

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN SERAMİK KATKILI
KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Onur YILDIRIM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN SERAMİK KATKILI
KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Onur YILDIRIM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN SERAMİK KATKILI
KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Onur YILDIRIM
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından 4242 nolu proje ile desteklenmiştir.**

AĞUSTOS 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN SERAMİK KATKILI
KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

ONUR YILDIRIM
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS / ~~DOKTORA TEZİ~~

Bu tez 05./08./2019. tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU
Prof. Dr. M. Cengiz KAYACAN
Prof. Dr. Numan HODA



ÖZET

VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN SERAMİK KATKILI KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Onur YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halil İbrahim MUTLU

Ağustos 2019; 52 sayfa

Bu çalışmada Sol-Gel metodu ile hazırlanan radar absorban özellikleri iyi olan seramik malzemelerden Barium titanat (BaTiO_3)'a Gd, Zn, B, Mn; İtiryum zirkonat (YZr_2O_7)'ye, La, Sr, Bi, Co, Ba; Bizmut ferrit (BiFeO_3)'e Mn; Baryum zirkonat (BaZrO_3)' e, Co, Bi ve Sr katkılanmış, harici olarak MnYO_3 çözeltisi hazırlanmıştır. Katkılı ve katkısız çözeltiler %2, %3, %5, %10 ve %15 oranlarında epoksi matrisinin içerisine eklenerek mekanik olarak karıştırılmıştır. Elde edilen katkılı epoksi vakum infüzyon metodu ile 10x10 cm ebatlarında 4 kat bixial, örgü açısı= 0 / 90, yoğunluk (gr/m^2)= 800 elyaf numunelerine infüzyon edilmiştir. Ayrıca her bir katkılı epoksiye ait katı epoksi numuneleri eşit boyutlarda ölçüm için hazırlanmıştır. Elde edilen bu numunelerin radar absorban özellikleri ve sertlikleri ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre %2 $\text{Co}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ katkılı kompozit numunenin 3.5 GHz'de %17 oranında radar emilimine sahip olduğu %5 $\text{Mn}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ katkılı kompozit numunenin 6.5 Ghz de %32 oranında radar emilimine sahip olduğu , %5 MnYO_3 katkılı numunenin 6.5 Ghz de %44 oranında radar emilimine sahip olduğu , %10 $\text{Sr}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ katkılı numunenin 5 Ghz de %43 oranında radar emilimine sahip olduğu , %5 BaZrO_3 katkılı numunenin 5 Ghz de %32 oranında radar emilimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Farklı numunelerde yapılan testler sonucundan düşük frekansta en iyi radar absorban özelliği $\text{Sr}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ katkılı numunede 5 GHz frekansta elde edilen ölçümde görülmüştür.

Tüm radar emilimleri ölçülen numunelerin sertlik değerleri de katkı oranlarına göre ölçümleri yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: İnfüzyon, Kompozit, Radar, Sertlik

JÜRİ: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

Prof. Dr. M. Cengiz KAYACAN

Prof. Dr. Numan HODA

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF CERAMIC ADDITIVE COMPOSITE MATERIALS PRODUCED BY VACUUM INFUSION METHOD

Onur YILDIRIM

MSc Thesis in Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

August 2019; 52 pages

In this study, ceramic materials, such as Barium Titanete (BaTiO_3), doped with Gd, Zn, B, Mn, Yttiria zirconate (YZr_2O_7) doped with La, Sr, Bi, Co, Bismuth ferrite (BiFeO_3) doped with Mn, and Barium zirconate (BaZrO_3) doped with Co, Bi and Sr; externally prepared MnYO_3 solution which are known to have good radar absorbing characteristics were prepared mechanically as mixed and unmixed solutions at %2, %3, %5, %10 ve %15 fractions in an epoxy matrix by sol-gel method. The obtained doped epoxy vacuum infusion method was used to infuse 10x10 cm size 4x biaxial, mesh angle = 0/90, density (gr / m^2) = 800 fiber samples. In addition, solid epoxy samples of each doped epoxy are prepared for measurement in equal dimensions. The radar absorbency and hardness of these samples were measured. According to these results, 2% $\text{Co}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ added composite sample had a radar absorption of 17% at 3.5 GHz. 5% $\text{Mn}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ added composite sample had a radar absorption of 6.5% at 6.5 Ghz, 5% MnYO_3 added sample. It has been determined that the sample has a radar absorption rate of 44% at 6.5 Ghz, the sample with 10% $\text{Sr}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ additive has 43% radar absorption at 5 Ghz and the sample with 5% BaZrO_3 additive has a radar absorption of 5% at 5 Ghz. The results of the tests carried out in different samples showed that the best radar absorber at low frequency was observed at 5 GHz frequency in the $\text{Sr}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ doped sample.

All radar absorbances were measured according to the ratio of the hardness values of the measured samples.

KEYWORDS: Infusion, Composite, Radar, Hardness

COMMITTEE: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

Prof. Dr. M. Cengiz KAYACAN

Prof. Dr. Numan HODA

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlık aşamasında bütün akademik çalışmalarında kıymetli desteklerini benden esirgemeyen, bilgisiyle çalışmalarına destek olan Akdeniz Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Halil İbrahim MUTLU'ya teşekkürleri bir borç biliyorum. Testlerimi gerçekleştirirken yardımcı olan Öğr. Gör. Ömer KESMEZ'e içtenlikle teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında desteklerini ve önerileri ile çalışmamın ilerlemesine katkıda bulunan sayın Arş. Gör. Pınar ÇÖLKESEN'e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tezin deneysel kısımlarının tamamlanabilmesi için alt yapısını kullanmana imkân sağlayan, benim de bir çalışanı olduğum ARES TERSANECİLİK A.Ş yöneticilerine desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak her anımda yanımda olan, maddi ve manevi destekleriyle bana destek olan sevgili eşim Şule YILDIRIM' a ve çok değerli bütün YILDIRIM ailesine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Tarihçe.....	3
2.2. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Genel Özellikleri.....	4
2.2.1. Kompozit malzemelerin avantajları.....	5
2.2.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları	6
2.2.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları	6
2.2.4. Kompozit imalatında kullanılan takviye malzemeler	7
2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	10
2.3.1. Açık kalıplama ve el yatırma yöntemi.....	10
2.3.2. Püskürtme yöntemi	11
2.3.3. İplik sarma	11
2.3.4. Rtm	11
2.3.5. Vakumla kalıplama.....	12
2.3.6. Otoklav	13
2.3.7. İnfüzyon.....	13
2.4. Sol-Jel Metodu	14
2.5. Kaplama Yöntemleri	14
2.5.1. Daldırılmalı kaplama tekniği (Dip coating).....	14
2.5.2. Püskürtme kaplama tekniği (Spray Coating).....	14
2.5.3. Akış kaplama tekniği (Flow coating)	15
2.5.4. Döndürme kaplama tekniği (Spin coating).....	15
2.5.5. Laminer kaplama yöntemi (Laminar coating)	15
2.5.6. Merdaneli kaplama yöntemi (Roll coating).....	15

2.5.7. Baskı Kaplama (Printing)	15
2.6. Elektromanyetik Soğurma	15
2.6.1. Elektromanyetik Spektrum ve Elektromanyetik Dalgalar	16
2.6.2. Mikrodalga Frekansı ve Uygulamaları	18
2.6.3. Elektromanyetik Dalga- Malzeme Etkileşimleri	18
2.6.4. Elektromanyetik Dalga Absorblayan Malzemeler.....	21
3. MATERYAL VE METOT	24
3.1. Solüsyonların Hazırlanması	24
3.1.1. BaTiO ₃ çözeltisinin hazırlanması	24
3.1.2. Y ₂ Zr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması.....	24
3.1.3. Mn:Y ₂ Zr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması	24
3.1.4. Bi:Y ₂ Zr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması	25
3.1.5. LaYZr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması	25
3.1.6. Zn katkılı BaTiO ₃ çözeltisinin hazırlanması.....	25
3.1.7. Gd katkılı BaTiO ₃ çözeltisinin hazırlanması	25
3.1.8. BaZrO ₃ çözeltisinin hazırlanması	25
3.1.9. Co katkılı YZr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması	26
3.1.10. Mn katkılı BaTiO ₃ çözeltisinin hazırlanması	26
3.1.11. B katkılı BaTiO ₃ çözeltisinin hazırlanması	26
3.1.12. Mn _{0,5} Bi _{0,5} FeO ₃ çözeltisinin hazırlanması	26
3.1.13. Sr _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması.....	26
3.1.14. Bi _{0,5} Sr _{0,5} YZr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması	27
3.1.15. MnYO ₂ çözeltisinin hazırlanması.....	27
3.1.16. Co _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇ çözeltisinin hazırlanması.....	27
3.1.17. Co _{0,5} Ba _{0,5} ZrO ₃ çözeltisinin hazırlanması.....	27
3.2. Hazırlanan Katkılı Epoksi Çeşitleri.....	28
3.3. Solüsyonların Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozite Katkılanması	29
3.4. Katkılı kompozit parçaların üretiminde ve testlerinde kullanılan ekipmanlar	30
3.4.1. Vakum regülatörü	30
3.4.2. Vakum pompası	31
3.4.3. Network analyzer.....	31
3.4.4. Sertlik ölçüm cihazı	31

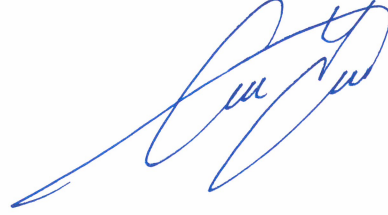
3.4.5. Hassas terazi	32
3.4.6. pH metre	32
3.4.7. Manyetik karıştırıcı.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1. Absorpsiyon Ölçüm Sonuçları	34
4.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları	42
5. SONUÇLAR	47
6. KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Üretilen Seramik Katkılı Kompozit Malzemelerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

28/05/2019

Onur YILDIRIM



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ba	:Baryum
Bi	:Bizmut
cm	:Santimetre
Co	:Kobalt
dB	:Desibel
EM	:Elektro Manyetik
Fe	:Demir
GHz	:Gigahertz
Gpa	:Gigapaskal
gr	:Gram
La	:Lantanyum
m	:Metre
mm	:Milimetre
Mn	:Mangan
Mpa	:Megapaskal
Ni	:Nikel
nm	:Nanometre
O	:Oksijen
Ti	:Titanyum
Zr	:Zirkonyum
%	:Yüzde
σ	:Direnç

Kısaltmalar

- AÜ : Akdeniz Üniversitesi
- C :Kimyasal uygulamalarda korozyon dirençli
- CTP :Cam takviyeli plastik
- D :Düşük dielektrik sabiti
- M :Yüksek elastisite modüllü
- RAM :Radar absorblayıcı malzeme
- RTM :Reçine transfer modülü
- S :Yüksek mukavemetli
- YM :Yüksek mukavemet
- Z :Alkalin ortamlara dirençli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Büyük bir bölümü kompozitten imal edilmiş araç	3
Şekil 2.2. Matris takviye elemanı şematik gösterimi	4
Şekil 2.3. Farklı cam elyafların kimyasal içerikleri	9
Şekil 2.4. El yatırma elyaf uygulaması	10
Şekil 2.5. Püskürtme yöntemi şematik gösterimi	11
Şekil 2.6. Vakumla kalıplama	12
Şekil 2.7. İnfüzyonla tekne güvertesi üretimi	13
Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrum	17
Şekil 2.9. Atmosferik opaklık	17
Şekil 2.10. Mikrodalga frekans uygulamaları ve frekans bantları	18
Şekil 2.11. EM dalga ve malzeme arasındaki etkileşimin şematik gösterimi	21
Şekil 2.12. “Salisbury Ekranlaması” şematik modeli	23
Şekil 2.13. Jaumann Absorplayıcı'nın Şematik Gösterimi	23
Şekil 3.1. Hazırlanmış solisyonlar a) BaTiO ₃ çözeltisi, b) Mn BaTiO ₃ çözeltisi	24
Şekil 3.2. Kalıp ayırıcı uygulanması	29
Şekil 3.3. Elyaf numunelerinin hazırlanması	29
Şekil 3.4. İnfüzyon hatlarının çekilmesi	30
Şekil 3.5. SCM vakum regülatörü	31
Şekil 3.6. Gianneschi vakum pompası	31
Şekil 3.7. Buehler marka sertlik ölçüm cihazı	31
Şekil 3.8. Hassas terazi	32
Şekil 3.9. pH metre	32
Şekil 3.10. Manyetik karıştırıcı	33
Şekil 4.1. %5 ve %10 BaTiO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	34

Şekil 4.2. %5 ve %10 Gd katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	35
Şekil 4.3. %5 BaTiO ₃ ve %5Gd katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	36
Şekil 4.4. %10 BaTiO ₃ ve %10Gd katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	36
Şekil 4.5. %5 ve %10 BaZrO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	37
Şekil 4.6. %5 ve %10 Sr _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	38
Şekil 4.7. %5 ve %10 MnYO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	39
Şekil 4.8. %3 ve %5 Mn _{0,5} Bi _{0,5} FeO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	40
Şekil 4.9. %2 Co _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇ ve %2 LaYZr ₂ O katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Farklı cam elyafların kimyasal içerikleri.....	9
Çizelge 4.1. %5 ve %10 BaZrO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları.....	37
Çizelge 4.2. %5 ve %10 Sr _{0.5} La _{0.5} YZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları.....	38
Çizelge 4.3. %5 ve %10 MnYO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları.....	39
Çizelge 4.4. %3 ve %5 Mn _{0.5} Bi _{0.5} FeO ₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları.....	40
Çizelge 4.5. %2 Co _{0.5} La _{0.5} YZr ₂ O ₇ ve %2 LaYZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları.....	41
Çizelge 4.6. Katkısız, %2, %3, %5 ve %10 LaYZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	42
Çizelge 4.7. Katkısız, %2, %3, %5 ve %10 Co _{0.5} La _{0.5} YZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	42
Çizelge 4.8. %5, %10 ve %15 Sr _{0.5} La _{0.5} YZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	42
Çizelge 4.9. %5, %10 ve %15 BaZrO ₂ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	43
Çizelge 4.10. Katkısız, %2, %3 ve %5 Mn _{0.5} Bi _{0.5} FeO ₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	43
Çizelge 4.11. Katkısız, %5, %10 ve %15 Mn katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	44
Çizelge 4.12. Katkısız, %2, %3 ve %10 CoYZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	44
Çizelge 4.13. Katkısız, %2 ve %3 BiYZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	44
Çizelge 4.14. %10 BaZrO ₃ ve %10 Co _{0.5} Ba _{0.5} ZrO ₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	45
Çizelge 4.15. Katkısız, %2 ve %3 Bi _{0.5} Sr _{0.5} YZr ₂ O ₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	45

Çizelge 4.16. Katkısız, %2 ve %10 MnYO ₂ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	45
Çizelge 4.17. Katkısız, %5 ve %10 Gd katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	45
Çizelge 4.18. Katkısız, %5 ve %10 Zn katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri.....	46
Çizelge 4.19. Katkısız, %5 BaTiO ₃ , Gd katkılı BaTiO ₃ , Zn katkılı BaTiO ₃ , Mn katkılı BaTiO ₃ ve B katkılı BaTiO ₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri	46

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler; birden fazla malzemenin bir araya getirilerek meydana gelen malzeme gurubu olarak tanımlanır. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerin daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesidir.

Tarihte binlerce yıl önce, evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar şeklinde faydalanılmıştır. Bu yapıda birbirinden farklı özelliklere sahip malzemeler bir araya getirilmiş ve kompozit malzemelerin temelini oluşturmuştur. Günümüzde ise taleplerin artması, farklı mekanik özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulması sebebiyle mevcut malzemelerin yetersiz olduğu fark edilmiş ve özelliklerini geliştirme ihtiyacı doğmuştur.

1940'lu yılların başında Amerika cam elyafı keşfetmiş ve günümüzde de kullanılan modern kompozit üretimi başlamış, cam kompozit endüstrisindeki en büyük pazarı oluşturacak şekilde yerini almıştır (Bratukhin ve Bogolyubov 2012).

Diğer yandan kompozit malzemeler malzeme bilimi açısından değerlendirildiğinde kısmen yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak görülebilir.

Parçacık takviyeli kompozitler; takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacık dolgular, her ne kadar yaygın olarak fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılsa da birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar. Özellikle kompozit malzemelerin savunma sanayisinde kullanılması, parçacık takviyeli malzemelerin istenilen özellikleri sağlamasıyla gelişmiştir. Bununla birlikte, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirilmesi için parçacık katkılı geliştirilmesi ile kullanılmakta ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Burada temel prensip günümüz teknolojisinde işletme maliyetlerinin düşürülebilmesi, düşük enerjilerle yüksek verimliliğin alınabilmesi için hafif malzeme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten dolayı kompozit malzemeler her geçen gün gelişmekte, sadece savunma sanayinde değil diğer sektörlerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Her alanda kendine yer bulan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir (Bratukhin ve Bogolyubov 2012).

Dünyada kompozit teknolojisinin gelişmesiyle beraber teknolojinin her sektörde olduğu gibi savunma sanayisindeki kullanımı da büyük artış gösterdi. Kompozit malzemeler çeşitli kombinasyonlarla kendini oluşturan bileşenlerden daha dayanıklı ve hafif hale getirilebildiğinden dolayı sanayi sektöründe önemli bir yer almaktadır. Bu durumdan faydalanılarak savunma sanayinde hafif aynı zamanda dayanıklı kompozit zırhlar geliştirilmeye başlandı. Günümüzde de pek çok zırh sistemlerinde kompozit malzemelere rastlamak mümkün olup, bu malzemelerin mukavemet özellikleriyle beraber hafif birer malzeme olmasından kaynaklı savunma sanayi ile beraber havacılık, uzay, savunma sektörlerinde olduğu gibi bir çok sektörde kullanılmaktadır (Doğan 2018).

Radar emilimine sahip ürünler, özel amaçlı radar emici malzemeler kullanılarak radyasyonunu/dalga yansımalarını minimize etmeyi sağlayarak hava unsurlarının ya da diğer araçların radar izlerini büyük miktarda azaltan bir teknolojidir. Hava savunma radarının çalışma prensibi; temelde elektromanyetik dalgaların hedef unsura gönderilmesi/yöneltmesi ve yansıyan dalgaların hava savunma sisteminde (radar) toplanması/değerlendirilmesi üzerinedir. Radar antenleri radyo frekansları gönderir ve frekanslar herhangi bir unsurla karşılaştığında geri yansır. Sonrasında radar antenleri bu yansıma ve varış sürelerini hesaplayarak hava ya da diğer unsurların ne kadar uzakta olduğu hakkında bilgi verir. Uçakların metal gövdesi radar sinyallerini çok iyi seviyede yansıtır. Bu durum uçakların hava radarlarına kolaylıkla yakalanmasına/yüksek izde görünüme neden olur. Ancak bu dalgaları geri yansıtmak yerine farklı açılarda farklı konumlara yansıtmayı, absorblaması ya da karıştırması durumunda radar izi minimize edilir. Savunma sanayisinde kullanılan kompozit malzemelere katılacak olan seramik malzemeyle ürün kalitesinin geliştirilmesi yanı sıra radar emilim özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen sonuçlarla askeri amaçlı üretilen kompozit gövdeli hava, deniz ve kara araçlarında gizlilik ve kamuflaj özellikleri iyileştirilebilir.

Bu çalışmada; literatürde var olan çalışmalardan farklı olarak cam elyaf-epoxy karışımına sahip olan kompozit malzemelere üçüncü bir malzeme olarak radar absorpsiyon özellikleri olan katkı malzemeleri takviye edilmiştir. Emülsiyon ve süspansiyon formlarda numuneler hazırlanıp vakum infüzyon yöntemi ile cam elyaf bütünlendirilmiştir. Farklı oranlarda cam elyaf yapısına eklenen seramik malzemelerin radar emilimine ve sertlik değişimi gibi mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Tarihçe

İnşaat işlerinden ev aletlerinin imalatına, savunma sektöründe kullanılan bir zırhtan uçağa, gezi amaçlı imal edilen yattan uzaya giden mekiğe kadar her alanda yaygın bir şekilde kullanılan kompozit malzemelerin son zamanlarda hayatımıza girdiği düşünülse de tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında Amerika'nın cam elyafı keşfi ile gerçekleşmiştir (Kaw 1997).

Malzeme ilk olarak doğada bulunduğu gibi kullanılmış, ihtiyaç doğrultusunda malzemeye mekanik müdahalelerde bulunulmuş ve daha işlevsel hale getirilmiştir. İlk çağlardan beri kırılğan olan malzemelere daha mukavim olsun diye bitkisel veya hayvansal lifler eklenerek kırılğanlık bir nebze olsun önlenmiş ve kırılğanlık özelliğinin giderilmesi sağlanmıştır. Bu konuyu en iyi özetleyen malzeme kerpiç olup, killi çamur ile samanın bir araya getirilmesiyle daha mukavim bir yapı elde edilmiş ve kullanım sırasındaki dayanımı arttırılmıştır.

20 yüzyılın ortalarından itibaren sentetik reçineler ile beraber lifler sanayide kullanılmaya başlamıştır. Genel olarak "fiberglass" diye adlandırılan bu yapılar; reçine ve liflerin bir araya geldiği, mukavim ve sızdırmaz özelliği olan, su depolarının imalatında, çatı sızdırmazlık işlerinde ve tekne yapımında kullanılan ülkemizde de geniş kullanım yelpazesine sahip malzemedir. "Anadol" markalı ilk Türk otomobil bu malzemedен imal edilmiştir.



Şekil 2.1. Büyük bir bölümü kompozitten imal edilmiş araç (Pektaş 2018)

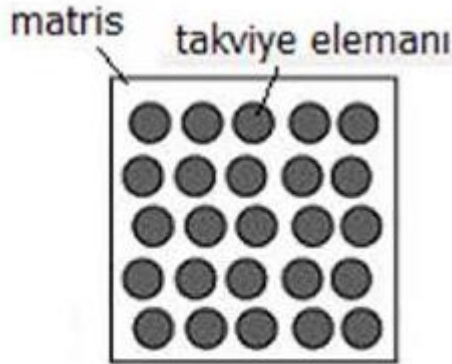
Günümüzde Ağırlık / Mukavemet endüstrideki en önemli parametre olduğundan fiber takviyeli kompozit malzemeler uçak ve uzay taşıtları gibi ağırlığın önemli olduğu

uygulamalarda çok büyük bir kullanım alanı bulmuşlardır. İşletme maliyetlerinin düşük olması, bakım-onarım maliyetlerinin az olması sebebiyle reçine-cam elyaf benzeri yapıların sayısı günden güne artmaktadır.

2.2. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Genel Özellikleri

Kompozit malzeme birbirinden farklı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip birden fazla malzemenin bir araya getirilerek elde edilen üçüncü malzemedir. Kelime olarak karışım manasında gelse de kompoziti oluşturan malzemeler birbiri içerisinde çözünmezler, aralarında atom alışverişinde bulunmazlar, kimyasal olarak tepkimeye girmezler. Bu özellikleri sayesinde alaşım olarak değerlendirilmezler (Bratukhin ve Bogolyubov 2012).

En basit kompozitler minimum 2 malzemenin bir araya gelmesiyle elde edilirler. Bu malzemeler matris diye adlandırılan ana malzeme ve takviye elemanı olarak adlandırılan, yapıya mukavim özellik katan takviye malzemeleridir. Matris malzemesi takviye malzemesinin etrafını sararak kenetlenir, yapıyı bir arada tutmayı sağlar. Bu iki bileşenin kalitesi ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir (Kaw 1997).



Şekil 2.2. Matris takviye elemanı şematik gösterimi (Köksal 2017)

Bir malzemenin kompozit malzeme olarak değerlendirilebilmesi için aşağıdaki özellikleri barındırması gerekmektedir:

- İki veya daha fazla mekanik ve fiziksel özelliği birbirinden farklı olan malzemelerin bir araya gelmiş olması gerekmektedir.
- Bir araya gelen malzemelerde kimyasal olarak bir bağın bulunmaması, atom alışverişinin yapılmaması gerekmektedir.
- Elde edilen yeni malzeme kendini oluşturan malzemelerden daha farklı özelliklere sahip olması gerekmektedir.

- Doğada bulunmayan, insan yapımı bir malzeme olması gerekir (Bratukhin ve Bogolyubov 2012).

İmal edilecek kompozit malzemenin hangi amaçla ve hangi alanda kullanılacağı üretim öncesi tespit edilmesi, üretilecek malzemenin bileşenleri ona göre seçilmesi gerekmektedir. Malzeme tasarımı yapılırken bileşen malzeme özellikleri, maliyet, kullanım yeri ve üretim yöntemi tespiti en önemli kritik noktalaradır.

Tasarımda en büyük zorluklardan birisi kompozit malzemelerin izotropik özellikleridir. Bu yüzden imalat öncesi parçaya her yönden ne kadar yük geleceğini ve parçanın hangi noktasında ne kadar mukavemete ihtiyaç olduğunu iyi anlayıp, fiberlerin yerleşim açılarını ona göre hesaplamalı, ihtiyaç duyulan ürün kalitesine göre uygun üretim yöntemi tercih edilmelidir.

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak, bir takviye edici malzeme ve bunun çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Burada takviye edici malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin diğer bir amacı da, fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olunur (Kaw 1997).

2.2.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemelerin final ağırlıklarının benzer ürünlere göre hafif oluşu büyük yapıların imalatında büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca fiber takviyeli malzemelerin korozyon dirençlerinin yüksek oluşu, ısı, elektrik ve ses izolasyonlarının yüksek oluşu, kullanım yerlerine göre büyük avantaj sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin dezavantajlarının giderilmesine yönelik yapılan çalışmaların olumlu sonuç vermesi halinde, kompozit malzemeler metalik malzemelerin yerini alacaktır. Kompozit malzemelerin avantajlarını şu şekilde sıralanır.

- Yüksek mukavemet özelliğine sahiptir.
- Titreşim absorpsiyon özelliklerinin iyidir.
- Yüksek akma sınırına sahiptirler.
- Korozyon direnci yüksektir.
- Kopma uzama değeri alternatiflerine göre yüksektir.
- Yorulma direnci yüksektir.

- Aynı mukavemet özelliğine sahip muadil malzemeye göre daha hafif yapıdadır.
- Kalıcı olarak renklendirilebilirler.
- Isıya ve ateşe dayanıklı hale getirilebilirler.
- Yalıtım özellikleri çok iyidir.
- Farklı üretim yöntemleriyle üretilebilir.
- Karmaşık ürünlerin üretimi mümkündür.
- İnşaattan savunmaya, enerjiden uzay sanayiye kadar çok geniş bir alanda kullanılabilir.
- Daha yüksek sertliğe sahip olabilirler (Campbell 2010).

2.2.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları

- Metal malzemelere göre fiyatları pahalıdır.
- Üretim prosesi sonrası ek parça uygulamasının yapılması tercih edilmez.
- Üretim prosesi sonrası kürtleme ihtiyacı vardır.
- Üretim sırasındaki iklim koşulları ürün kalitesini doğrudan etkiler. Nem ve sıcaklık hassasiyetleri yüksektir.
- Üretim yöntemleri pahalıdır.
- İmalatı alt yapı gerektirmektedir.
- Stoklu malzemelerin kısa raf ömürleri vardır. Bazı kompozit üretiminde kullanılan malzemelerin soğuk zincir bozulmadan tedarik edilmesi gerekmektedir (Campbell 2010).

2.2.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozit malzemeler yüksek mukavemet ve ağırlık yönündeki avantajından dolayı birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. İlk başlarda sadece havacılık sektöründe kullanılan bu malzemeler şu anda çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu alanlara denizcilik, spor aletleri, sağlık sektörü, otomotiv örnek olarak verilebilir (Şahin 2000).

2.2.4. Kompozit imalatında kullanılan takviye malzemeler

Takviye malzemelerinden elyaf takviyeli kompozitler, kompozit alanında kullanılan en yaygın türdür. Cam elyaflar elyaf takviyesi konusunda en sık kullanılanlardır. Polyester reçineler fiyat bakımından en uygun olan ürünlerdir. Bu sebepten matris malzeme olarak bu ürünler tercih edilmektedir. Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır ve bu bileşen malzemeler mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit içerisinde liflerin nasıl uzandığına bağlı olarak kompozit malzemelerin özellikleri değişkenlik gösterir (Vasiliev ve Morozov 2001).

Parçacık takviyeli kompozitler; takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Kompozitin sertliğini artırmada çoğunlukla parçacıklar etkilidir fakat dayanımı artırmada fazla bir etkiye sahip değildir. Parçacık dolgular, yaygın olarak fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılır. Ancak birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar.

Tabakalı kompozitler; tabakalı kompozit yapı en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit yapı tipidir. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısıl genişleme özelliklerini kapsamaktadır. Farklı elyaf yönelmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılardır (Kaw 1997).

Karma kompozitler; aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere “hibrit kompozitler” denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise; düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyaf kullanılarak tasarlanan hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyaflı kompozitten daha yüksektir (Mallick 2007).

Cam elyaf; en sık kullanılan fiber malzemelerden olup uygulamaya yönelik olarak kompozisyonları değişiklik gösterir ve özel kısaltmalarla adlandırılırlar. Örneğin cam fiber deyince akla ilk gelen tip olan E fiber camları (uygulamaların %90'ı) iyi yalıtkan olmaları nedeniyle elektriksel uygulamalar için geliştirilmiştir ve E camları olarak adlandırılırlar (Ersoy 2001).

Karbon elyaf; çelikten 4,5 kat daha hafif olan katran, orlon ve naylondan oluşan bileşimleri içerir. Dikkat çektiği bir diğer özelliği çelikten 3 kat daha dayanıklı olmasıdır. Günümüzde karbon elyaf uydu, uçak, roket sistemi, Formula 1 yarış arabalarının iskelet sisteminde sıklıkla kullanılmaktadır. Karbon elyaf teknolojisini, Boeing, Airbus gibi havacılık firmaları da uçaklarında sıklıkla kullanan firmalar arasında yer almaktadır.

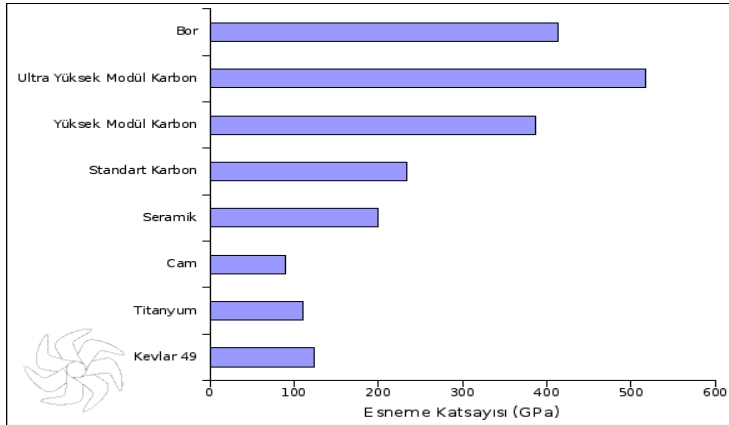
Dünyada sadece 40 bin ton üretilen büyük öneme sahip karbon elyaf ABD, Almanya, Japonya İngiltere, Fransa, Macaristan, Tayvan ve Çin tarafından üretilmektedir. Günümüzde ülkemizde de üretim bazı özel firmalar aracılığıyla başlamıştır.

Karbon elyaf; İnşaat sektöründe cephe kaplamalarda tercih edilmekle beraber enerji sektöründe de tercih edilmektedir. Karbon fiberin ipliksi yapısı onu çelikten daha dayanıklı bir hale getirmektedir. Karbon elyafa katılan naylon bu maddenin daha dayanıklı olmasını sağlar. Karbon elyaf üretiminde katran, orlon, naylon haricinde çeşitli kimyasallar ve yan maddeler de kullanılmaktadır. Uygulanan çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemler neticesinde ortaya çıkan karbon elyaf yapısal özellikleri açısından ikiye ayrılmaktadır (Şahin 2000).

Karbon elyafın avantajlarına bakacak olursak; öncelikle karbon elyaf çok hafif olduğundan oldukça kullanışlıdır. Daha hafif donanım ile daha fazla verim alınması büyük bir avantajdır. Paslanma özelliği yoktur. Görsel olarak çekici olması da karbon elyafı ön plana çıkarmaktadır. İstikrarlı ve maksimum fayda sağlar Uzun ömürlü olması sebebiyle tercih sebebidir. Karbon elyafın yoğunluğu çeliğe oranla düşüktür. Bu da karbon elyafı yüksek ağırlık oranı gerektiren uygulamalar için eşsiz bir malzeme yapmaktadır. Karbon elyaf mevcut özellikleri ve bu özelliklere uygun kullanım alanıyla birlikte çelikte yarışır duruma gelmeye başlamıştır.

Aramid elyaf, 1971 senesinde Dubond firması tarafından üretilmiştir. Basma kuvveti mukavemet özellikleri iyi olduğundan askeri alanda yaygın bir kullanımı vardır.

Düşük yoğunluğa sahip olup, esneklik modülleri, çekme mukavemetleri, darbe dayanımları, yorulma mukavemeti, sürtünme dayanımları ve kimyasal dayanımları yüksektir. Isıl genleşmeleri azdır. Yüksek sıcaklığa ve aleve dayanıklı ve iletkenlikleri düşüktür. Ayrıca morötesi ışınlarla karşı hassasiyetleri fazladır. Nemden etkilenmeleri kolay olur ve tuzlara ve asitlere karşı dayanımları düşüktür (Ersoy 2001; Özgültekin 2012).



Şekil 2.3. Farklı cam elyafların kimyasal içerikleri (Üsküdar 2013)

Bor elyafın, günümüzün en üstün elyafının karbon olduğunu düşünen pek çok insan vardır. Karbon elyafı, çok iyi niteliklere sahip bir malzeme olmakla birlikte pek çok açıdan ondan daha iyisi de mevcuttur; Bor Elyafı! Çekme dayanımı YM sınıfından karbon elyafına eşdeğer olan Bor elyafın basma mukavemeti ise karbonun yaklaşık iki katıdır. Bu niteliğinden bor elyafının ne derece önemli bir malzeme olduğu anlaşılır. Diğer bütün elyaf türlerinden daha pahalı olan bor elyaf, karbon elyaf fiyatının da altı katı civarındadır. Maalesef bu özelliği kullanımı kısıtlamaktadır.

Günümüzde spor malzemeleri alanında da bor elyafı kullanılmaktadır. Örneğin; büyük balıklar için kamışlar, tenis raketleri, kayaklar, formula-1 arabaları ve yarış bisikletleri gibi ürünlerde bor elyafının kullanıldığını görülmektedir. Maliyeti yüksek olsa karşılayabilenler için bor elyafı spor malzemelerinde ciddi bir üstünlük sağlamaktadır. Mesela bir yarış bisikleti gövdesi Bor elyaf ile üretildiğinde karbon elyafa göre %70 kadar hafif yapılabilmektedir (Sonmez 2009).

Bor'un yüksek maliyeti 30 sene öncesinin karbonun pahalılığı ile benzerlik göstermektedir. Karbon elyafı çok pahalı olduğu için yakın zamana kadar sadece havacılık ve uzay faaliyetlerinde kullanılmaktaydı. Ama yapılan çalışmalar ve yatırımlar neticesinde bugün fiyatı (izafi olarak) o kadar düştü ki sıradan deniz uygulamalarında bile kullanılabilir oldu. Bor elyafı, karbon elyafına göre çok üstün niteliklere sahiptir ve üzerinde yeteri kadar çalışılırsa dünya borunun yaklaşık dörtte üçüne sahip olan Türkiye'nin uygun ve kaliteli bor elyafı üretilebilir.

2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

2.3.1. Açık kalıplama ve el yatırma yöntemi

Kompozit üretim yöntemleri içerisinde en çok tercih edilen ve birçok avantaja sahip yöntemdir. Yöntem kalıp olarak hazırlanan malzemenin içine serilen kuru haldeki takviye malzemesine el işçiliği ile sıvı haldeki reçine uygulama prensibine dayanır. Kullanılan kalıplarda farklı malzemelerden imal edilmiş olabilir. Örnek verecek olursak alüminyum kalıplar, kompozit kalıplar, ahşap kalıplar. El yatırma yönteminde sıvı formdaki reçine kalıp içerisine el ile uygulanırken, püskürtme yöntemin bu işlem bir makine ile yapılmaktadır. İki yöntemde de ürün kalitesi istenildiği ölçüde olduğu sürece yatırım maliyeti diğer yöntemlere göre düşüktür (Campbell 2010).

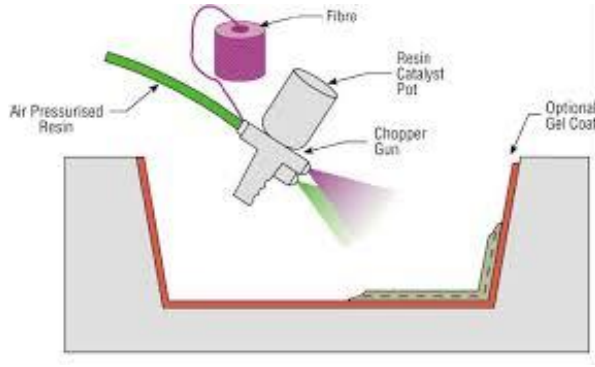


Şekil 2.4. El yatırma elyaf uygulaması

Kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı malzeme uygulaması yapılır. Ardından kalıp yüzeyini kapatacak şekilde elyaf serilir. Malzemeye reçine uygulaması yapılırken rulo ile yüzeye reçine sürülür. Ardından reçine sürülen yüzeylerin üzeri cırcır adı verilen bir rulo üzerinden geçilir. Böylece birden fazla takviye malzemesi uygulaması sırasında tabakalar arasında kalan hava dışarı atılması, tabakaların tam anlamıyla birleşmesi sağlanır (Durgun 2014). Uygulama bitip bütün yüzeylerin ıslandığından emin olunduktan sonra kompozit malzeme yüzeyi “peel ply” denilen bir soyma kumaşı ile kaplanır. Bu kumaşın amacı yüzey üzerinde oluşabilecek toz birikintisi önlemek, hava atmosferinden yüzeyin ayrılmasını sağlamaktır (Sonmez 2009).

2.3.2. Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi el yatırma yöntemi gibi bir kalıp üzerine uygulanmaktadır. İmalatı yapılacak kalıp üzerine kalıp ayırıcı uygulanır. Kalıp ayırıcı aşamasından sonra reçine ve elyaf bir tabanca vasıtasıyla yüksek basınçta yüzeye doğru püskürtülür. Reçinenin yapışkan özelliği sayesinde elyaf parçaları yüzeye tutunur. Uygulama bütün kalıbı kaplayacak şekilde yapıldıktan sonra yüzeyin üzeri “peel ply” denilen soyma kumaşı ile kapatılarak daha sonra ürün kurumaya bırakılır.



Şekil 2.5. Püskürtme yöntemi şematik gösterimi (Atas 2014)

2.3.3. İplik sarma

İplik sarma yöntemi yüksek yüzeye kalitesine sahip ürünlerin imalatı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yöntem genellikle içi boş tank veya boru gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bir bobin vasıtasıyla kuru elyaf iplikleri bir reçine banyosundan geçerler. Reçine emdirilmiş elyaf ipler kendi eksenini etrafında dönen bir merdane şeklindeki malzemeye istenilen dizide sarılır ve sarma işlemi istenilen kalınlık ve tabaka sayısına ulaştıktan sonra sonlandırılır. Daha sonra malzeme kurumaya bırakılır (Campbell 2010).

2.3.4. Rtm

Üretilecek parçaya göre kesilmiş veya önceden şekillendirilmiş takviye malzemelerinin, iki kalıp arasına yerleştirilerek kalıpların kapatılıp üretim yapılan bir kapalı kalıplama yöntemidir. Reçine, reçine giriş hatlarından, basınç altında iki kalıp içerisine pompalanır. Uygulama (2.75-3) bar basınç altında uygulanmaktadır. Kalıp içerisindeki havanın dışarı çıkabilmesi için hava firar devresi bulunur. Ayrıca iki kalıp arasındaki reçine sızdırmazlığı özel bir conta ve benzeri bir malzeme ile sağlanır. Kalıp işlem sırasında uygulanacak basınca dayanıklı imal edilmelidir (Serbest 2008). RTM çok büyük parçaların üretimi için uygun bir yöntem değildir. Kalıplama maliyeti düşünüldüğünde 1 ürün üretimi için 2 ayrı kalıba ihtiyaç duyulmaktadır. Kalıp

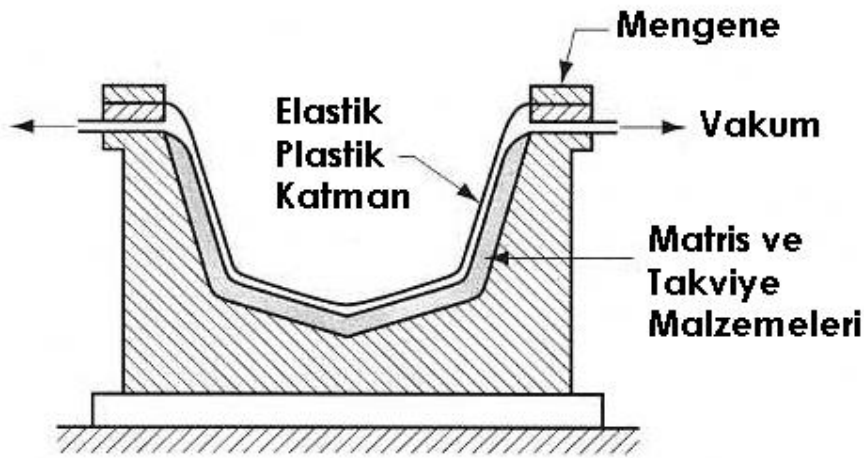
yüzeylerinin birine ya da ikisine birden “jelkot” uygulaması yapılarak, elde edilecek ürünün yüzeylerinin her iki tarafı da jelkotlu imal edilebilir (Köksal 2017).

RTM parçaları üretim yöntemi ve tasarım koşullarına bağlı olarak kalıp başına saatte birden çok parçanın kalıplanmasına imkân vermektedir. RTM çalışma ortamına açık kalıplardan daha az uçucu organik madde açığa çıkarırlar. Bunun sebebi RTM kapalı bir kalıp sistemi olmasıdır. Kalıp devir süreleri el yatırması ve püskürtme yöntemlerine göre daha kısadır. RTM kalıplarının maliyetini diğer kapalı kalıplama yöntemlerinde kullanılan kalıplara oranladığımızda daha ucuz olduğunu görmekteyiz. Bu yöntem ile imal edilmiş parçaların her iki tarafı da kusursuz çıkmaktadır. Dolgu sistemleri maliyeti düşürmektedir. Ayrıca alevlenmeme ve duman yaymama özellikleri, yüzey görünümünde iyileşme ve daha yüksek kırılma dayanımı gibi performans özellikleri katmaktadır. Kalıp ve ekipman maliyetleri, el yatırması ve püskürtme yöntemlerine oranla yüksektir. RTM, orta ölçekli üretim hacmine sahip bir üretim yöntemidir.

Başlıca RTM uygulamaları şu şekildedir: depolama tankları, tıbbi cihazlar, büyük araç parçaları, araba ana konstrüksiyon panelleri, otobüs panelleri, gösterge panelleri, araç koltukları, kimyasal pompalar, küçük tekneler gibi denizcilik parçaları, rüzgâr enerjisi tribün kanatları, uçak parçaları, mermi gövdeleri, bisiklet gövdeleri ve kapılardır (Campbell 2010).

2.3.5. Vakumla kalıplama

Bu yöntemde “prepreg” ürünler kullanılmaktadır. Açık kalıplamada olduğu gibi “prepreg” malzeme kalıp içerisine yerleştirilir ve kalıp kenarlarına sabitlenmiş plastik bir elastik sızdırmazlık malzemesi kullanılarak sistem vakuma alınır. Vakum etkisi sayesinde malzeme kalıp yüzeyine yapışır ve kalıbın şeklini alır. Arada kalan hava boşlukları vakum etkisiyle sistem dışına çıkartılır. Vakumlama işlemi tamamlandıktan sonra sistem ısıtılır ve reçinenin reaksiyona girerek sertleşmesi sağlanır (Genç ve Arıcı 2008).



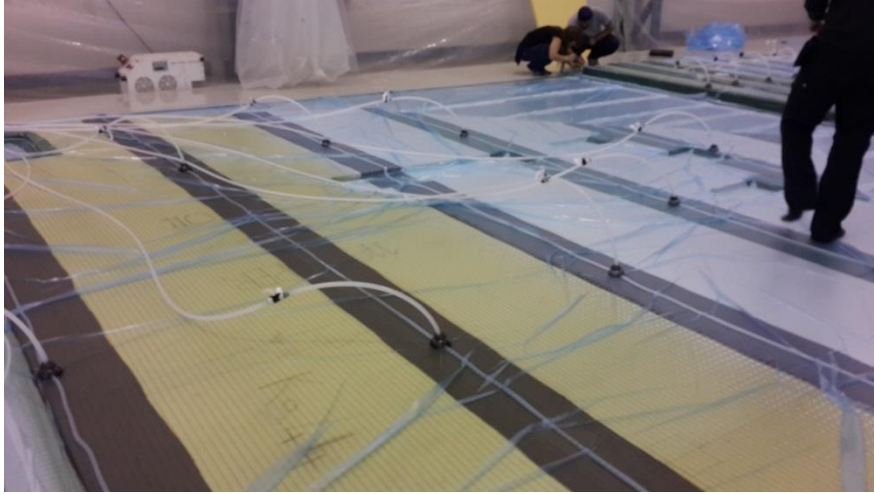
Şekil 2.6. Vakumla kalıplama (Atas,2014)

2.3.6. Otoklav

Vakumla kalıpla ve basınçlı kalıplama yöntemlerinin birleştirilmesi sonucu elde edilen yöntemdir. Vakumla kalıba alınan malzeme basınçlı bir kap içerisine konularak ortam basıncı artırılır. Böylece takviye malzeme katlarının üzerinde daha çok basınç oluşur. Böylece lamineler arasında daha iyi bir bütünlük sağlanır. Kapalı sistem kademeli olarak ısıtılır. Bu ısıtma işlemi 2 kademedir oluşur. Birinci ısıtma işleminde sistem belli bir dereceye çıkartılır, reçinenin viskozitesinin düşmesinden kaynaklı içeride kalan hava kabarcıklarının sistem dışına çıkartılması sağlanır. İkinci kademe ısıtma işleminde ise polimerizasyonun tamamlanması sağlanır. Üretim yöntemi, altyapı ihtiyaçları sebebiyle pahalı bir yöntemdir. Genellikle havacılık ve uzay sanayi de bu yöntemle kompozit malzeme üretimi tercih edilmektedir (Yazıcıoğlu ve Borat 2018).

2.3.7. İnfüzyon

Bu yöntem 1980 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmaya başlanmış ve şu anda birçok sektörde kullanılmaya devam etmektedir. Kompozit üretiminde vakum etkisinden faydalanılır. Üretilen malzeme el değmeden üretilebilir. Farklı şekil ve büyüklükteki malzemelerin üretimi için uygundur. Malzemeye uygun reçinenin vakum etkisi altında emdirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu sebeple kullanılan reçinenin viskozitesi çok önemlidir.



Şekil 2.7. İnfüzyonla tekne güvertesi üretimi

Kalıp yüzeyi kirden arındırmak için yüzeye kalıp ayırıcı uygulanır. Üretilen ürünün yüzey kalitesine göre jelkot uygulaması yapılabilir. Kalıp ayırıcı uygulanan yüzeye takviye malzemeleri konulur. Takviye malzemelerin kaymasını önlemek için kompozit malzemenin kimyasal yapısına etki etmeyecek yapıştırıcılar uygulanabilir. Takviye malzeme serme işlemi tamamlandıktan sonra malzeme üzerine “peel ply” denilen malzeme serilir. “Peel ply” yüzey pürüzlülüğünü artırarak boya macun

uygulaması için kolaylık sağlamaktadır. Reçine ve vakum hatları yerleştirilip sistem vakum torbası ile vakuma alınır. Vakum torbasınız sızdırmazlığından emin olunmalıdır. Gerekli miktarda reçine hazırlanır, vakum etkili altındaki kapalı sisteme daha önce yerleştirdiğimiz reçine borusu üzerinden sisteme reçine verilir. Bir yandan vakum etkisindeyken sistem diğer yandan reçine girişi sağlanır. Reçinenin tüm yüzeylere ulaştığı anda reçine girişi kesilerek sistem sabit vakum altında bırakılır. Kürleşme işlemi tamamlandığında sistem malzemeleri sökülür ve kompozit malzeme elde edilmiş olur (Campbell 2010).

2.4. Sol-Jel Metodu

Sol-jel prosesi, bir sıvı faz içinde bulunan katı taneciklerden oluşan kolloidal süspansiyonların (sol) ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içerir. Sol-jel teknolojisi, çözelti formundan yola çıkılarak farklı uygulama alanlarına yönelik olarak seramik, cam ve kompozit malzemeler üretim tekniğine verilen genel isimdir (Jones 1989). Bu yöntem, kolloidal boyuttaki kristal olmayan tanecikleri kullanarak sulu veya susuz bir ortamda, metal oksitlerin kararlı çözeltilerinin hazırlanmasına dayanır. Kolloidal olarak kullanılan tanecikler 500 nm ve daha altındaki boyutlara sahip taneciklerdir ve optik mikroskopla görülemezler, çünkü en büyük boyutları ışığın dalga boyuna eşittir. Bu yöntemde temel özellik, sulu bir çözücü içerisinde metal bileşiklerini, kendi başlangıç birimlerine dağıtmaktır. Bu amaçla çeşitli başlangıç maddeleri (prekürsör) kullanılmaktadır (Brinker ve Scherer, 1990).

Sol-jel yöntemi, cam, seramik, metal ve plastik altlıkların kaplanarak yüzey özelliklerini iyileştirmek, yeni özellikler kazandırmak (optik, elektronik, kimyasal ve mekanik gibi) amacıyla uygulanan bir kaplama tekniğidir.

2.5. Kaplama Yöntemleri

2.5.1. Daldırmalı kaplama tekniği (Dip coating)

Yöntem, bir cam taşıyıcının hazırlanan sol içerisine belli bir hızda daldırılıp aynı hızda geri çıkarılması yoluyla film kaplanması işlemidir (Evcin 2006).

2.5.2. Püskürtme kaplama tekniği (Spray Coating)

Bu yöntemde çözeltinin basınçlı şekilde nozülünden püskürtülmesiyle atomizasyona benzer şekilde ince damlacıklar üretilir.

2.5.3. Akış kaplama tekniği (Flow coating)

Akış kaplama tekniğinde kaplanacak parça askıda tutulur ve kaplama çözeltisi üzerinde dökülür. Fazla çözelti malzeme üzerinden akarak bir tankta toplanarak tekrar kullanılır.

2.5.4. Döndürme kaplama tekniği (Spin coating)

Döndürme Kaplama ince filmlerin üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tipik olarak proses bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve sonra altlığın yüksek dönme hızlarında (tipik olarak 3000 dev/dak) döndürülmesi esasına dayanır.

2.5.5. Laminer kaplama yöntemi (Laminar coating)

Spin ve sprej kaplama tekniklerinde kaplanan miktardan daha fazla kaplama malzemesi kullanılmaktadır. Boru şeklindeki dağıtım ünitesi altlığın yüzeyinin altında fiziksel temas olmadan hareket ettirilir. Gözenekli silindir merdane ve altlık yüzeyi arasında bulunan çözelti kendi kendine meydana gelen bir menüsküs yaratılır ve kılcak yağma koşulları gerçekleştirildiğinde yüksek derecede tek düze bir kaplama oluşturulur. (Evcin 2006).

2.5.6. Merdaneli kaplama yöntemi (Roll coating)

Merdaneli kaplama prosesi sürekli dönen bir ya da birden fazla sayıdaki merdane kullanarak sürekli hareketli bir altlık ya da ağ üzerine ince sıvı film kaplama işlemidir.

2.5.7. Baskı Kaplama (Printing)

Yaygın olarak dekor camlar için kullanılan baskı tekniğidir. Bu teknikte, belirli bir dokuya sahip ipekten yapılmış taslak tabakasına çözelti emdirildikten sonra malzeme yüzeyine baskı uygulanması ile kaplama gerçekleşir.

2.6. Elektromanyetik Soğurma

Bu bölümde, elektromanyetik (EM) spektrum ve elektromanyetik dalgalar hakkında bilgiler, geniş banttaki uygulamaları, malzemelerle etkileşimleri temel olarak ele alınacaktır. EM dalgalarının malzeme etkileşimleri elektromanyetik kayıp mekanizmaları üzerinden tartışılacaktır. Ek olarak, EM özelliklerini belirlemek için karakterizasyon yöntemi, boş alan yöntemi ve matematiksel arka planı tanıtılacaktır. Son olarak, literatürde verilen temel EM dalga emici malzemeleri ve uygulamaları anlatılacaktır.

2.6.1. Elektromanyetik Spektrum ve Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik (EM) spektrum terimi, tüm frekanslar için elektromanyetik radyasyona karşılık gelir; ve elektromanyetik radyasyon, enerji taşıyan ve hem dalgalar hem de parçacık olarak hareket eden hareketli fotonlardan kaynaklanır. Elektromanyetik radyasyonun ilk keşfi William Herschel tarafından yapıldı ve elektromanyetik radyasyon Michael Faraday tarafından elektromanyetizma ile ilişkilendirildi. Bu gelişmelerden sonra elektromanyetizmanın temel yasaları ilk olarak matematiksel ifadelerle James Clerk Maxwell tarafından ortaya atıldı. Bu ifadeler Gauss yasası, Faraday yasası ve Amper yasasıdır. Maxwell denklemlerine göre, değişken elektrik alanlarının serbest alanlarda manyetik alanlarda değişiklikler yarattığı veya manyetik alandaki değişikliklerin, elektrik alanlarındaki varyasyonları oluşturduğu ve elektrik ve manyetik alanlardaki bu farklılıkların birbirine dik olduğu söylenebilir. Bütün bunların yanı sıra, Maxwell'in elektrik ve manyetik alanlardaki değişikliklerin hızı konusundaki analizi, Maxwell'in elektromanyetik dalgaların bilinen ışık hızında gitmesi gerektiğini düşünmesine neden oldu. Bu düşünce, Heinrich Hertz'in çalışmaları ile denenmiş ve desteklenmiştir.

Bu bulgular çok bilinen bir denklemin oluşumuna yol açar:

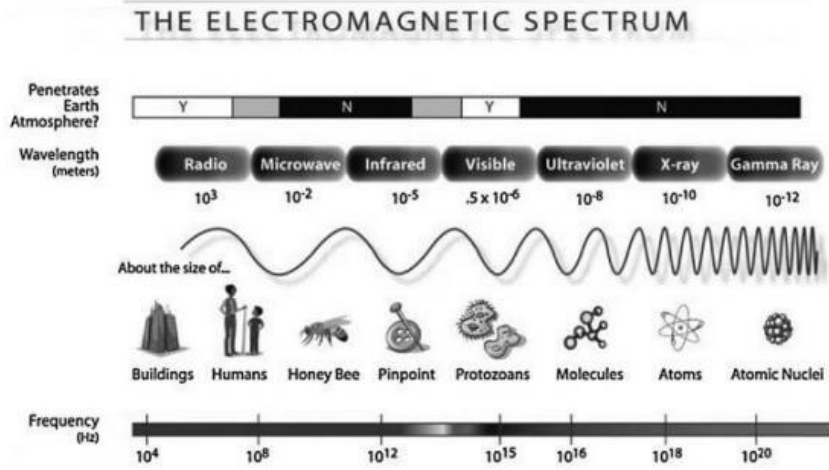
$$c = \lambda f \quad (1.1.)$$

Burada; (c) bilinen ışık hızıdır, $3,00 \times 10^8$ m/s, (f) frekans ve (λ) dalga boyudur. Bu formülün tüm frekanslara uygulanması, Şekil 1.1'de görülen elektromanyetik spektrumu verir.

Boş uzayda, EM dalgaları manyetik alan ve elektrik alanla ilişkili enerji taşır. Bu enerji fotonlar tarafından taşınır ve fotonların enerjisi (E), denklem (1.2.) ile ifade edilebilir, (h) Planck'ın sabiti, $6,63 \times 10^{-34}$ J.s'dir.

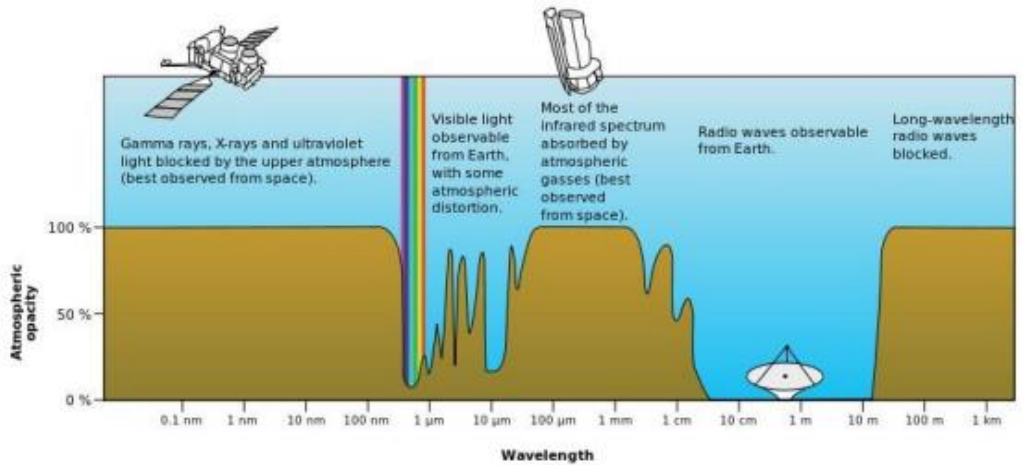
$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.2.)$$

Bu denklem, kısa dalga boylu EM dalgalarının daha yüksek enerji taşıdığını veya benzer şekilde düşük frekanslı EM dalgalarının daha düşük enerjiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrum (Gupta ve Leong 2007)

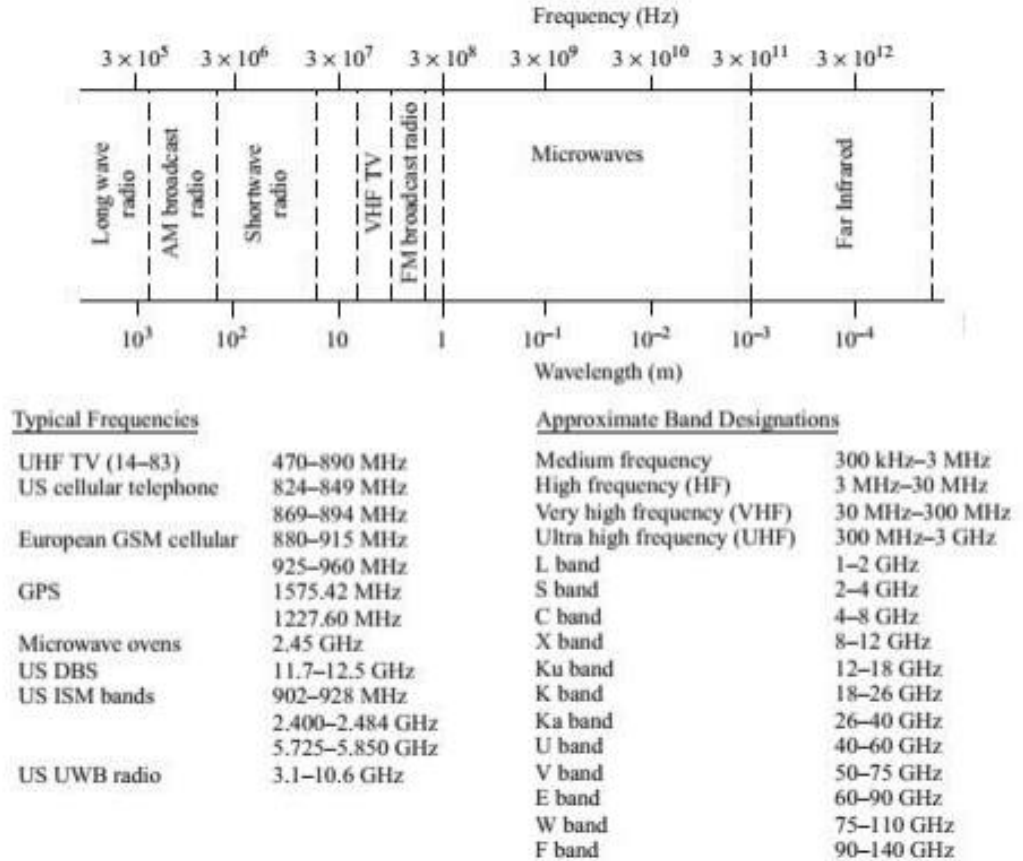
EM dalgaları doğal yolla veya elektronik cihazlar tarafından üretilebilir ve uzayda bir noktadan diğerine iletilebilir. EM dalgalarının iletiminin tamamlama olasılığı, EM dalgalarının enerjisi ve dalga boyu ile ilgilidir. Boş uzayda, EM dalgalarını herhangi bir noktaya iletme mümkündür; ancak atmosferdeki koşullar EM dalgalarının bu davranışını önler. Farklı dalga boyları için farklı geçirgenlik seviyelerine sahip atmosferik bir opaklık vardır. Atmosferik opaklığın, toprağa ulaşması için zararlı elektromanyetik radyasyonları engellemesinin yanı sıra, üzerinde çalışan elektronik cihazların sıklığını da belirtir. Bütün EM spektrumu için atmosferik opaklık, Şekil 2.8'de görülebilir. Bu şekil elektronik cihazlarda, uydularda, cep telefonlarında, radarlarda vs. mikrodalga frekansının kullanılmasının nedenini açıklar.



Şekil 2.9. Atmosferik opaklık (IPAC, 2010)

2.6.2. Mikrodalga Frekansı ve Uygulamaları

Mikrodalga frekansı, 300 MHz ile 300 GHz arasındaki frekans aralığına karşılık gelir (Pozar 1993) . Bu frekanslar 1 mm ile 1 m arasındaki dalga boylarına eşittir. Günümüzde, elektronik cihazlar genellikle mikrodalga frekansı kullanarak çalışmaktadır. Daha önce belirtilen atmosferik opaklık ve gerekli hassasiyet nedeniyle, mikrodalga cihazların çalışması için en iyi seçenek mikrodalga frekansıdır. Günümüz dünyasında iletişim cihazları, uydular, havacılık uygulamaları, radarlar, kablosuz cihazlar, cep telefonları, askeri uygulamalar, tıbbi uygulamalar vb. mikrodalga frekansında çalışmaktadırlar. Bu cihazların tümü, mikrodalga frekansının farklı frekans bantlarında çalışır. Bu sınıflandırma Şekil 2.9' de görülebilir. Elektronik cihazların sayısı arttıkça, EM dalgalarının girişimi kaçınılmazdır. EM dalgalarının girişimi, yanlış yorumlara, yanlış haberleşmelere, yanlış hava tahminlerine, yanlış izlemeye vs. neden olur. Bu sorunu çözmek için elektromanyetik kalkanlama gereklidir.



Şekil 2.10. Mikrodalga frekans uygulamaları ve frekans bantları (Pozar 1993)

2.6.3. Elektromanyetik Dalga- Malzeme Etkileşimleri

Boşluk boyunca yayılan EM dalgalarına herhangi bir sorunla karşılaşılabilir. EM dalgalarının enerjisi veya gücü, başka herhangi bir EM dalgası veya maddesiyle

etkileşime girdiğinde azalır. Farklı elektrik alanların ve manyetik alanların etkileşimleri EM dalgaları için enerji düşüşünün nedenidir. EM dalgaları madde veya diğer EM dalgalarıyla karşı karşıya kaldıklarında, üç davranışta hareket edebilirler; yansıma, iletim ve soğurma. Enerjinin konuşması nedeniyle, başlangıç enerjisinin sistemin nihai enerjisine eşit olması gerekir. Bu nedenle, yüzleşme sonrası EM dalgalarının yansıma, iletim ve absorpsiyon gücü, EM dalgalarının başlangıçtaki gücüne eşit olmalıdır. Bu denklem (1.3)'ün oluşumuna yol açar. P_0 , P_R , P_T , P_A denkleminde sırasıyla ilk gücü, yansıyan parçanın gücünü, iletilen parçanın gücünü ve emilen parçanın gücünü gösterir. EM koruma malzemeleri ve EM dalga emici malzemeler bu kurala göre tasarlanmaktadır. Bu çalışmada, EM dalgalarının emilimini arttırmak için, yansıma ve aktarma parçalarının gücü zayıflatılmaya çalışılmıştır. Bu sadece elektromanyetik kayıp mekanizmalarının kullanılmasıyla mümkündür.

$$1 = \frac{P_R}{P_0} + \frac{P_T}{P_0} + \frac{P_A}{P_0} \quad (1.3)$$

2.6.3.1. Elektromanyetik kayıp mekanizması

Elektromanyetik dalga emiliminin temel prensibi emici malzemelerdeki EM dalgasını sınırlandırmaktır. EM dalga enerjisi, enerjinin dönüşümü ile emici malzemeler tarafından emilebilir. Enerjinin korunması prensibine göre, yansıtılmayan ve aktarılmayan EM enerjisinin diğer enerji formlarına dönüştürülmesi gerekir. EM enerjisinin elektriksel ve manyetik enerjinin birleşimi olması nedeniyle, EM enerjisi kolayca EM dalga emici malzemelerde elektriksel ve manyetik enerji formlarına dönüştürülebilir. Bu, emici malzemelerin elektriksel ve manyetik özelliklerini uygun frekans aralığı için ayarlamakla mümkündür. Bu nedenle; dielektrik kaybın ve manyetik kaybın kullanılması ile emme özellikleri elde edilebilir.

- Dielektrik kayıp

Dielektrik malzeme, tanım olarak, elektrik yalıtkanının elektrik alanı varlığında kutuplanabileceğidir. Polarizasyon, elektrik dipollerinin uygulanan alana hizalanması olarak tanımlanabilir. Bu işlem dipolleri döndürmek için kuvvet ister (Callister ve Rethwisch; 2010). Malzemelerde dielektrik kayıp, üç tip kayıp mekanizmasından oluşur; iletkenlik kaybı, dielektrik gevşeme kaybı ve rezonans kaybı (Gürer 2010).

- İletkenlik Kaybı

Elektriksel iletkenlik, malzemelerde serbest elektronların hareket etmesinin sonucudur. İletken malzemeler için, uygulanan elektrik alan elektronların konumlarını değiştirmek için yeterlidir; bununla birlikte, dielektrik materyaller yeterli serbest elektron olmadığından buna muktedir değildir. Bu nedenle, dielektrik materyallerin iletkenliği sınırlıdır.

- Dielektrik Gevşeme Kaybı

Dielektrik gevşeme, değişen elektrik alan nedeniyle dipol polarizasyonuna yanıt olarak gecikme anlamına gelir. Dipol rotasyonu, elektrik alanındaki daha yüksek frekanslı değişikliklere kıyasla daha zamana bağlı ve daha yavaş bir harekettir (Huo vd. 2009). Bu nedenle, materyal yüksek EM dalgalarıyla etkileşime girdiğinde, dipoller frekans değişikliği kadar hızlı tepki veremezler. Bu, malzemelerin dielektrik sabitlerinde değişime neden olur ve frekansa bağlı olan polarizasyon türlerinde değişime neden olur (Callister ve Rethwisch 2010).

- Rezonans Kaybı

Malzemelerdeki atomların, iyonların ve elektronların doğal salınım frekansı, elektrik veya manyetik alanla aynı frekansa sahip olduğunda, emme gerçekleşir (Huo vd. 2009).

- Manyetik kayıp

Manyetizma, uygulanan manyetik alan olduğunda malzemelerin davranışları olgusudur. Eşleştirilmemiş elektronların sayısı malzemelerde bulunan manyetizma türünü belirler. Malzemeler dengeli manyetik dönmelere sahiptir, diyagnostik malzemelerdir ve malzemeler eşleştirilmemiş elektronlara sahiptir; dengesiz manyetik dönüşle sonuçlanan paramanyetik malzemelerdir. Üçüncü tür bir manyetizma vardır; ferromanyetizma. Paramanyetik malzemeler gibi, ferromanyetik malzemeler de çiftleşmiş elektronlara sahiptir, ancak manyetik momentleri uygulanan manyetik alana paralel durur (Callister ve Rethwisch 2010).

- Girdap Akım Kaybı

Girdap akımı tanım olarak, iletken malzemeler üzerindeki uygulanan manyetik alanın değişimi ile oluşan elektrik akımlarıdır (Fink ve Christiansen 1989). Girdap akım kaybı mekanizmasının prensibi, uygulanan manyetik alana karşı çıkan malzemede bir akım üretmektir. Sac malzemelerin kalınlığı arttırılarak girdap akımı kaybı arttırılabilir (Huo vd. 2009). Ayrıca, girdap akımı kaybı tane büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü ve morfolojiden etkilenebilir (Dai vd. 1976; Foster ve Littmann 1985).

- Manyetik Histeriz Kaybı

Geri dönüşümsüz manyetik alan hareketleri ve manyetik moment dönüşleri manyetik histeriz kaybına neden olur (Fink ve Christiansen 1989).

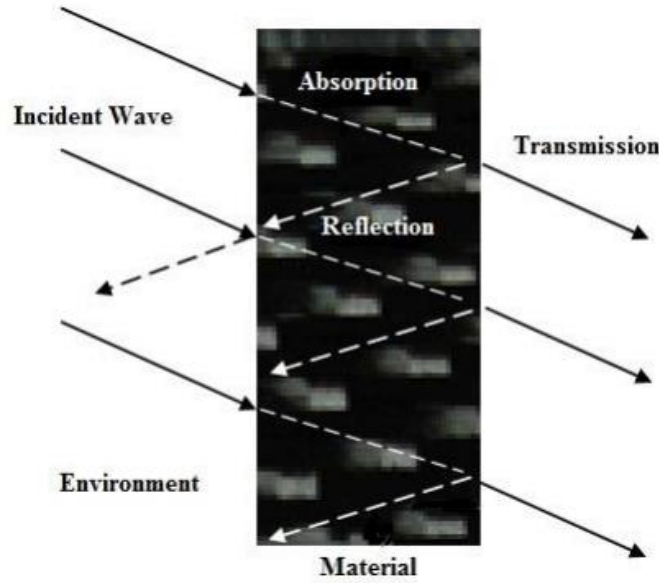
- Artık Kayıplar

Kalan kayıp, frekansa bağlı bir kayıp mekanizmasıdır. Malzemelerdeki termal dalgalanmalar ve elektronların histerezisi düşük frekanslarda kalıntı kaybına neden olurken, ferromanyetik rezonans, alan duvarı rezonansı ve boyut rezonansı yüksek frekanslarda kalıntı kaybına neden olur. Kalan kayıp, partikül büyüklüğü ve manyetik

malzemelerin anizotropisi değiştirilerek ayarlanabilir (Fink ve Christiansen 1989; Hang ve Daika 2005).

2.6.4. Elektromanyetik Dalga Absorblayan Malzemeler

EM dalga emici malzemelerin temel amacı, EM enerjisini belirli bir alanda ve belirli bir değerde sınırlamak ve yayılmasını önlemektir (Neelakanta 1995). EM dalgaların ve malzemelerin etkileşimi ile yaratılan yansıma, iletim ve soğurma olaylarının şeması Şekil 2.10'da görülmektedir. EM dalga emici olarak kullanılacak bir malzeme, gelen EM dalgalarını bastırmalı veya saçmalıdır. Bu, daha önce açıklanan elektromanyetik kayıp mekanizmalarıyla mümkündür. EM dalga emici ile EM dalgaları arasındaki etkileşimi tanımlayan temel özellikler, emicilerin manyetik ve geçirgenlikleri ve empedansları (Z_m) ile ilişkilidir (Marshall ve Skitek 1990). EM dalga emiciler, radar emici malzemeler (RAM), elektromanyetik girişim koruyucu (EMI), gürültü önleyici malzemeler ve yüksek frekanslı iletişimde kullanılan malzemeler olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.11. EM dalga ve malzeme arasındaki etkileşimin şematik gösterimi

Günümüz teknolojisinde, radarın çalışma prensibi, önce bir verici tarafından yayınlanan, sonra bir hedef tarafından yansıtılan ve son olarak bir alıcı tarafından yakalanan nabızı temel almaktadır. Alıcı, yansıtılan EM dalgasını analiz ederek hedefin yönünü, hızını ve konumunu tespit edebilir. Hedeften yansımayı bastırmanın iki yolu vardır; EM dalgalarını diğer yönlere dağıtmak için hedefin geometrisini değiştirmek veya EM dalgalarını emerek yansıyan enerjiyi azaltmak (Chin ve Lee 2005). Araştırmalar, hedefin geometrisini değiştirmenin hedefin aerodinamiğini etkilediğini ve verimliliğini olumsuz yönde düşürdüğünü gösteriyor. Bu nedenle, EM dalga emici kompozitler hakkındaki çalışmalar, ağırlık, düşük çevresel direnç ve monolitik

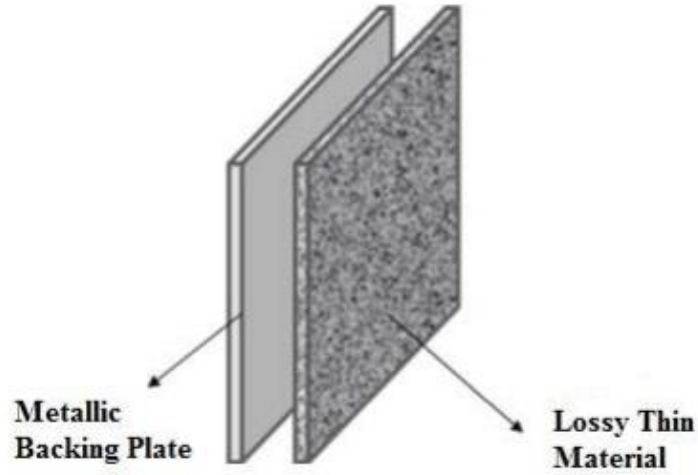
malzemelerin düşük mekanik özellikleri nedeniyle artmaktadır (Chin ve Lee 2007; Park vd. 2006; Vinoy ve Jha 2006).

Radar Absorblayan Malzeme (RAM)'lar, bir saldırı veya savunma sisteminin radar kesit alanını (RCS) azaltarak radarlar için gizli olacak şekilde tasarlanmıştır (Knott vd. 1993). Yalıtkan kompozitler, iletken partikül infüzyonlu polimerler ve seramikler ve ferritler RAM olarak kullanılmaktadır (Cao vd. 1998; Luo ve Chung 1999; Lee vd. 1999; Ghasemi vd. 2006). Dielektrik, metalik, karbon, ferrit tozu veya elyafla dağılmış kompozit malzemeler boya veya fayans şeklinde yüzeylere uygulanabilir. Ayrıca, ferrit tipi malzemeler, RAM'ler olarak fırınlanmış fayanslar şeklinde kullanılabilir (Wang vd. 2003; Rezende vd. 2001; Amin ve James 1981; Weir 1974; Biscaro vd. 2003).

Bahsedilen tüm malzemelerin emme kabiliyetleri, kalınlık, geometri, yüzey topografyası, RAM'larda ilave parça miktarı, her birinin büyüklüğü ve etkileşimi ile ilgilidir. Üstün radar emici malzemelerin hafif, pratik, uygun maliyetli ve ısıya, neme ve kirlilik erozyonuna karşı dayanıklı olması gerekir.

Polimerik reçine matrisinde dağıtılmış metalik ve metalik olmayan partikül (gümüş, karbon vb.) veya paslanmaz çelik ve karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozitler farklı frekans aralıklarında EM dalga emicileri olarak kullanılır (Chin ve Lee 2007; Pinho vd. 2002; Wen ve Chung 2007). Üstelik, manyetik kayıpları sağlayan ferrit ve nikel gibi parçacıklar, EM dalga emici takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır (Huang vd. 2004; Shui ve Chung 2000; Wu vd.2001).

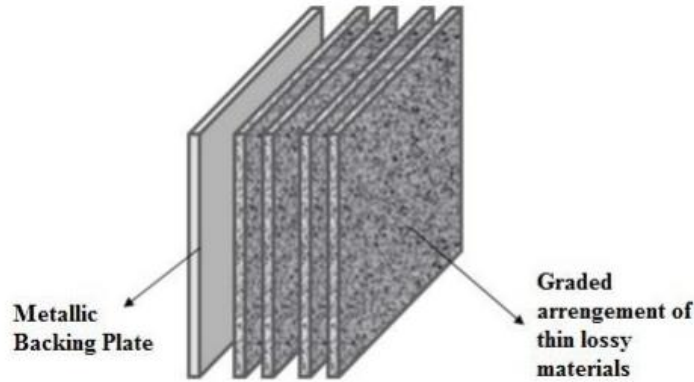
İlk geliştirilen RAM “Salisbury Screen” olarak bilinir. Bu tip RAM'lerde, gözenekli grafit eklenmiş ince malzeme, çeyrek dalga boyu ($\lambda / 4$) mesafeli metalik destek plakası üzerine yerleştirilir. İletim hattı teorisine göre, herhangi bir dalga boyunun çeyreğini kayıplı malzemedan uzağa yerleştiren metalik plaka, kayıplı malzemedeki etkin açık devre yaratır. Bu durumda, olay dalga boyu boş alanda olduğu gibi davranır ve yansıma gerçekleşemez. Bu, EM olayının emilimiyle sonuçlanır (Whu ve Chung 2002; Zhao vd. 2006; Oh vd. 2004).



Şekil 2.12. "Salisbury Ekranlaması" şematik modeli

Levha ile kayıplı malzeme arasındaki mesafe dalga boyunun çeyreği olmadığında, levhaya karşı direncine paralel bir empedans ile olay dalgasına rastlanır. Bu empedans, boş alan empedansından farklıdır; bu nedenle, olay dalgasının bir kısmı yansır. Bu gibi durumlarda, sapma arttıkça, istenmeyen yansıma artar. Bu nedenle, "Salisbury Ekranlaması" dar frekans aralığında çalışır, bu RAM için kullanışlı değildir.

Verimli frekans aralığının artırılması, birden fazla kayıplı ince malzemenin dereceli düzenlemeleriyle mümkün olabilir. Her kayıplı malzemenin direnci, bu sistemde metalik fırın plakasına yaklaşırken yavaş yavaş azalır. Bu sistem literatürde "Jaumann Absorblayıcı" olarak bilinmektedir. Her katmanın eklenmesi, verimli frekans aralığını artırır; ancak, sistemin kalınlığı da artmaktadır (Knott vd. 1993) Bu pratikliği ve maliyeti olumsuz yönde etkiler; bu nedenle, bu tip emiciler genellikle tercih edilmez.



Şekil 2.13. Jaumann Absorblayıcı'nın Şematik Gösterimi

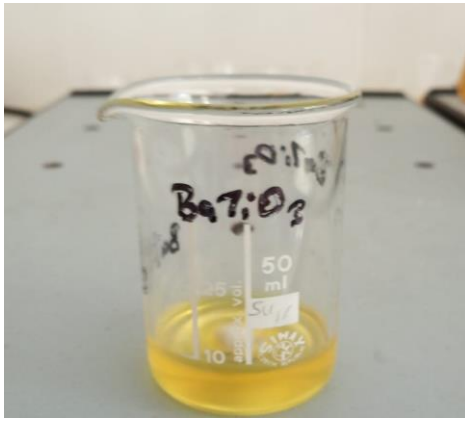
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Solüsyonların Hazırlanması

Bütün solüsyonlar benzer metotlar kullanılarak hazırlanmıştır.

3.1.1. BaTiO₃ çözeltisinin hazırlanması

0.353 gr baryum (2,4) pentadiyonat (C₁₀H₁₄BaO₄.XH₂O) (% 95, Alfa Aesar) ile 0.298 ml titanyum izopropoksit (Ti[OCH(CH₃)₂]₄) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması sonrası pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 5.3 olarak ölçüldü.



(a)



(b)

Şekil 3.1. (a) Hazırlanmış BaTiO₃ çözeltisi

(b) Mn BaTiO₃

3.1.2. Y₂Zr₂O₇ çözeltisinin hazırlanması

0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich), 0.1149 gr itriyum(III) nitrat heksahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.2 olarak ölçüldü.

3.1.3. Mn:Y₂Zr₂O₇ çözeltisinin hazırlanması

0.09895 gr mangan(II) klorür tetrahidrat (%99, Sigma-Aldrich), 0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich) ve 0.05745 gr itriyum(III) nitrat heksahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH kontrolü için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.1 olarak ölçüldü.

3.1.4. Bi:Y₂Zr₂O₇ çözeltisinin hazırlanması

0.7305 gr bizmut(III) nitrat pentahidrat (%98 Sigma-Aldrich), 0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich) ve 0.05745 gr itriyum(III) nitrat heksahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 4,9 olarak ölçüldü.

3.1.5. LaYZr₂O₇ çözeltisinin hazırlanması

0.2165 gr lantanyum(III) heksahidrat (%99.9 Sigma-Aldrich), 0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich) ve 0.05745 gr itriyum itriyum(III) nitrat heksahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.2 olarak ölçüldü.

3.1.6. Zn katkılı BaTiO₃ çözeltisinin hazırlanması

0.1765 gr baryum (2,4) pentadiyonat (C₁₀H₁₄BaO₄.XH₂O) (% 95, Alfa Aesar), 0,068 gr çinko klorür ve 0.298 ml titanyum izopropoksit (Ti[OCH(CH₃)₂]₄) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması sonrası pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 5.1 olarak ölçüldü.

3.1.7. Gd katkılı BaTiO₃ çözeltisinin hazırlanması

0.353 gr baryum (2,4) pentanediyonat (C₁₀H₁₄BaO₄.XH₂O) (% 95, Alfa Aesar) ile 0.298 ml titanyum izopropoksit (Ti[OCH(CH₃)₂]₄) ve 0.227 gr gadolinyum(III)(2,4) pentadionate hydrate (Gd(C₅H₇O₂)₃.xH₂O)(%99 Alfa Aesar) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması için uygun miktarda trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 4.9 olarak ölçüldü.

3.1.8. BaZrO₃ çözeltisinin hazırlanması

0.353 gr baryum (2,4) pentadiyonat (C₁₀H₁₄BaO₄.XH₂O) (% 95, Alfa Aesar) ile 0.487 gr zirkonyum pentadiyonat (Ti[OCH(CH₃)₂]₄) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması sonrası pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 5.3 olarak ölçüldü.

3.1.9. Co katkılı YZr_2O_7 çözeltisinin hazırlanması

0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich), 0.0575 gr itriyum(III) nitrat heksahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) ve 0.145 gr kobalt (II) nitrat heksahidrat (%99.999, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.1 olarak ölçüldü.

3.1.10. Mn katkılı BaTiO_3 çözeltisinin hazırlanması

0.353 gr baryum (2,4) pentanediyonat ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{BaO}_4 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) (% 95, Alfa Aesar) ile 0.298 ml titanyum izopropoksit ($\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$) ve 0.099 gr mangan(II) klorür tetrahidrat (% 98, Sigma Aldrich) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması için uygun miktarda trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 5.1 olarak ölçüldü.

3.1.11. B katkılı BaTiO_3 çözeltisinin hazırlanması

0.353 gr baryum (2,4) pentanediyonat ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{BaO}_4 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) (% 95, Alfa Aesar) ile 0.298 ml titanyum izopropoksit ($\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$) ve 0,031 gr borik asit (% 99,5, Sigma Aldrich) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması için uygun miktarda trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 4.7 olarak ölçüldü.

3.1.12. $\text{Mn}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ çözeltisinin hazırlanması

0.09895 gr mangan(II) klorür tetrahidrat (%99, Sigma-Aldrich), 0.36525 gr bizmut(III) nitrat pentahidrat (%98 Sigma-Aldrich), ve 0,270 gr demir(II) klorür heksahidrat bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH kontrolü için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.1 olarak ölçüldü.

3.1.13. $\text{Sr}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ çözeltisinin hazırlanması

0.10825 gr lantanyum(III) heksahidrat (%99.9 Sigma-Aldrich), 0,103 gr stronsiyum izopropoksit (%99.9, Sigma-Aldrich), 0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich) ve 0.05745 gr itriyum(III) nitrat heksahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.2 olarak ölçüldü.

3.1.14. Bi_{0,5}Sr_{0,5}YZr₂O₇ çözeltisinin hazırlanması

0.10825 gr lantanyum(III) hegzahidrat (%99.9 Sigma-Aldrich), 0,245 gr Bizmut (II) nitrat hegzahidrat (%99.999, Sigma-Aldrich), 0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich) ve 0.05745 gr itriyum(III) nitrat hegzahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.3 olarak ölçüldü.

3.1.15. MnYO₂ çözeltisinin hazırlanması

0.1979 gr mangan(II) klorür tetrahidrat (%99, Sigma-Aldrich), 0.115 gr itriyum(III) nitrat hegzahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH kontrolü için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.1 olarak ölçüldü.

3.1.16. Co_{0,5}La_{0,5}YZr₂O₇ çözeltisinin hazırlanması

0.10825 gr lantanyum(III) hegzahidrat (%99.9 Sigma-Aldrich), 0.073 gr kobalt (II)nitrat hegzahidrat (%99.999, Sigma-Aldrich) 0.4876 gr zirkonyum(IV) 2-4 pentadiyonat (%97, Sigma-Aldrich) ve 0.05745 gr itriyum(III) nitrat hegzahidrat (%99.8, Sigma-Aldrich) bileşikleri 4 ml trietanol amin, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması ve pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH'ı 5.2 olarak ölçüldü.

3.1.17. Co_{0,5}Ba_{0,5}ZrO₃ çözeltisinin hazırlanması

0.177 gr baryum (2,4) pentadiyonat (C₁₀H₁₄BaO₄.XH₂O) (% 95, Alfa Aesar), 0.146 gr kobalt (II)nitrat hegzahidrat (%99.999, Sigma-Aldrich) ve 0.487 gr zirkonyum pentadiyonat (Ti[OCH(CH₃)₂]₄) bileşikleri 4 ml glasiyel asetik asit, 1 ml etanol ve 1 ml metanol içerisinde çözüldü. Çözeltinin tamamen homojen olması sonrası pH ayarlanması için trietanol amin eklendi ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Çözeltinin pH değeri 5.1 olarak ölçüldü.

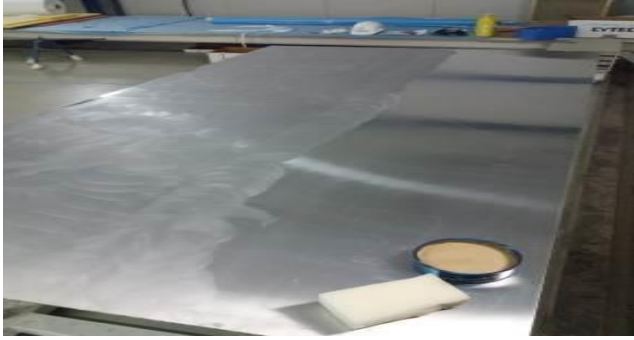
3.2. Hazırlanan Katkılı Epoksi Çeşitleri

Solüsyonlar Duratek Marka DTE 1200 model epoxy ile hazırlanmıştır. DTE1200 epoksi içerisine ağırlıkça %28 oranda DTS 1151 model yavaş sertleştirici katılmıştır. Elde edilen epoksi reçinelerden 50'şer ml numuneler hazırlandı ve içerisine farklı oranlarda farklı katkıları eklenmiştir. Elde edilen yeni karışımlar aşağıdaki gibidir.

1. Katkısız Duratec epoksi
2. Duratek epoksi içerisine hacimce %5 BaTiO₃, Gd katkılı BaTiO₃, Zn katkılı BaTiO₃ ve B katkılı BaTiO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
3. Duratek epoksi içerisine hacimce %2, %3 ve %10 CoYZr₂O₇ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
4. Duratek epoksi içerisine hacimce %5, %10 ve %15 Mn katkılı BaTiO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
5. Duratek epoksi içerisine hacimce %5 ve %10 Zn katkılı BaTiO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
6. Duratek epoksi içerisine hacimce %5 ve %10 Gd katkılı BaTiO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
7. Duratek epoksi içerisine hacimce %2, %3 ve %5 Mn_{0.5}Bi_{0.5}FeO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
8. Duratek epoksi içerisine hacimce %5, %10 ve %15 Sr_{0.5}La_{0.5}YZr₂O₇ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
9. Duratek epoksi içerisine hacimce %2 ve %3 Bi_{0.5} Sr_{0.5}YZr₂O₇ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
10. Duratek epoksi içerisine hacimce %2 ve %10 Mn katkılı Yttria konularak solüsyon hazırlanmıştır.
11. Duratek epoksi içerisine hacimce %2, %3, %5 ve %10 LaYZr₂O₇ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
12. Duratek epoksi içerisine hacimce %2, %3, %5 ve %10 Co_{0.5}La_{0.5}YZr₂O₇ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
13. Duratek epoksi içerisine hacimce %5, %10 ve %15 BaZrO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.
14. Duratek epoksi içerisine hacimce %10 BaZrO₃ ve %10 Co_{0.5}Ba_{0.5}ZrO₃ konularak solüsyon hazırlanmıştır.

3.3. Solüsyonların Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozite Katkılanması

Tez kapsamında infüzyon metoduyla katkılı kompozit numunelerin hazırlanmasında Antalya Serbest Bölgesinde faaliyet gösteren Ares Tersanecilik San ve Tic. A.Ş. firmasının imkanları kullanılmıştır. Numunelere infüzyon metoduyla imal edileceği için alt tablası sızdırmaz bir alüminyum panel üzerinde üretilmiştir. Panel üzerinde kalıp ayırıcı olarak Poliya markasının Polivask SV ürünü Şekil 3.2’de görüldüğü şekilde 3 kat olacak şekilde uygulanmış ardına zemin yüzeyi kuru bir bez ile silinmiştir.



Şekil 3.2. Kalıp ayırıcı uygulanması

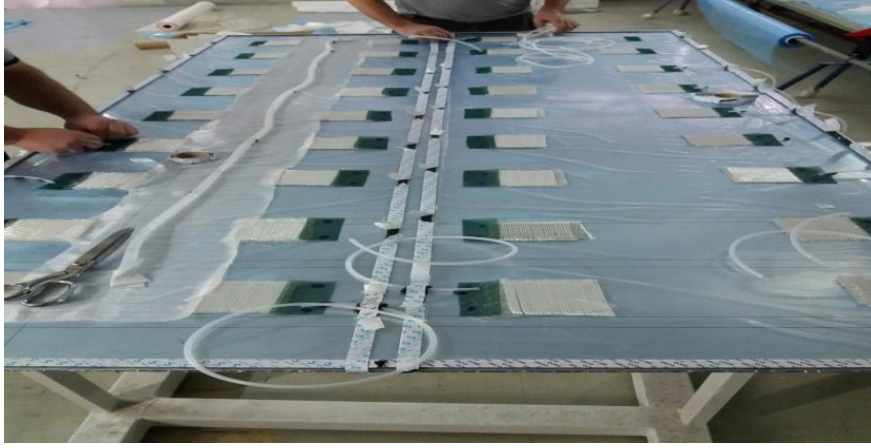
Kalıp ayırıcı uygulamasından sonra yüzeye 1 vakum naylonu serilmiş, naylon kenarları vakum macunu ile sızdırmaz hale getirilmiştir. Zemine peel ply uygulaması yapılmamıştır. Sebebi elde edilen ürünlerin bir tarafının yüzey kalitesinin parlak olmasını sağlamaktır. Hazırlanana zemin üzerine 10x10 cm ebatlarında 4 kat b1ax1al, örgü açısı= 0 / 90, yoğunluk (gr/m²)= 800 elyaf numuneleri hazırlanıp zemin üzerine konulmuştur.



Şekil 3.3. Elyaf numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan numunelerin bulunduğu tabla üzerine sistem hatları döşenmiştir. Çapı 12 mm olan spiral vakum hattı panel boyuna doğru iki ayrı vakum sistemini besleyecek şekilde numune ortaları konulmuş, her bir elyaf numunelerinin bir kenarına

reçine girişlerinde reçinenin daha iyi yayılabilmesi için file eklenmiştir. Eklenen filelere reçine girişini sağlayacak 6mm çaplı şeffaf hortumlar eklenmiştir.



Şekil 3.4. İnfüzyon hatlarının çekilmesi

Sistem borulaması tamamlandıktan sonra tezgahın üzeri vakum torbasıyla kapatılmıştır. Vakum tarafındaki borunun ucu vakum regülatörünün çıkış ucuna regülatörün giriş ucu da vakum makinesine bağlanmıştır. Regülatör sayesinde vakum makinesi tam vakum altında çalışırken sistemde oluşacak vakum basıncı kontrol edilebilmiştir.

Numuneler hazırlandıktan sonra hazırlanan katkılı solüsyonlar sırasıyla -0.8 atm vakum etkisi altında sisteme dahil edilmiştir. Numunelerin ıslanması tamamlandıktan sonra sistem vakum basıncı -0.4 atm vakum değerine düşürülmüş sistem kurlaşmaya bırakılmıştır. Numuneler 22 santigrat derece, %50 nemli atmosferde tozsuz ortamda yapılmıştır. Hazırlanan katkılı numunelerin sertlik değerleri ve radar absorban özellikleri ölçülmüştür. Numunelerin hazırlanması ve mekanik özelliklerinin ölçülmesinde aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır.

3.4. Katkılı kompozit parçaların üretiminde ve testlerinde kullanılan ekipmanlar

3.4.1. Vakum regülatörü

İnfüzyon yapılırken numunelerin üzerine gelen vakum gücünü ayarladığımız SCM, IRV2000-G01G-R. Hassasiyet değeri %2 olan vakum regülatörü Şekil 3.4'dekidir.

3.4.2. Vakum pompası

İnfüzyon sırasında gerekli vakum gücü Şekil 3.5.'de Gianneschi (0)(-1) BAR vakum pompası kullanarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5. SCM Vakum Regülatörü



Şekil 3.6. Gianneschi Vakum Pompası

3.4.3. Network analyzer

Elde edilen katkılı kompozit numunelerin 5 GHz – 7GHz dalga boyu aralığında radar emilim oranlarını tespit ettiğimiz Şekil 3.6'da Keysight Technologies Network Analyzer Basics radar absorpsiyon ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

3.4.4. Sertlik ölçüm cihazı

Elde edilen katkılı kompozit numunelerin sertlikleri Şekil 3.7'da BUEHLER marka sertlik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7. BUEHLER Marka Sertlik Ölçüm Cihazı

3.4.5. Hassas terazi

Deneysel alışmalar sırasında sol-jel çözeltilerini hazırlamak için kullanılması gereken yoz ürünlerin ağırlıklarını ölçmek için Şekil 3.5.'te görülen OHAUS marka virgülden sonra 4 birim hassasiyetine ve maksimum 210 gr tartım kapasitesine sahip PA214C model hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Hassas Terazi

3.4.6. pH metre

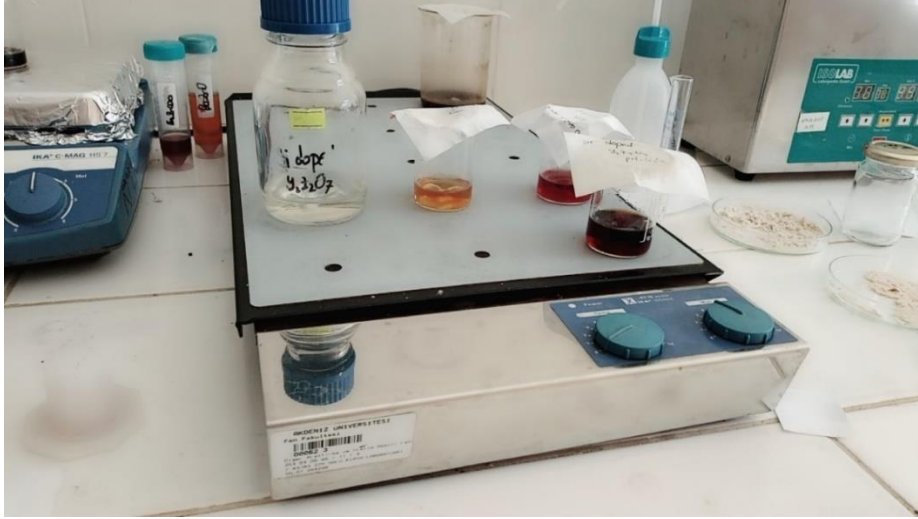
Hazırlanan sol-jel çözeltilerinin pH ölçümlerini yapmak için Şekil 3.9.'daki METTLER TOLEDO marka pH metre kullanılmıştır.



Şekil.3.9. pH metre

3.4.7. Manyetik karıştırıcı

Deneyel proseslerde kullanılan solüsyonlar, Şekil 3.10.'de görülen IKA-WERKE marka RT 15 modeli manyetik karıştırma cihazı ile uygun bileşimler haline getirilmiştir.



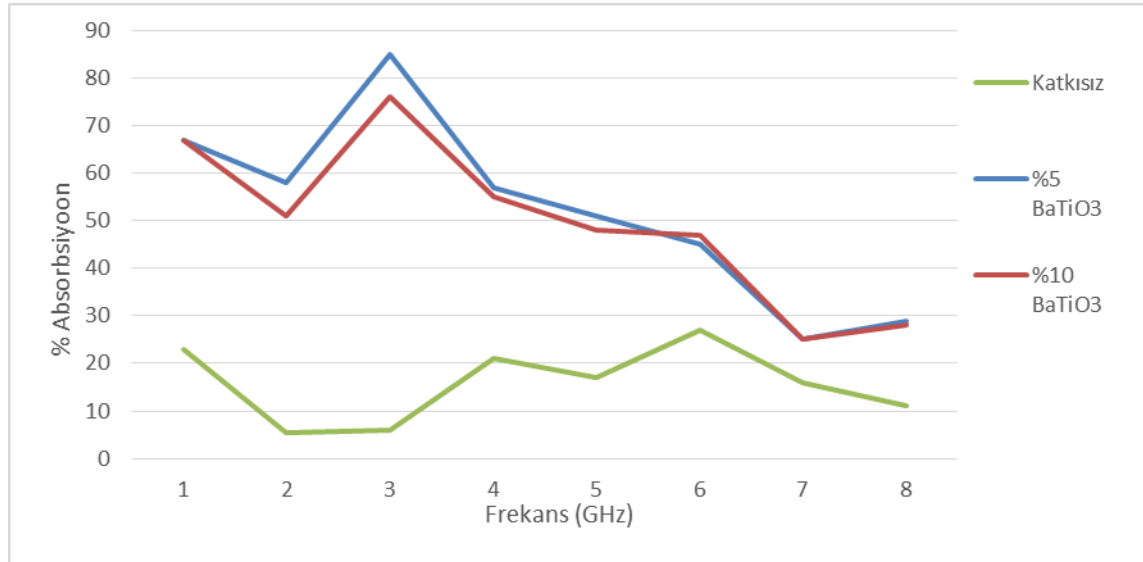
Şekil 3.10. Manyetik karıştırıcı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Absorpsiyon Ölçüm Sonuçları

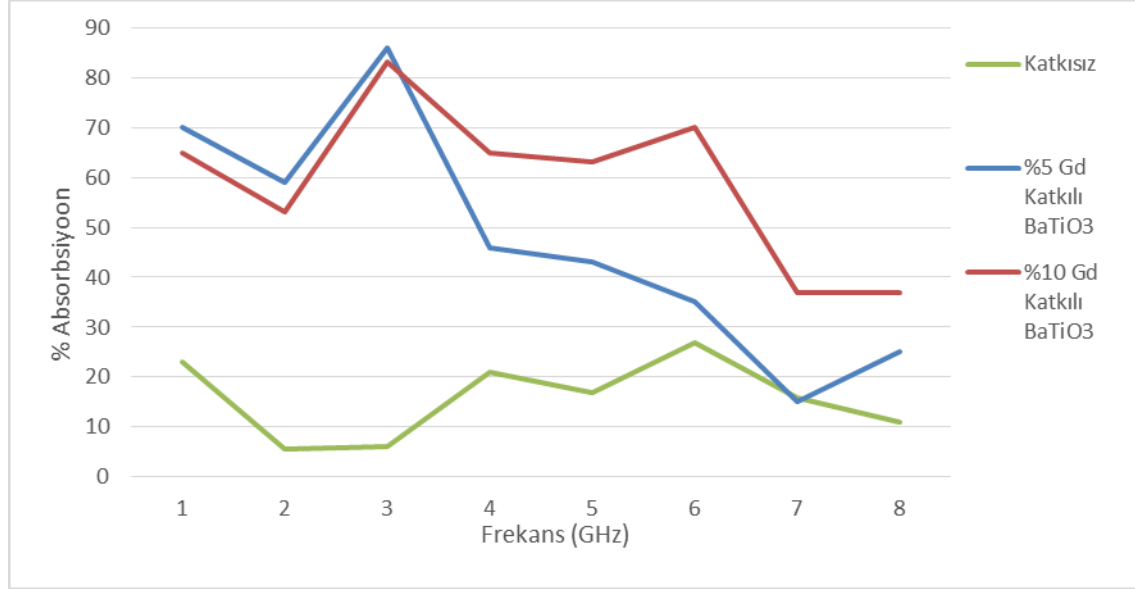
Kompozit malzemenin içerisine eklenen seramik katkılı malzemelerin elde edilen ürünün radar absorpsiyon özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir. İzmir Teknoloji Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yapılan çalışmada karbonil demir esaslı tozları epoksi matriksinin içinde elektromanyetik dalga soğurucu katkı olarak kullanılmış, cam elyaf yüzeyleri kompozit yapı içinde belli bir yüzey direncine kadar direnç katmanı görevi görmek amacıyla ince metalik iletken katmanı ile kaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda radar özelliklerinde 7 GHz dalgada kayıplar olduğu tespit edilmiştir. (Kangal 2013). Bu çalışmada literatürden farklı olarak demir esaslı toz eklemek yerine epoksi matrisinin içerisine seramik bazlı malzemeler eklenmiştir. Sonuç olarak literatürdekine benzer olarak radar absorpsiyon özelliklerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Bu durum şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.

Numunesi üretilen katkılı kompozit malzemelerin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir.



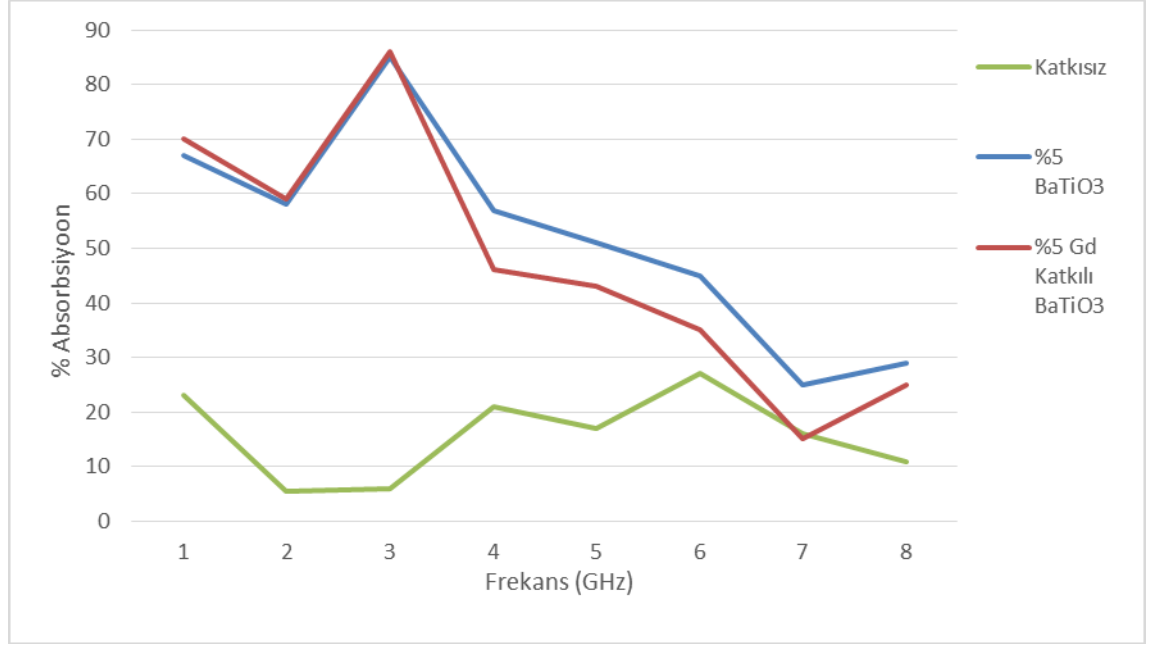
Şekil 4.1 %5 ve %10 BaTiO₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

4 GHz üzeri frekanslarda radar absorpsiyon özelliği BaTiO₃ için Gd katkısıyla artırılabilir. %10 Gd katkısı, 6 GHz dalgadaki radar absorpsiyon değerlerini %50 iyileştirmiştir. Gd katkısı 3-7 GHz değerleri arasında malzemeye daha yüksek bir absorpsiyon özelliği kazandırmıştır. Bu durum şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve şekil 4.4’de görülmektedir.

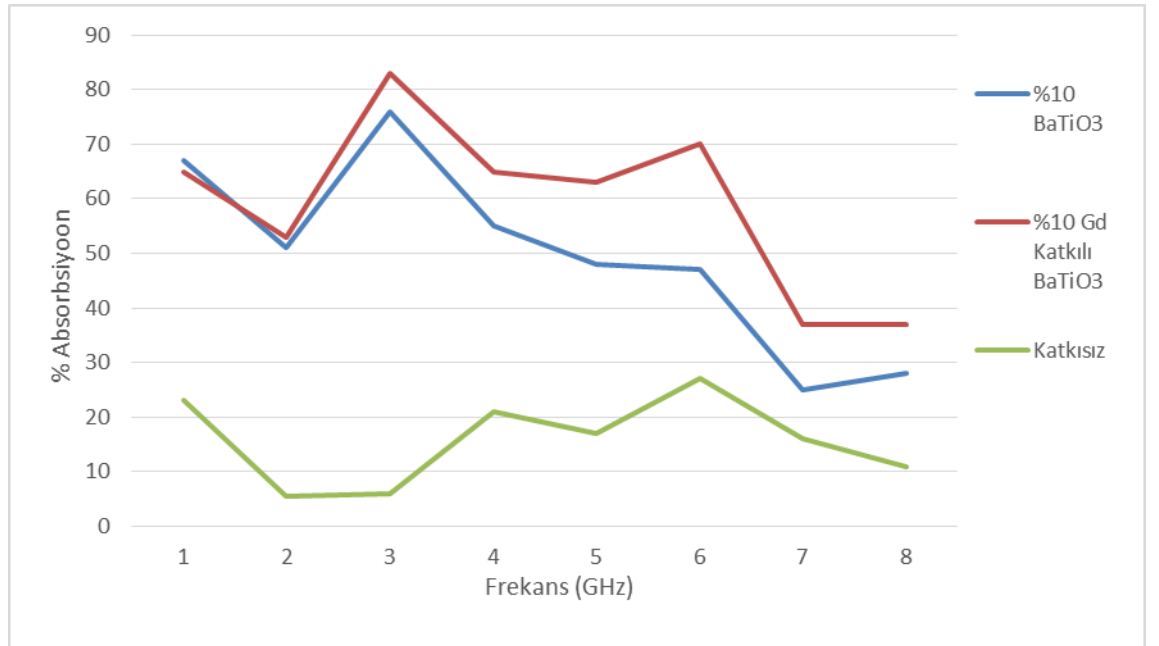


Şekil 4.2. %5 ve %10 Gd katkılı BaTiO₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

Literatürdeki başka bir çalışmada 10-100 nm boyutlarındaki BaTiO₃, NiFe₂O₄ ve Fe₃O₄ nano tozları epoksi matrisi için aseton çözeltisi içerisine eklenmiş ardından karışım epoksi içerisine konulmuştur. Kompozit malzemelere ince kaplama yapılmıştır. Kaplama yapılan malzemelerin radar absorban özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, BaTiO₃ nano partikülü kompozitler X-bandında ince kaplama kalınlıklarında en iyi absorban özelliği olduğu görülmüştür. (Akınay 2018) Bu çalışmada literatürdekine benzer olarak BaTiO₃ nano partikülü epoksi içerisine katılanmış, ancak elde edilen solüsyondan ince film kaplamak yerine infüzyon yöntemiyle üretim metoduyla üretilmiştir. Elde edilen sonuçlarda BaTiO₃ katkısının ince film kaplama gibi radar absorpsiyon özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca BaTiO₃ içerisine katılan hacimce %10 orandaki Gd 'ni malzemenin radar özelliklerinin %75 değerinden %85 değerine yükselttiği tespit edilmiştir. Literatüre alternatif olarak Ga katkılı BaTiO₃ ün absorpsiyon değerleri daha yüksektir. Bu durum şekil 4.3 ve 4.4.'de görülmektedir.



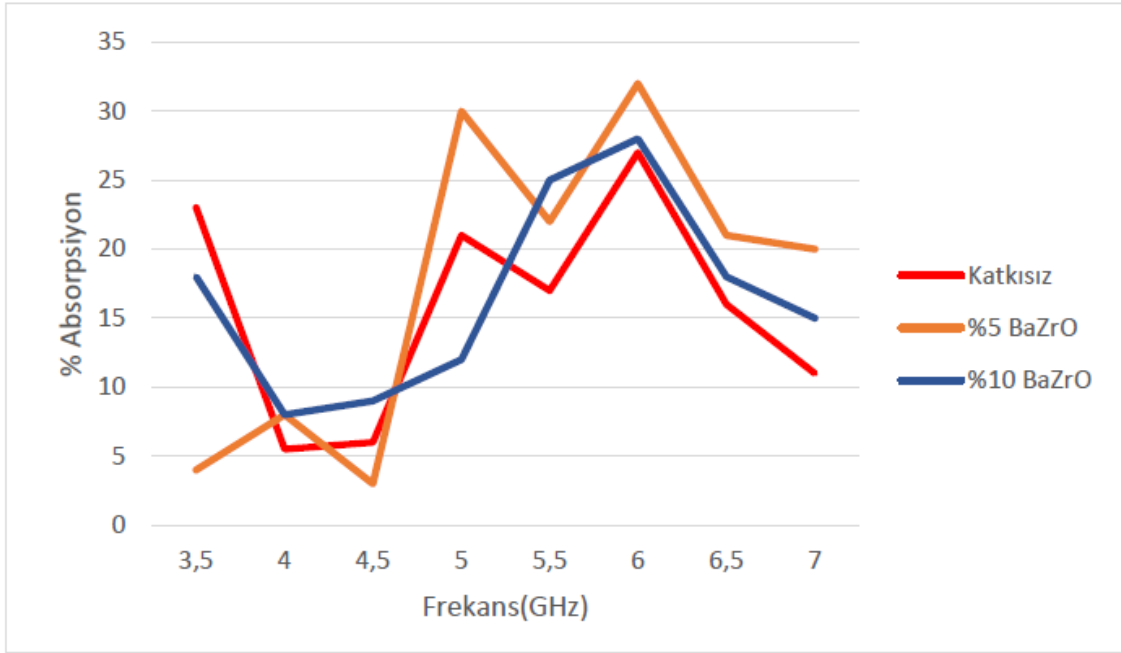
Şekil 4.3. %5 BaTiO₃ ve %5 Gd katkılı BaTiO₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları



Şekil 4.4. %10 BaTiO₃ ve %10 Gd katkılı BaTiO₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

Çizelge 4.1. %5 ve %10 BaZrO₃ katkıli kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

		Frekans (GHz)							
		3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Katkı Oranı	Katkısız	23	5,5	6	21	17	27	16	11
5%	BaZrO ₃	4	8	3	30	22	32	21	20
10%	BaZrO ₃	18	8	9	12	25	28	18	15



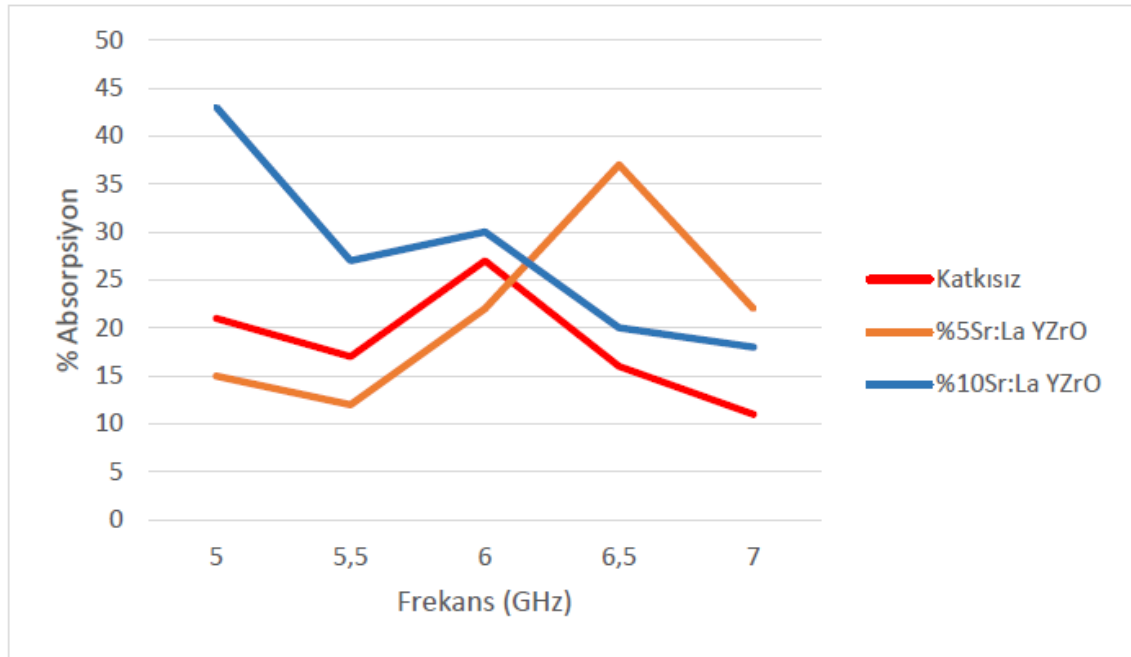
Şekil 4.5. %5 ve %10 BaZrO₃ katkıli kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği

Başka bir çalışmada jüt, cam ve hibrit jüt / cam elyaf nano-silis parçacık dolgulu epoksi matriks lamine kompozitlerin gerilme, eğilme ve çarpma özellikleri incelenmiştir. Nano-silika farklı oranlarda epoksi içerisinde eklenmiştir. Mekanik testler yapılmış ve %2' lik oranda optimum iyileşme görülmüştür (Hassan 2018). Bu çalışmada diğer araştırmalardan farklı olarak hazırlanan solüsyonlar malzeme yapıyı oluşturan ana malzeme içerisine direk katılanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre radar absorban özelliği olan MnYO₃ %44 oranında malzeme radar absorban özelliğinde iyileştirmeye sebep olmuştur. Bu durum çizelge 4.3'de ve şekil 4.7'de görülmektedir. BaTiO₃ ile yapılan testlerinde elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir. BaTiO₃ örnekleriyle yapılan elektromanyetik soğurma ölçüm sonuçlarına göre BaTiO₃ en yaygın kullanılan radar absorpsiyon malzemesidir. (Baydaroğlu 2018). Bu deneyde hazırlanan numunelerin radar absorban özelliğinin literatürde katılan BaTiO₃ kadar iyi olmamasını ana sebebi kullanılan radar absorbanı yüzey kaplaması olarak

kullanılmayıp, malzeme içerisine konulmasından kaynaklanmaktadır. Deney solüsyon içerisine katkılama yerine kompozit malzemenin yüzeyini kaplama şeklinde yapılsaydı daha başarılı sonuçlar verecektir. Yine bizim hazırladığımız $Sr_{0.5}La_{0.5}YZr_2O_7$ katkılı kompozit malzemelerde çizelge 4.2’de ve şekil 4.6’de görüldüğü gibi katkı oranı arttıkça radar emilim özelliğinde düşmeler yaşanmaktadır. Bunun sebebi katkı oranının artmasıyla malzeme yapısında polimerlerin bozulması söz konusu olabilir.

Çizelge 4.2. %5 ve %10 $Sr_{0.5}La_{0.5}YZr_2O_7$ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

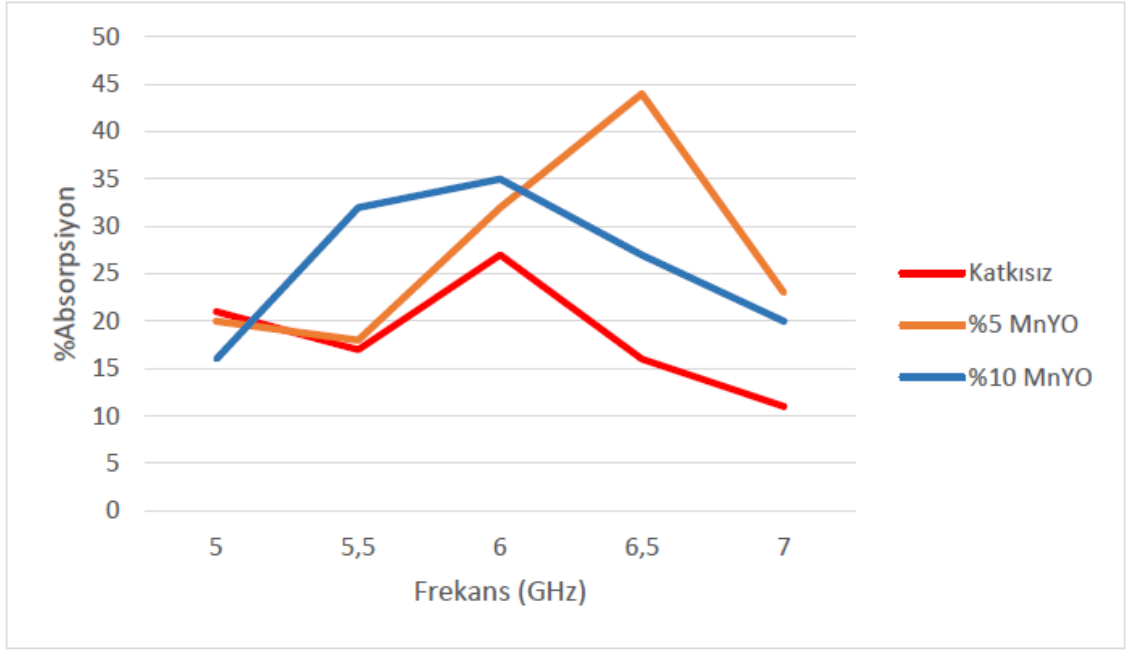
		Frekans (GHz)				
		5	5,5	6	6,5	7
Katkı Oranı	Katkısız	21	17	27	16	11
5%	$Sr_{0.5}La_{0.5}YZr_2O_7$	15	12	22	37	22
10%	$Sr_{0.5}La_{0.5}YZr_2O_7$	43	27	30	20	18



Şekil 4.6. %5 ve %10 $Sr_{0.5}La_{0.5}YZr_2O_7$ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği

Çizelge 4.3. %5 ve %10 MnYO₃ katkıli kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

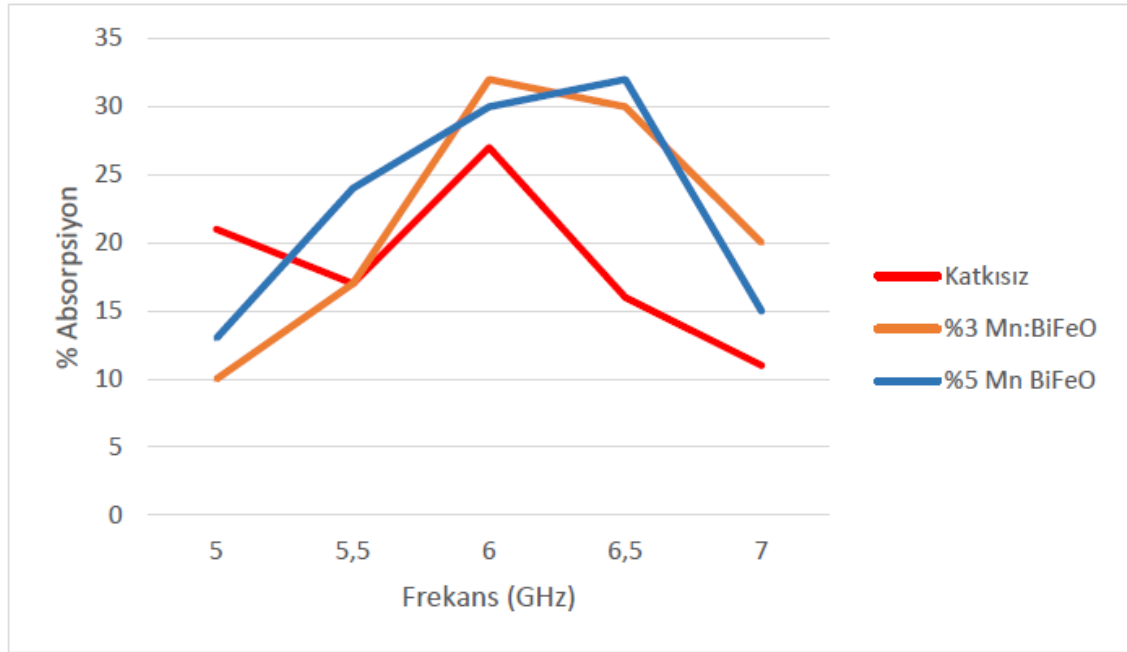
		Frekans (GHz)				
		5	5,5	6	6,5	7
Katkı Oranı	Katkısız	21	17	27	16	11
5%	MnYO ₃	20	18	32	44	23
10%	MnYO ₃	16	32	35	27	20



Şekil 4.7. %5 ve %10 MnYO₃ katkıli kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği

Çizelge 4.4. %3 ve %5 $Mn_{0.5}Bi_{0.5}FeO_3$ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

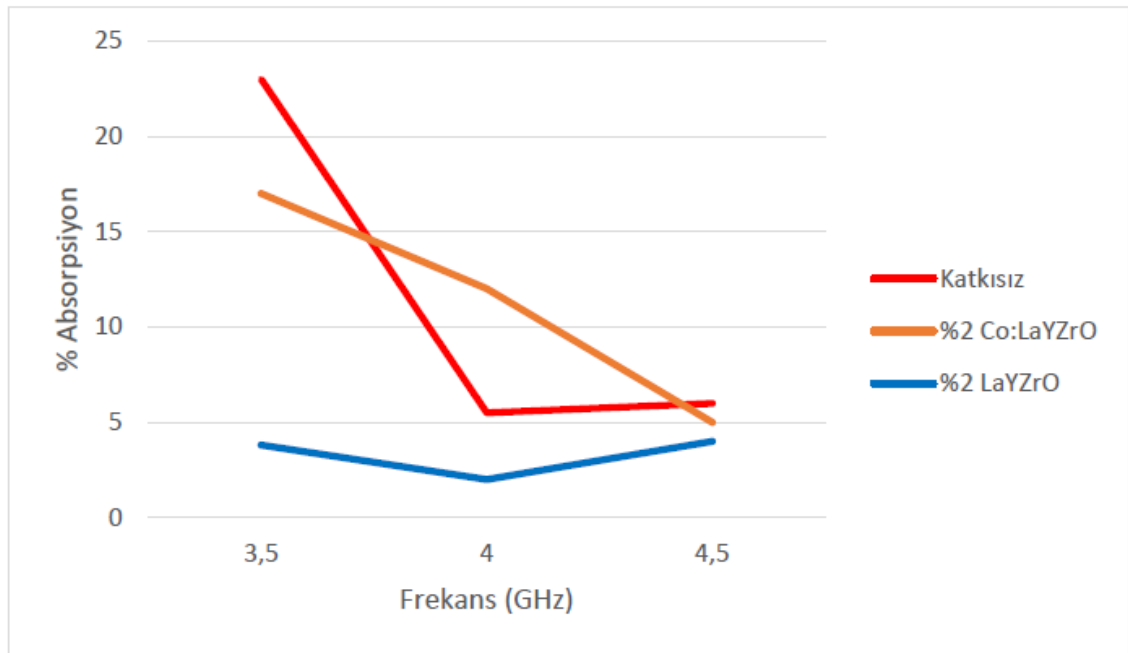
		Frekans (GHz)				
		5	5,5	6	6,5	7
Katkı Oranı	Katkısız	21	17	27	16	11
3%	$Mn_{0.5}Bi_{0.5}FeO_3$	10	17	32	30	20
5%	$Mn_{0.5}Bi_{0.5}FeO_3$	13	24	30	32	15



Şekil 4.8. %3 ve %5 $Mn_{0.5}Bi_{0.5}FeO_3$ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği

Çizelge 4.5. %2 $\text{Co}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ ve %2 LaYZr_2O_7 katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları

		Frekans (GHz)		
		3,5	4	4,5
Katkı Oranı	Katkısız	23	5,5	6
2%	$\text{Co}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{YZr}_2\text{O}_7$	17	12	5
2%	LaYZr_2O_7	3,8	2	4



Şekil 4.9. %2 $\text{Co}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{YZr}_2\text{O}_7$ ve %2 LaYZr_2O katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon ölçüm sonuçları grafiği

4.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Bartın Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada polimer matrisli kompozitlerin çekme mukavemetine nano katkıların etkisi incelenmiştir. Nano katkılı polimerlerin mukavemetleri katkısız olan polimerlere göre daha yüksek olduğu görüşmüştür. İlave edilen farklı nano katkı miktarıyla mukavemet değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada da ilave edilen katkıların sertliğe olan etkisine bakılmıştır.

Farklı oranlarda hazırlanan katkılı kompozit malzemelerin sertlik değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. Katkısız, %2, %3, %5 ve %10 LaYZr₂O₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%2 LaYZr ₂ O ₇	10,833
%3 LaYZr ₂ O ₇	8,4
%5 LaYZr ₂ O ₇	10,43
%10 LaYZr ₂ O ₇	10,63

Çizelge 4.7. Katkısız, %2, %3, %5 ve %10 Co_{0,5}La_{0,5}YZr₂O₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%2 Co _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	9,7
%3 Co _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	9,267
%5 Co _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	9,033
%10 Co _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	51,7

Sr_{0,5}La_{0,5}YZr₂O₇ katkısı ile epoksi reçinenin sertliğinde %5'lik katkı oranında çok yüksek bir artış görülürken katkı oranı arttıkça sertlikte bir düşüş gözlenmiştir. Bu durum çizelge 4.8.' de görülmektedir.

Çizelge 4.8. %5, %10 ve %15 Sr_{0,5}La_{0,5} YZr₂O₇ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%5 Sr _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	54,2
%10 Sr _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	8,76
%15 Sr _{0,5} La _{0,5} YZr ₂ O ₇	4,86

Çizelge 4.9. %5, %10 ve %15 BaZrO₂ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%5 BaZrO ₂	9,63
%10 BaZrO ₂	11,7
%15 BaZrO ₂	32,6

Çizelge 4.10. Katkısız, %2, %3 ve %5 Mn_{0,5}Bi_{0,5}FeO₃ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%2 Mn _{0,5} Bi _{0,5} FeO ₃	13,667
%3 Mn _{0,5} Bi _{0,5} FeO ₃	7,35
%5 Mn _{0,5} Bi _{0,5} FeO ₃	9,966

Mn katkıli BaTiO₃'ler için %5'lik katkılama oranında epoksi reçinenin sertliğinde bir düşüş mevcut iken, katkı oranı artırıldığında sertliğin artmaya başladığı görölmektedir. Mn katkıli BaTiO₃'ün epoksi reğineye katkılandığı kompozitlerde en yüksek sertlik değeri %15 oranındaki katkılamada 12.03 HV olarak ölçölmüştür. Yaklaşık olarak %32 oranında bir sertlik artışı ilginç sonuç olarak gözlenmiştir. Bu durum çizelge 4.11' de görönmektedir.

Çizelge 4.11. Katkısız, %5, %10 ve %15 Mn katkılı BaTiO₃ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
% 5 Mn katkılı BaTiO ₃	5,55
% 10 Mn katkılı BaTiO ₃	10,53
% 15 Mn katkılı BaTiO ₃	12,03

Çizelge 4.12. Katkısız, %2, %3 ve %10 CoYZr₂O₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
% 3 CoYZr ₂ O ₇	9,26
% 5 CoYZr ₂ O ₇	6,46
% 10 CoYZr ₂ O ₇	10,96

Çizelge 4.13. Katkısız, %2 ve %3 BiYZr₂O₇ katkılı kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
% 2 BiYZr ₂ O ₇	9,83
% 3 BiYZr ₂ O ₇	9,06

Çizelge 4.14. %10 BaZrO₃ ve %10 Co_{0,5}Ba_{0,5}ZrO₃ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%10 BaZrO ₃	11,7
%10 Co _{0,5} Ba _{0,5} ZrO ₃	10,06

Çizelge 4.15. Katkısız, %2 ve %3 Bi_{0,5} Sr_{0,5}YZr₂O₇ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%2 Bi _{0,5} Sr _{0,5} YZr ₂ O ₇	9,2
%3 Bi _{0,5} Sr _{0,5} YZr ₂ O ₇	9,53

Çizelge 4.16. Katkısız, %2 ve %10 MnYO₂ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%2 MnYO ₂	15,53
%10 MnYO ₂	9,63

Çizelge 4.17. Katkısız, %5 ve %10 Gd katkıli BaTiO₃ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
5% Gd katkıli BaTiO ₃	9,73
10% Gd katkıli BaTiO ₃	7,5

Zn katkıli BaTiO₃ katkıli kompozit malzemelerin sertlikleri katkı oran arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Ölçümlerimizde katkılanan bir çok malzemede %5 oranında sertliklerde önemli değişiklikler gözlenmiştir. Yapılan araştırmalarda çekme mukavemeti için optimum oran genellikle %2-5 değerleri arasında belirlenmiştir. Katkı oranının artmasıyla birlikte polimer zincirlerinin oluşumu olumsuz etkilediğinden çekme mukavemetini olumsuz etkilediği hem bu çalışmada hem de Kaştan'ın (2016) belirlenmiş ve bu tez çalışmasında sertlik değerleri katkı miktarlarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği söylene de genel olarak sertlikler %2 ile %5 katkı oranları arasında gözle görülür değişime uğradığı ölçülmüştür(Kasta 2016). Değişikliklerin sebeplerinden biri de polimer oluşumu ve ortamın sıcaklığından kaynaklandığı bilinmektedir.

Çizelge 4.18. Katkısız, %5 ve %10 Zn katkıli BaTiO₃ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%5 Zn katkıli BaTiO ₃	11.7
% 10 Zn katkıli BaTiO ₃	11,85

Çizelge 4.19. Katkısız, %5 BaTiO₃, Gd katkıli BaTiO₃, Zn katkıli BaTiO₃, Mn katkıli BaTiO₃ ve B katkıli BaTiO₃ katkıli kompozit malzeme sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik (HV)
Katkısız	9,13
%5 BaTiO ₃	27.25
%5 Gd katkıli BaTiO ₃	9.73
%5 Zn katkıli BaTiO ₃	11.85
%5 B katkıli BaTiO ₃	10.7
%5 Mn katkıli BaTiO ₃	5,55

5. SONUÇLAR

Radar absorban özelliklerinin iyi olduğu bilinen malzemelerin epoksi içerisine optimum oranlarda eklenmesi sonucunda elde edilen yeni nesil polimer nano kompozit yapıların, farklı frekans aralıklarının yüksek elektromanyetik radyasyon soğurdukları tespit edilmiştir. Ayrıca katkı oranlarıyla beraber sertlikte meydana gelen değişimler endüstride olumlu bir alanda değerlendirilebilir. En optimum ölçüm teknikleri kullanılarak elde edilen bulgular, bu tür yeni nesil polimer nano kompozit yapıların literatüre olumlu ve önemli katkılarının yanı sıra, endüstriyel kullanımda da önemli katma değer sağlayacağı söylenebilir.

4 GHz üzeri frekanslarda radar absorpsiyon özelliği BaTiO₃ için Gd katkısıyla artırılabilir. %10 Gd katkısı, 6 GHz dalgadaki radar absorpsiyon değerlerini %50 iyileştirmiştir. Gd katkısı 3-7 GHz değerleri arasında malzemeye daha yüksek bir absorpsiyon özelliği kazandırmıştır.

BaTiO₃ içerisine katılan hacimce %10 orandaki Gd 'ni malzemenin radar özelliklerinin %75 değerinden %85 değerine yükselttiği tespit edilmiştir.

Sr_{0.5}La_{0.5}YZr₂O₇ katkılı kompozit malzemelerde katkı oranı arttıkça radar emilim özelliğinde düşmeler yaşanmaktadır.

% 5 BaTiO₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon özelliği katkı oranı arttıkça azalma göstermektedir.

%5 BaZrO₃ katkı, kompozit malzemenin radar absorpsiyon özelliği arttırdığı tespit edilmiştir.

MnYO₃ katkılı kompozit malzemenin radar absorpsiyon özelliği katkısız duruma göre daha yüksektir.

%3 ve %5 Mn_{0.5}Bi_{0.5}FeO₃ katkıları katkı oranı arttıkça malzemenin radar absorban özelliğini iyileştirdiği gözlenmiştir.

Sr_{0.5}La_{0.5}YZr₂O₇ katkısı ile epoksi reçinenin sertliğinde %5'lik katkı oranında çok yüksek bir artış görülürken katkı oranı arttıkça sertlikte bir düşüş gözlenmiştir.

BaZrO₂ katkısının sertliğe etkisi incelenmiş, %5'lik katkı oranında epoksinin sertliğinde olağan bir artış gözlenmiş ve bu artış katkı miktarıyla artmıştır. Toplamda, epoksinin sertliğinde %260'a yakın oranda artış olduğu görülmektedir.

Mn katkılı BaTiO₃ takviyesi ile %5'lik katkı oranında sertlikte bir düşüşü Sr_{0.5}La_{0.5}YZr₂O₇ katkısı %5'lik katkı oranında sertlikte çok yüksek bir artış gözlenirken katkı oranındaki artışla sertliğin düştüğü görülmüştür.

Mn katkıli BaTiO₃ ile %5 oranında katkılanmış numunede görülen sertlik düşüşünün aksine, diğer katkı elementleri ile katkılanmış BaTiO₃ solüsyonları ile mekanik olarak karıştırılarak üretilen epoksi reçine matrisli kompozitlerin sertlik değerlerinde bir artış görülmektedir. Buna karşın, katkı solüsyonları ile hazırlanmış kompozit malzemelerin %5 katkılama oranında en yüksek sertlik değeri katkısız BaTiO₃ ile 27.25 olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada görülen ilginç bir sonuç olarak da solüsyonlar ile katkılanmamış epoksi reçine ve sertleştirici karışımının sertleşme süresi yaklaşık 10 saat sürede olurken yapılan katkılamalar ile bu süre 10 dakikaya kadar düşmüştür. Aynı zamanda, katkılama esnasında ekzotermik bir reaksiyon meydana gelerek, solüsyon ve reçine karışımının sıcaklığında ciddi bir artışta gözlenmiştir.

İlerki çalışmamızda bu konunun devamı niteliğinde elde edilen solüsyonlar yüzey kaplama metodu kullanılarak kompozit malzemeye kaplanarak radar absorpsiyon özellikleri ile yaptığımız çalışmalar kıyaslaması yapılarak optimum değerleri tespit edilmeye çalışılacaktır.

Böylece sertlik ölçümünde kullanılan katkı maddeleri değişiklikleri ile katkılanan ve yüzeye kaplanan numunelerin sonuçları karşılaştırması yapılırken numune sayısı artırılarak en az hata hesabı ile, yüzde oranları daha farklı olacak şekilde yeni test numuneleri yapılacaktır. Katkı oranlarının sertliğe olan etkisi daha hassas bir şekilde incelenecek, sonuçların yorumlanması yapılacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Amin, M. B. and James, J. R. ; "*Techniques for Utilization of Hexagonal Ferrites in Radar Absorbers. Part 1: Broadband Planar Coatings,*" Radio and Electronic Engineer, vol. 51, no. 5, pp. 209-218, 1981.
- Biscaro, R. S. Nohara, E. L. Peixoto, G. G. and Faez, R. "*Performance evaluation of conducting polymer paints as radar absorbing materials (RAM),*" in Microwave and Optoelectronics Conference, 2003.
- Brinker, C.J. and Scherer G.W. 1990. Sol-Gel Science. Gulf Professional Publishing, 908 p.
- Bratukhin, A.G. and Bogolyubov, V.S. 2012. Composite Manufacturing Technology. Springer-Science+Business Media, 433 p.
- Callister, W. J. D. and Rethwisch, D. G.; Materials science and Engineering: An Introduction (8th Edition), Wiley, 2010.
- Campbell, F.C. 2010. Structural Composite Materials. ASM International, 612 p.
- Campbell Jr, F.C. 2003. Manufacturing processes for advanced composites. Elsevier.
- Cao, M. Wang, B. Li, Q. Yuan, J. Xu, G. Qin S. and Fang, X. ; "*Towards an Intelligent CAD System for Multilayer Electromagnetic Absorber Design,*" Materials and Design, vol. 19, no. 3, pp. 113-120, 1998.
- Chin, W. S. and Lee, D. G. ; "*Composite Structures,*" Article in Press, 2005.
- Chin, W. S. and Lee, D. G. ; "*Development of the Composite RAS (Radar Absorbing Structure) for the X-band Frequency Range,*" Composite Structures, vol. 77, no. 4, pp. 457-765, 2007.
- Chin, W. S. and Lee, D. G. ; "*Laminating Rule for Predicting the Dielectric Properties of E-glass/epoxy laminate composites,*" Composite Structures, vol. 77, no. 3, pp. 373-382, 2007.
- Dai, D.S., Shi, F. Q. , Chen Y. Q. and Chu, S. L. Ferromagnetics, Beijing: Science Press, 1976.
- Doğan, S. ve Kayacan, O. ve Gören, A. 2017. Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi. TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası. 2018/1, Cilt 25, 109 s.
- Durgun, İ. 2014. El Yatırma Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi. 7. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu.
- Ersoy, H. Y. 2001, Kompozit Malzeme, Literatür, İstanbul.
- Evcin, A. 2006. Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Fink, D. G. and Christiansen, D. ; Electronics Engineers' Handbook, McGraw-Hill, 1989.
- Foster K. and Littmann M. F. ; Journal of Applied Physics, vol. 8, p. 351, 1985.
- Genç, Ç., Arıcı. A.A., 2008, Yat İmalatında Kullanılan CTP Malzeme ve İmalat

- Yöntemleri Bölüm I: El Yatırma Yöntemi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, Sayı: 178.
- Ghasemi, A. Hossienpour, A. Morisako, A. Saatchi, A. and Salehi, ; *"Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite,"* Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 302, no. 2, pp. 429-435, 2006.
- Gupta, M. and Leong, E. W.; *Microwaves and Metals*, Wiley, 2007
- Gürer, G; *Design and Characterization of Electromagnetic Wave Absorbing Structural Composites*, M.Sc Thesis, Ankara: METU, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2010.
- Huang, C. Y. Mo, W. W. and Roan, M. L. ; *"Studies on the Influence of Doublelayer Electroless Metal Deposition on the Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Fiber/ABS Composites,"* Surface and Coatings Technology, vol. 184, no. 2-3, pp. 163-169, 2004.
- Jones, R.W. 1989. *Fundamental Principles of Sol-Gel Technology*. CRC Press.
- IPAC, *Infrared Windows, Infrared Processing and Analysis Center*, 2010.
- J. Huo, J.; Wang, L. and Yu, H. "Polymeric Nanocomposites for Electromagnetic Wave Absorption," *Journal of Materials Science*, vol. 44, no. 15, pp. 3917-3927, 2009.
- Kaştan, A. *Nano-Kil Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, 2015.
- Köksal, S. 2017. *Kompozit Malzemeler*, <https://slidex.tips/download/kompozit-malzemeler-do-dr-n-sinan-kksal>.
- Kaw, A.K. 1997. *Mechanics of Composite Materials*. CRC Press, 352 p.
- Knott, E. F. Schaeffer, J. F. and Tuley, M. T. ; *Radar Cross Section*, SciTech Publisher, 1993.
- Lee, C. Y. Song, H. G. Jang, K. S. Oh, E. J. Epstein, A. J. and Joo, J. ; *"Electromagnetic Interference Shielding Efficiency of Polyaniline Mixtures and Multilayer films,"* Synthetic Metals, vol. 102, no. 1-3, pp. 1346-1349, 1999.
- Luo, X. and Chung, D. D. ; *"Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber Carbon-Matrix and Polymer-Matrix Composites,"* Composites Part B, vol. 30, pp. 227-231, 1999.
- Mallick, P.K. 2007. *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design* CRC Press, 638 p.
- Marshall, S. V. and Skitek, G. G. ; *Electromagnetic Concepts and Applications* 3rd Ed., New Jersey: Prentice-Hall, 1990.
- Neelakanta, P. S. ; *Handbook of Electromagnetic Materials*, Washington D.C.: CRC Press, 1995.
- Oh, J. H. Oh, K. S. Kim, C. G. and Hong, C. S. ; *"Design of Radar Absorbing Structures Using Glass/epoxy Composite Containing Carbon Black in X-band Frequency Ranges,"* Composites Part B: Engineering, vol. 35, no. 1, pp. 49-56, 2004.

- Özgültekin, S.E. 2012. Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi. Sakarya.
- Rezende, M. C. Martin, I. M. Miacci, M. A. and Nohara, E. L. ; "*Radar Cross Section Measurements (8-12 GHz) of Flat Plates Painted with Microwave Absorbing Materials,*" in Microwave and Optoelectronics Conference, 2001.
- Park, K. Y. Lee, S. E. Kim, C. G. and Han, J. H. ; "*Fabrication and Electromagnetic Characteristics of Electromagnetic Wave Absorbing Sandwich Structures,*" Composites Science and Technology, vol. 66, no. 3-4, pp. 576-584, 2006.
- Pinho, M. S. Gregori, M. L. Nunes, R. C. R. and Soares, B. G. ; "*Performance of Radar Absorbing Materials by Waveguide Measurements for X- and Ku-band Frequencies,*" European Polymer Journal, vol. 38, no. 11, p. 2321–2327, 2002.
- Pozar, D. M.; Microwave Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- Sonmez, M. 2009. Polimer Matrisli Ürünlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği : Türkiye’ den Dört Örnek Firma Üzerine İnceleme. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 84 s.
- Şahin, Y. 2000. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitapevi, 327 s.
- Serbest, B.S., Binbir, E., 2008, Basit Kapalı Kalıp Enjeksiyon Yöntemi (L-RTM), Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, Sayı: 178.
- Shui, X. and Chung, D. D. ; "*Submicron Diameter Nickel Filaments and Their Polymer-matrix Composites,*" Journal of Materials Science, vol. 35, no. 7, pp. 1773-1785, 2000.
- Tzeng, S. S. and Chang, F. Y. ; "*EMI Shielding Effectiveness of Metal-coated Carbon Fiber-reinforced ABS Composites,*" Materials Science and Engineering: A, vol. 302, no. 2, pp. 258-267, 2001.
- Vinoy, K. J. and Jha, M. R. ; Radar Absorbing Materials from Theory to Design and Characterization, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Yazıcıoğlu, O. ve Borat, O. 2018. İmalat Yöntemleri. Seçkin Yayıncılık, 351 s.
- Wang, C. Li, L. Zhou, J. Qi, X. Yue, Z. and Wang, X. ; "*Microstructures and Highfrequency Magnetic Properties of Low-temperature Sintered Co–Ti Substituted Barium Ferrites,*" Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 257, no. 1, pp. 100-106, 2003.
- Wen, S. and Chung, D. D. ; "*Partial Replacement of Carbon Fiber by Carbon Black in Multifunctional cement-matrix composites,*" Carbon, vol. 45, pp. 505-513, 2007
- Weir, W. B. ; "*Automatic Measurement of Complex Dielectric Constant and Permeability at Microwave Frequencies,*" Proceedings of the IEEE, vol. 62, no. 1, pp. 33-36, 1974.
- Wu, J. and Chung, D. D. ; "*Increasing the Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Fiber Polymer–matrix Composite by Using Activated Carbon Fibers,*" Carbon, vol. 40, pp. 445-447, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

ONUR YILDIRIM
onuryildirim1990@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2016-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2008-2013	Karadeniz Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü , Trabzon

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Donatım Mühendisi 2015-Devam Ediyor	Ares Tersanecilik San. ve Tic. A.Ş Üretim Departmanı, Serbest Bölge, Antalya
Üretim Mühendisi 2013-2015	Esenyat Yatçılık San. ve Tic. A.Ş Üretim Departmanı, Bodrum, Muğla