conductive Polyaniline Doped with Dicarboxylic Acids", *European Polymer Journal*, 40 **(2004)** 785, www.sciencedirect.com (15.07.2010)

[88] Tan, LX:; Xu, C.Y.; He, J.C.: "Thermal Degradation of Electrical Conductivity Of Polyacrylic Acid Doped Polyaniline: Effect Of Molecularweight Of The Dopants" *Synthetic Metals,* 138 **(2003)** 429.

[89] TS EN ISO 13934-1.: "Tekstil-Kumaşların gerilme özellikleri Bölüm1: En Büyük Kuvvetin ve En Büyük Kuvvet Altında Boyca Uzamanın Tayini-Şerit Metodu", *Türk Standartlar Enstitüsü,* Ankara, Türkiye, **(2002)**.

[90] ASTM D 4935 – 10.: "Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials1", *An American National Standarsts*, West Conshohocken, United States, **(2010).**

[91] ASTM D257 – 07.: "Electrical Insulating Material Standarts-Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials" *An American National Standarsts*, West Conshohocken, United States, **(2007).**

[92] Tao,X.; Koncar,V.; Dufour,C.: **"**Pirol/Anilin Kopolimerleri İle Kaplanan Pet Nonwoven Kumaşların Yapısal Ve Elektriksel Özellikleri" *The Journal of Textiles and Engineer*,72 **(2007)** 1**,** www.tmo.org.tr (08.09.2010).

[93] Jin,X.; Xiaoa,C.; Wangb,W.: "Electrical And Mechanical Properties Of Novel Polyaniline Coated Polycaprolactam Fibers" *Synthetic Metals*,12844 **(2009),** www.elsiever.com (03.04.2010)

[94] Wha Oh,K.; Hun Kim ,S.; AE Kım,E.: "Improved Surface Characteristics and the Conductivity of Polyaniline–Nylon 6 Fabrics by Plasma Treatment" *Journal of Applied Polymer Science,* 81, **(2001)** 684.

ÖZGEÇMİŞ

10 Ekim 1985 yılında Samsun'da doğdu. 1996 tarihinde İlk öğrenimini ve 2003 tarihinde Orta öğrenimini Çanakkale'de bitirdi. 2008 yılında lisans eğitimini Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği bölümünde bitirdi. Aynı yıl içerisinde Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.