



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**FARKLI KARBON TÜREVLERİ VE MANYETİK BİLEŞEN İÇEREN
POLİMER KOMPOZİTLERDE MİKRO-YAPI ELEKTROMANYETİK
DALGA SÖNÜMLEME İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NAZLİCAN AKÇAY

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ALPER KAŞGÖZ

**YALOVA
KASIM 2022**



YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

FARKLI KARBON TÜREVLERİ VE MANYETİK BİLEŞEN İÇEREN POLİMER
KOMPOZİTLERDE MİKRO-YAPI ELEKTROMANYETİK DALGA
SÖNÜMLEME İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NAZLİCAN AKÇAY
195101023

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ALPER KAŞGÖZ

YALOVA
KASIM 2022

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyuncaengin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol göstererek desteklerini esirgemeyen sayın danışman hocam Doç. Dr. Alper KAŞGÖZ’ e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için değerli aileme ve canım annem Sıddık ÇAYLI’ ya minnettarım.

Her zaman, her konuda olduğu gibi bu süreçte de bana destek olan sevgili kıymetli eşim Abdullah Tayyib AKÇAY ’a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilim Araştırma Projeleri (BAP) Birimine (Proje No: 2021/YL/0018) teşekkür ederim.

Kasım – 2022

Nazlıcan AKÇAY



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xviii
ABSTRACT.....	xx
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler.....	3
2.2. Polimer Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
2.2.1. Elyaf (fiber) takviyeli polimer kompozit malzemeler	5
2.2.2. Tanecik/partikül takviyeli kompozit malzemeler	7
2.3. Polimer Esaslı Kompozitlerin Kullanım Alanları	8
2.4. Polimer Esaslı Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	9
2.4.1. Eş-anlı polimerizasyon	9
2.4.2. Çözeltide karıştırma.....	9
2.4.3. Eriyik harmanlama.....	9
2.5. İletken Polimer Kompozit Malzemeler	9
2.5.1. İletken dolgular	12
2.5.1.1. Karbon elyaf	12
2.5.1.2. Karbonil demir.....	15
2.5.2. İletken kompozit malzemelerin kullanım alanları	15
2.6. Akrilonitril Butadien Stiren (ABS)	16
2.7. Reoloji	19
2.7.1. Temel reolojik terimler	20
2.7.2. Polimerlerin viskoelastik özellikleri	23
2.7.3. İletken polimer kompozitlerin reolojik davranışı	24
2.8. Elektromanyetik Dalgalar.....	26
2.8.1. Genel özellikler.....	26
2.8.2. Elektriksel ve manyetik açıdan bir ortamın karakterize edilmesi.....	27
2.9. Radarda Görünmezlik, Radar Sistemleri Teknolojileri	30

2.9.1. Koaksiyel hat iletim tekniğiyle saçılma parametrelerinin belirlenmesi..	32
2.9.2. Radar sistemleri teknolojileri.....	33
2.9.3. Radar sistemlerinden gizlenmenin prensibi	34
2.9.4. Radar soğurucu malzemelerin (RAM'ların) performansları	35
2.9.5. Radar soğurucu malzemeler.....	37
2.10. Radar Sinyalini Soğurabilme Özelliğine Sahip Polimer Kompozit Malzemeler	38
2.10.1. Manyetik tanecik içeren polimer kompozit malzemeler.....	38
2.10.2. Karbon türevleri içeren polimer kompozit malzemeler	39
2.10.3. Radar soğurucu özelliğe sahip polimer kompozit malzemelerde yapı-performans ilişkisi.....	40
3. MALZEMELER VE YÖNTEM	45
3.1. Malzemeler	45
3.2. Yöntemler	47
3.2.1. Kompozitlerin hazırlanması.....	47
3.2.2. Test ve analiz çalışmaları.....	48
4. BULGULAR	55
4.1 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM).....	55
4.1.1. Kompozit örneklerin morfolojisi	55
4.2. Reoloji	59
4.2.1. Polimer matrisin (ABS) zaman testi	59
4.2.2. Kompozitlerin frekans tarama testleri.....	60
4.2.3 Kompozitlerin kararlı hal akış testleri	64
4.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA).....	66
4.4. Dielektrik Özelliklerin İncelenmesi.....	69
4.5. Yansıma Kaybı (RL) Analizleri	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
5.1. Sonuçlar	77
5.2. Öneriler.....	78
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	89
TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	89



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

τ	: Kayma gerilmesi
γ	: Kayma hızı
η	: Viskozite
η^*	: Dinamik viskozite
F	: Uygulanan kuvvet
A	: Kesit alanı
G'	: Saklanan modül (Elastik modül)
G''	: Kayıp modül (Viskoz modül)
$\tan\delta$	: Faz açısı
ϵ	: Permittivite, elektriksel geçirgenlik sabiti
μ	: Permeabilite, manyetik geçirgenlik sabiti
ϵ_0	: Boşluğun permittivite değeri
ϵ^*	: Kompleks permittivite
ϵ'	: Ortamda depolanabilen enerji, kompleks permittivitenin reel kısmı
ϵ''	: Kaybolan enerji, kompleks permittivitenin sanal kısmı
μ_r	: Bağlı permeabilite değeri
μ_0	: Boşluğun permeabilite değeri
ϕ_c	: Elektriksel perkolasyon eşiği
M	: Tork
ω	: Açısal frekans
E'	: Saklanan modül
E''	: Kayıp modül
T _g	: Camsı geçiş sıcaklığı
A _f	: Dağılım oranı (Aspect ratio)
S	: Saçılma parametresi
f	: Uygulanan frekans



KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
CO	: Karbon monoksit
[Fe(CO) ₅]	: Pentakarbonil demir
PAN	: Poliakrilonitril
SAN	: Stiren-akrilonitril
PVC	: Polivinil klorür
PC	: Polikarbonat
CF	: Karbon elyaf
CI	: Karbonil demir
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
DMA	: Dinamik mekanik analiz
VNA	: Vektör network analizörü
HPAA	: Yüksek performans soğurma aralığı
EAA	: Etkin soğurma aralığı
DPAA	: Düşük performans soğurma aralığı
dB	: Desibel
RAM	: RADAR soğurucu malzeme
RADAR	: Radio Detection And Ranging, Radyo Dalgaları ile Tespit ve Menzil Tayini
RL	: Yansıma kaybı, Reflection loss
CB	: Karbon siyahı
CNF	: Karbon nanofiber
MWCNT	: Çok duvarlı karbon nanotüp
PU	: Poliüretan
PS	: Polistiren



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. ϵ''/ϵ' oranına bağı olarak malzemelerin özelliği	29
Tablo 2.2. Manyetik özelliklere sahip dolgularla hazırlanan bazı polimer kompozit malzemelerin performans özellikleri.....	39
Tablo 2.3. Literatür çalışmalarındaki karbon dolgu kullanarak hazırlanan polimer kompozitlerin bazılarında ait elektromanyetik dalga soğurma özellikleri	40
Tablo 3.1. Kullanılan ABS (TOTAL LG112 ABS) polimerine ait bazı fiziksel özellikler.....	45
Tablo 3.2. Kullanılan MOLCHEM NK84 kodlu karbonil demir dolgusunun bazı fiziksel özellikleri	46
Tablo 3.3. Kullanılan Kompozit Pazarı/M80-3 kodlu karbon elyaf dolgusunun bazı fiziksel özellikleri	46
Tablo 3.4. Hazırlanan kompozit malzemelerine ait bileşim oranları	48



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Polimer kompozit malzemenin kesit görüntüsü	4
Şekil 2.2. Sürekli ve kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemelere ait mikro- yapılarının şematik görüntüsü	5
Şekil 2.3. Konjuge çift bağ yapısının gösterimi	10
Şekil 2.4. Poliasetilen zinciri üzerinde elektron hareketinin gösterimi.....	11
Şekil 2.5. Farklı oranlarda (%10, %16 ve %22) iletken tanecik dolgu maddesi içeren kompozit malzemelerde elektrik perkolasyonun oluşumu	12
Şekil 2.6. Karbon elyafa ait görünüm	13
Şekil 2.7. İnsan saçı ve karbon elyafa ait elektron mikroskop görünümü	13
Şekil 2.8. Zift ve PAN temelli karbon elyaf üretimine ait proses akış şeması.....	14
Şekil 2.9. ABS polimerinin kimyasal yapı görünümü	16
Şekil 2.10. ABS'nin zincir yapısına ait görünüm.....	17
Şekil 2.11. ABS polimerizasyonunun akış şeması	18
Şekil 2.12. İki paralel plaka arasında akışkanın aktığı varsayımına dair şematik görünüm.....	20
Şekil 2.13. Belirli bir kayma kuvveti nedeniyle oluşan laminar akış hızı.....	21
Şekil 2.14. Akma yönüne ters olarak oluşan sürtünme kuvveti	22
Şekil 2.15. Viskoelastik malzemelerin viskozite-kesme hızı ilişkisine ait eğriler	22
Şekil 2.16. İdeal viskoz (a) ve İdeal elastik (b) malzemelerine uygulanan kuvvete karşı oluşan gerilim eğrileri	24
Şekil 2.17. (a) Elektriksel perkolasyonun gösterimi ve (b) Reolojik perkolasyonun gösterimi	25
Şekil 2.18. Elektromanyetik dalganın bileşenlerine ait şematik gösterimi	26
Şekil 2.20. Kapasitör içinde meydana gelen elektrik alan gösterimi	28
Şekil 2.21. Polimer kompozit malzemelerde iletken dolgu miktarına bağlı olarak iletkenlik arasındaki değişim grafiği	31
Şekil 2.22. Perkolasyon eşiğinin altında ve üstündeki dolgu oranlarının kullanılmasına bağlı olarak kompozit malzemenin yapısına ait şematik gösterimi	32
Şekil 2.23. Koaksiyonel hat iletim tekniğine ait şematik gösterim	32
Şekil 2.24. S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} saçılma parametrelerine ait şematik gösterimi	33
Şekil 2.25. (a) Radar sinyallerinin uçak yüzeyi tarafından soğurulmasına ait şematik gösterim ve (b) Radar sinyallerinin başka tarafa yönlendirilmesine ait şematik gösterim.....	34
Şekil 2.26. RAM' da elektromanyetik dalganın sönümlenmesine ait şematik gösterim	35



Şekil 2.27. RAM için RL ve frekans grafiği	36
Şekil 2.28. (a) Ağırlıkça %2, %4 ve %6 karbon nano elyaf (CNF) içeren kompozit malzemelerin elektriksel geçirgenlik (permütivite) değerlerine ve (b) Ağırlıkça %2, %4 ve %6 karbon elyaf içeren kompozit malzemelerin elektriksel geçirgenlik (permütivite) değerlerine ait grafikler	41
Şekil 2.29. (a) 3 mm kalınlığında karbon nano elyaf ve (b) 2,3 mm kalınlığında gözenekli karbon elyaf ile hazırlanan kompozitlerin RL-frekans grafikleri	42
Şekil 2.30. %40, %50, %60 oranlara sahip SCI ve FCI dolgular ile hazırlanan kompozitlerin ϵ' -frekans ve ϵ'' -frekans grafikleri	43
Şekil 2.31. Farklı dolgu oranlarına sahip 3 mm kalınlığındaki SCI ve FCI kompozit malzemelerin RL-frekans grafiği	43
Şekil 3.1. MOLCHEM marka NK84 kodlu karbonil demirin fiziksel görüntüsü.....	45
Şekil 3.2. Kompozit Pazarından M80-3 kodlu karbon elyafın fiziksel görüntüsü.....	46
Şekil 3.3. Kullanılan Kökbir RTX-M40 marka melt-mixer	47
Şekil 3.4. Kullanılan plastik kırma makinesine ait fotoğraflar	47
Şekil 3.5. Kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	48
Şekil 3.6. Kullanılan Rotasyonel Reometre (Discovery Hybrid Rheometer, HR-1, TA Instruments) cihazı	49
Şekil 3.7. Viskoelastik malzemelerin reolojik davranışına ait eğriler.....	49
Şekil 3.8. En yüksek test zamanının belirlenmesi	51
Şekil 3.9. VNA testinin analizleri için kullanılan hazırlama cihazı ve hazırlanan malzemelere ait fotoğraflar	52
Şekil 3.10. Elektriksel geçirgenlik değerlerinin analiz ölçümünde kullanılan VNA test düzeneği	53
Şekil 4.1. %10 Karbon elyaf içeren (CF10) örneğin SEM görüntüleri.....	55
Şekil 4.2. %30 Karbon elyaf içeren (CF30) örneğin SEM görüntüleri.....	56
Şekil 4.3. %30 Karbonil demir içeren (CI30) örneğin SEM görüntüleri	57
Şekil 4.4. %60 Karbonil demir içeren (CI60) örneğin SEM görüntüleri	58
Şekil 4.5. ABS'nin saklanan modül (G') değerinin zamanla değişimi.....	59
Şekil 4.6. ABS'nin kayıp modül (G'') değerinin zamanla değişimi	59
Şekil 4.7. ABS polimeri ve CF serisi kompozitlerin Saklanan modül (G') – Açısal frekans (ω) eğrileri	60
Şekil 4.8. ABS polimeri ve CF serisi kompozitlerin Kayıp modül (G'') – Açısal frekans (ω) eğrileri	61
Şekil 4.9. ABS polimeri ve CI serisi kompozitlerin Saklanan modül (G') – Açısal frekans (ω) eğrileri	62



Şekil 4.10. ABS polimeri ve CI serisi kompozitlerin Kayıp modül (G'') – Açısal frekans (ω) eğrileri	62
Şekil 4.11. CF serisi kompozitlerin viskozite-kayma hızı eğrileri	64
Şekil 4.12. CI serisi kompozitlerin viskozite-kayma hızı eğrileri.....	66
Şekil 4.13. CF serisi örneklerin dolgu oranı ve sıcaklığa bağlı olarak E' değerlerinin değişimi	67
Şekil 4.14. CI serisi örneklerin dolgu oranı ve sıcaklığa bağlı olarak E' değerlerinin değişimi	68
Şekil 4.15. ABS polimerinin ve farklı oranlarda karbon elyaf içeren CF serisi kompozitlerin (a) ϵ' ve (b) ϵ'' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi	69
Şekil 4.16. ABS polimerinin ve farklı oranlarda karbonil demir içeren CI serisi kompozitlerin (a) ϵ' , (b) ϵ'' , (c) μ' ve (d) μ'' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi	70
Şekil 4.17. (a) CF10, (b) CF20 ve (c) CF30 örneklerine ait kalınlık-frekans sonuçlarını içeren dış hat grafiği	73
Şekil 4.18. (a) CI50, (b) CI60 örneklerine ait kalınlık-frekans sonuçlarını içeren dış hat grafiği.....	74



FARKLI KARBON TÜREVLERİ VE MANYETİK BİLEŞEN İÇEREN POLİMER KOMPOZİTLERDE MİKRO-YAPI ELEKTROMANYETİK DALGA SÖNÜMLEME İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Elektromanyetik dalgaları soğurma özelliği gösteren polimer kompozitlerin geliştirilmesi hem literatür hem de endüstriyel AR-GE projelerinde büyük ilgi çekmektedir. Bu konuyla ilgili çalışmalarda ise genellikle farklı iletken karbon türevlerinin ya da manyetik özellik gösteren bileşenlerin bir polimer faz içerisinde dağıtılarak polimer kompozitlerin hazırlanması yaygın kullanılan bir tercihtir. Bu tarz çalışmalarda ise daha çok epoksi, silikon ya da bir termoplastik esaslı bir polimer faz içerisinde bu dolgular fiziksel olarak dağıtılmakta ve performans özellikler incelenmiştir. Buna rağmen farklı dolguların geometrik özellikleri, dolgu/polimer etkileşimleri, dolgu dağılımının etkisi gibi polimer kompozitlerdeki mikro yapısal özelliklerin etkisinin elektromanyetik dalga soğurma ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında endüstriyel olarak yaygın bir şekilde kullanımı bulunan ve geniş bir sıcaklık aralığında yüksek mekanik mukavemet sunan Akrilonitril bütadien stiren (ABS) polimerine farklı manyetik özellikli toz formundaki dolgu ve karbon türevli dolgu kullanılarak hazırlanan kompozitlerin öncelikle taramalı elektron mikroskobu (SEM), dinamik mekanik analiz (DMA) ve reolojik analizlerle işleme ve mikro-yapı özellikleri incelenerek daha sonra dielektrik parametreleri ve elektromanyetik dalga soğurma özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radar soğurma, iletken kompozitler, mikro-yapı özellik ilişkisi



INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND ELECTROMAGNETIC WAVE ATTENUATION RELATIONSHIP IN POLYMER COMPOSITES CONTAINING DIFFERENT CARBON DERIVATIVES AND MAGNETIC COMPONENTS

ABSTRACT

The development of polymer composites with the ability to absorb electromagnetic waves has attracted great interest in both literature and industrial R&D projects. In these studies, it is a common choice to prepare polymer composites by dispersing different conductive carbon derivatives or magnetic components in a polymer phase. In such studies, these fillers are physically dispersed in a polymer phase based on epoxy, silicone or a thermoplastic and their performance properties are investigated. However, it is aimed to examine the relationship between the effect of microstructural properties in polymer composites, such as the geometric properties of different fillers, filler/polymer interactions, filler distribution, and electromagnetic wave absorption.

Within the scope of the thesis, acrylonitrile butadiene styrene polymer, which is widely used industrially and offers high mechanical strength in a wide temperature range, is filled with carbony iron and nickel powder, prepared by melt processing methods and microstructural, dynamic mechanical and rheological properties were examined. Then, the dielectric parameters and electromagnetic wave absorption properties, were investigated.

Keywords: Radar absorbing, conductive composites, microstructure-property relationship



1. GİRİŞ

Bir radar vericiden gönderilen, belirli frekanstaki elektromanyetik dalgayı yüksek bir şekilde absorplayarak sinyalin geri dönmesini önleyen ve bu şekilde radar sisteminin yer tespitini zorlaştıran malzemeler “radar soğurucu malzemeler (RAM)” olarak tanımlanır [1].

Bu konu ile ilgili olarak, son yıllarda polimer kompozit malzeme alanında önemli araştırmalar yapılmaktadır. Bilimsel çalışmalar incelendiğinde; radar soğurucu malzemelerin geliştirilmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat literatür çalışmalarında, kullanılan farklı dolguların geometrik özelliklerinin ve polimer kompozitlerdeki mikroyapısal özelliklerin radar absorplama performanslarına olan etkisinin değerlendirilmesi konusunda eksiklikler olduğu dikkat çekmiştir.

Bu tez çalışmasında; farklı dolgu tipleri, farklı oranlarda kullanılarak elde edilen polimer kompozit malzemelerdeki mikroyapısal özelliklere ve reolojik özelliklere bağlı olarak elektromanyetik dalga soğurma performanslarının değişimi incelenerek reolojik özellikler ile radar absorplama performansı arasındaki ilişkinin kurulmasına yönelik çalışılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler

Belirli koşullarda ve oranlarda fiziksel şekilde farklı olan iki veya daha fazla malzemenin makro yapıda bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler elde edilmektedir. Kompozit malzemelerde kullanılan farklı bileşenler kimyasal olarak inert davranış sergilemektedir ve birbirleri içinde çözünmezler [2].

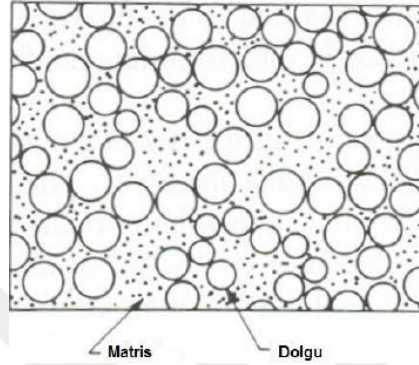
Kompozit malzemelerin avantaj sağlayan birçok özelliği bulunmaktadır ve avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [2]:

- Kolay şekillendirebilme: Büyük, detaylı ve kompleks parçalar için tek bir işlem sayesinde bir parça olarak kalıplanması.
- Mukavemetin yüksek olması: Metal malzemelere kıyasla kompozit malzemelerin çekme mukavemet özellikleri daha iyidir.
- Kimyasal ve korozyon etkilere karşı mukavemet: Kompozit malzemeler birçok kimyasalın etkisinden zarar görmemekle birlikte hava etkilerinden veya korozyon etkilerinden de zarar görmezler.
- Elektriksel özellikler: İyi elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünlerin elde edilmesine olanak sağlarlar.
- Isıya dayanıklılık: Isıya dayanıklılık özelliği sayesinde, yüksek ısı altında kullanılabilme avantajı sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerin avantaj sağlayan birçok özelliğinin yanı sıra olumsuz özellikleri de bulunmaktadır [2]:

- Hava taneciklerinin kompozit malzemeler içerisinde bulunması, malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz bir şekilde etkilemektedir.
- Kesme ya da delik delme gibi hassas imalat içeren işlemlerin uygulanması esnasında kompozit malzemelerde liflerde açılma oluşabileceğinden dolayı hassas işlemler için uygun değildir.
- Farklı doğrultularda kullanılması durumunda kompozit malzemelerde mekanik özellikler değişiklik gösterirler.

Sabit bir faz içerisinde farklı dolguların eklenmesi ile çok fazlı sistemlerin elde edilmesi sonucu kompozit malzemeler oluşmaktadır ve ürüne farklı özellikler kazandırmaktadır. Kompozitte kullanılan matris, kompozitin esas yapısını oluşturmaktadır ve taşıyıcı bileşendir. Kompozitte kullanılan dolgu ise ikinci bileşen olarak adlandırılır ve özellik geliştirmek veya iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler tek bileşenli malzemelerden farklıdır [3].



Şekil 2.1. Polimer kompozit malzemenin kesit görüntüsü [4]

Kullanılan dolgu ve matris malzemelere göre kompozitler çok çeşitli olabilmektedirler. Matris malzemeye göre kompozitler isimlendirilirler. Kompozitler bu tanıma göre üç farklı grupta sınıflandırılabilirler; polimer kompozitler, seramik kompozitler ve metal kompozitlerdir. Dolgu fazının organik ya da inorganik; matris malzemenin termoset ya da termoplastik olması ile oluşturulan kompozitler “polimer kompozit” olarak tanımlanabilir [4].

Termoplastik ve termoset plastikler olmak üzere iki farklı plastik türü vardır [2];

Termoplastikler, ısıtıldığında yumuşayarak şekillendirildikten sonra soğutulduğunda eski yapıya dönüşüm sağlamaktadır. Örnek olarak; Polietilen, naylon, polistiren malzemeleri termoplastikler sınıfına girmektedir. Termoset plastikler ise ısıya maruz bırakılıp şekillendirildikten sonra soğutulduğunda eski yapıya dönüşüm sağlanamamaktadır. Epoksiler, polyesterler termoset plastikler sınıfına girmektedir. Termosetlerin termoplastiklere göre daha iyi matris malzeme olmasından dolayı, endüstri alanında lif takviyeli kompozitlerde yaygın olarak termosetlerden faydalanılmaktadır [2].

Polimer kompozitler, termoset ya da termoplastik matris ve organik ya da inorganik bir dolgu fazından oluşan malzemelerdir ve istenen amaca göre farklı özellikler

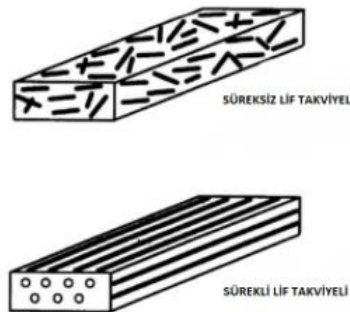
sağlayabilmektedirler. Kompozit malzemelerin içerisinde bulunan polimer matris ve dolgu maddesinin birbirinden farklı görevleri bulunmaktadır. Dolgunun kimyasal etkilerden ve atmosfer koşullarından korunması, yükün dolgu arasında dağılımının sağlanması, dolgu ile yapısal olarak bütünlüğün sağlanması polimer kompozitte bulunan matris malzemenin esas görevlerindendir. Polimer kompozitlerde bulunan dolgunun ise başlıca görevi, kompozit malzemeye fiziksel olarak bir özelliğin sağlanması ya da bazı özelliklerin iyileştirilmesini sağlamaktır. Polimer kompozit malzemede kullanılan dolgu fazının farklı birçok fiziksel ya da yapısal özellikleri kompozitin özelliklerini etkilemektedir. Bu özellikler; dolgu malzemesinin şekli, geometrisi, kullanım oranı, türü, büyüklüğü, yüzey alanı ve yüzey özellikleri şeklinde sıralanabilir [4].

2.2. Polimer Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Polimer kompozitler ikiye ayrılabilir. Kompozit malzemede kullanılan dolgunun elyaf ya da lif (fiber) takviyeli ve tanecik (partikül) takviyeli şeklinde olmasına göre sınıflandırılırlar [3].

2.2.1. Elyaf (fiber) takviyeli polimer kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitlerde, malzemelerin düşük olan mekanik özelliklerinin kuvvetlendirilmesi amacıyla elyaf yapıdaki dolgular kullanılabilir. Malzemelerin kuvvetlendirilmesi gereken mekanik özellikleri; çekme, germe ve eğilme gibi özellikler olabilir. Elyaf, makroskobik olarak homojen esnek bir malzemedir ve boyu kesitinin en az 100 katıdır. Elyaf takviyeli kompozitler genel olarak sürekli elyaflar ve kesikli elyaflar şeklinde ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.2) [5].



Şekil 2.2. Sürekli ve kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemelere ait mikro-yapılarının şematik görüntüsü

Sürekli elyaflar genel olarak reçine içerisinde yükün yönüne paralel olarak yatırılırlar. Kesikli elyaflar ise polimer matris içerisinde genellikle rastgele dağıtılırlar. Kesikli elyaflar, kompozit malzemelerin mekanik özellikleri açısından izotropik davranış gösterirler.

Elyaf takviyeli polimer kompozitlerin hazırlanma aşamalarında önemli olan ve dikkat edilmesi gereken bazı temel özellikler aşağı verilmiştir;

- Elyafın yönelme şekli
- Elyaf kalınlığı
- Elyaf miktarı
- Elyafın yüzey özellikleri
- Elyaf-polimer matris etkileşimi
- Elyafın mekanik özellikleri

Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin içerisinde kullanılan elyaf miktarının artırılması kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini (mekanik dayanımlarını) genellikle arttırmaktadır, ancak bileşim içerisinde kullanılan elyaf miktarındaki artış belirli bir seviyenin üzerinde olursa mekanik dayanımda azalmaya neden olur. Mekanik dayanımda azalmanın sebebi ise şöyle açıklanabilir; polimer kompozit içerisinde kullanılan elyaf miktarının artması ile bileşim içerisinde kullanılan polimer matris miktarında azalma meydana gelir ve bu durumda matris taşıyıcı özelliğini kaybedeceğinden dolayı lifleri bir arada tutamaz hale gelmektedir [4].

Cam elyafı, karbon elyafı, aramid elyafı, boron elyafı, oksit elyaflar, naylon elyafı, polyester elyafı, organik elyaflar ve polietilen elyaflar (yüksek molekül ağırlıklı) kompozit malzemelerde en yaygın olarak kullanılan elyaf türleridir.

2.2.1.1. Karbon elyaf

Cam elyaflardan sonra karbon elyaflar geliştirilmiştir ve karbon elyaflar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon, kristal yapıda olup 2.268 g/cm^3 yoğunluğa sahip bir malzemedir. Karbon elyaf üretimlerinde Poliakrilonitril (PAN), Zift ve Selüloz (Rayon) hammaddeleri kullanılmaktadır ve üretim esnasında kullanılan malzemelere göre adlandırılırlar. Çok düşük modüle sahip elyaflar için rayon kullanılır, fakat maliyetleri yüksek olduğundan dolayı rayon elyaflar kullanım açısından uygun değildir. Rayon, $1000-3000^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında inert bir atmosfer ortamında ısıtılır ve bu işlem esnasında çekme kuvveti uygulanmaktadır. Mukavemet ve tokluk gibi özellikler bu proses esnasında sağlanır. PAN hammaddesi elyaf üretimlerinde rayon hammaddesinin yerine kullanılır. PAN hammaddesi kullanılarak üretilen elyafların maliyetleri oldukça düşüktür ve çekme mukavemet değerleri 2413 ile 3102 MPa aralığındadır. Zift hammaddesi, petrolün rafinesi ile elde edilir ve bu hammadde ile üretilen elyafların çekme mukavemet değeri 2069 MPa'dır. Zift bazlı elyafların maliyetleri düşüktür ve PAN esaslı elyaflar ile mekanik özellikleri kıyaslandığında, PAN hammaddesinin kullanıldığı elyafların mekanik özellikleri daha iyidir [6].

Karbon elyaflar kristal, yarı kristal ya da amorf yapıda olabilir. Karbon elyafların, sürekli ve kesikli olmak üzere iki farklı şekilde üretimi yapılmaktadır. Karbon elyafların, karbon içeriği en az %92 oranında olduğu bilinmektedir [7, 8].

Karbon elyaflar, aramid ve cam elyaflar ile kıyaslandığında, karbon elyafların üretimi daha pahalıdır ve bu durumdan dolayı öncelikle uçak sanayi parçalarında, spor malzemelerinde ve tıbbi malzemelerde kullanılmaya başlanmıştır. Karbon elyafların avantaj sağlayan özelliği; karbon elyaflar epoksi matrisler ile birleştirildiğinde mükemmel sertlik ve dayanıklılık özellikleri sergilemektedir [6].

2.2.2. Tanecik/partikül takviyeli kompozit malzemeler

Farklı tipte organik ya da inorganik taneciklerin polimer matris içerisinde dağıtılmaları ile tanecik takviyeli kompozit malzemeler elde edilir. En çok kullanılan dolgu tipleri “karbon siyahı, metal tozları, tuzlar, oksitler, mineraller” şeklinde sıralanabilir.

Kompozit malzemelerde kullanılan taneciklerin, kompozitin sertliğini artırma özelliği vardır, fakat taneciklerin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Polimer kompozitlerde kullanılan tanecik

yapıdaki dolguların birçok avantaj sağlayan özelliği bulunmaktadır. Bunlar; elektrik ve ısı iletkenliğini değiştirmek, aşınmaya karşı dayanımı arttırmak, işlenebilirliğini iyileştirmek, sürtünmeyi azaltmak ve büzölmeyi azaltmak gibi birçok özelliğin geliştirilmesi için kullanılabilirler. Genellikle birçok durum için maliyeti azaltma çalışmalarında kullanılmaktadırlar [4]. Kompozit malzemeler içerisinde kullanılan tanecik dolguların, kompozit malzemelerin performansını etkileyen birçok değişkeni bulunmaktadır. Kullanılan taneciklerin; boyutları, boyut dağılımı, yüzey özellikleri, matris içerisindeki dağılımı/oranı, bileşim içerisinde kullanım oranı ve matris içerisindeki yönlenmesi gibi birden fazla değişken kompozit malzemelerin performansını etkilemektedir [9].

2.3. Polimer Esaslı Kompozitlerin Kullanım Alanları

Polimer esaslı kompozitlerin birçok avantaj sağlayan özelliği bulunduğundan dolayı birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir.

Polimer kompozitlerin avantaj sağlayan özellikleri şöyle sıralanabilir;

- İyi darbe dayanımı
- Hafif olması
- Mekanik özelliklerinin üstünlüęü
- Korozyon dayanımı
- Kolay işlenebilirlik
- Metallere göre düşük maliyet ve metallere göre yüksek darbe dayanımı

Polimer kompozitler avantajlı özelliklerinden dolayı birçok farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Bu uygulama alanları şöyle sıralanabilir [4,9,10];

- Uçak sanayi (kanat, türbin bıçakları)
- Gemi ve otomotiv sanayi
- Uzay araç gereçleri
- Medikal ve laboratuvar malzemeleri
- Spor malzemeleri
- Denizcilik ve tren malzemeleri

- Bahçe mobilyaları/uygulamaları
- Elektronik uygulamalar

2.4. Polimer Esaslı Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

2.4.1. Eş-anlı polimerizasyon

Belirli şartlar altında, monomerler dolgu ile karıştırılır ve bu karışımdan iyi bir dağılım sağlandıktan sonra uygun bir başlatıcı eklenerek polimerizasyon işlemi gerçekleştirilir [4].

2.4.2. Çözeltide karıştırma

Uygun olan bir çözücüde polimer çözülür ve çözeltisi hazırlanarak karışımda kullanılacak katkı maddesi eklenir ve karıştırılır. Daha sonra hazırlanan karışımdan çözücü uzaklaştırılır ve polimer kompozit malzeme elde edilir. Polimer çözeltisinin viskozitesi, konsantrasyonu ve karıştırma şartları çözeltide karıştırma yöntemi için etkin olan önemli parametrelerdir [3].

2.4.3. Eriyik harmanlama

Farklı tipteki ekstrüder makineleri eriyik harmanlama yönteminde kullanılan en yaygın sistemlerdir. Genel olarak şekillendirme işlemlerinde ekstrüder makinesinde dolgunun kalma süresinin kısa olması gerekmektedir ve bundan dolayı, bu kısa süre içerisinde dolgunun etkili bir şekilde dağılmamasından kaynaklı iyi karışmamış yani homojen olmayan polimer kompozit karışım elde edilebilir [3].

2.5. İletken Polimer Kompozit Malzemeler

Yalıtkanlar ve metaller arası bir iletkenliğe sahip olan polimerler, iletken polimerler olarak adlandırılmaktadır. Organik metal ya da sentetik metal şeklinde de adlandırılmaktadırlar. Yarı iletkenlerde ve metallerde bulunmayan bazı özellikler iletken polimerler ile sağlanabilir. Polimerlerin birçok avantaj sağlayan özelliği bulunmaktadır. Bu üstün özellikler şöyle sıralanabilir [2];

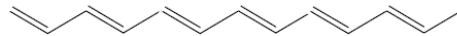
- Esnek olması
- Hafif olması
- Estetik görünümde olması

- Kolay işlenebilir olması
- Kimyasal açıdan inert özellikte olması
- Elektriksel yalıtkanlığının iyi olması

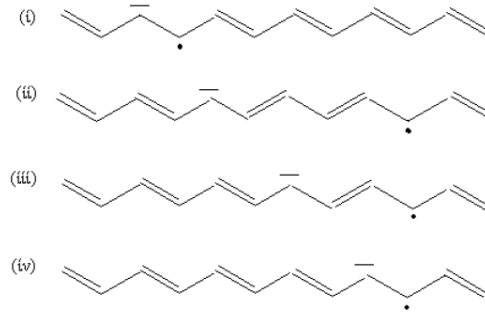
İletken polimerlerin yapısında, değişen tek ve çift bağlardan oluşan konjuge zincir bulunmaktadır. İletken polimerlerin, iletken özelliğini yapılarında bulunan uzun konjuge çift bağlı zincirler sağlamaktadır ve bu nedenle sadece konjuge olmuş polimerlerin elektriği iletme özelliği olduğu söylenebilir [2].

Polimer malzemeler metaller ile kıyaslandığında, polimer malzemelerin metallere göre birçok avantaj sağlayan özelliği bulunmaktadır. Bu özellikler; daha hafif olması, kolay işlenebilir olması, maliyetinin daha düşük olması, uzun ömürlü olması ve çevresel şartlara karşı dayanıklı olması şeklinde sıralanabilir. Polimer malzemelerin bu özelliklere sahip olması nedeniyle, bu malzemelere iletken özelliklerin eklenmesi ile metal malzemelere alternatif olarak kullanılması uzun yıllardır ilgi çeken konulardandır [4].

Polimer malzemeler genel olarak yalıtkan özelliktedirler, fakat metaller kadar iyi olmasa da polipirol, polianilin, politiyofen, polifuran gibi polimerler elektriksel iletkenlik özellik göstermektedirler [11, 12]. Ana zincir yapısı üzerinde bulunan konjuge çift bağlardan elektron taşınması bu polimerlerin elektriksel iletkenlik özellikte olmasını sağlamaktadır [2]. Malzemeye iletkenlik özelliğini veren konjuge bağlardır, fakat sağlanan bu iletkenlik değeri yetersizdir. HCl, H₂SO₄, HBr, HNO₃ gibi elektron sağlama özelliğine sahip asitler polimer yapısına yüklenerek, malzemenin iletkenlik özelliği artırılır. Yapıda oluşan katyonik boşluklar ile yükleme işlemi eş zamanda gerçekleşir. Etrafta bulunan elektronların sıçraması nedeniyle katyonik yapıdaki boşluklar doldurulur. Elektronların boşalttığı kısımlarda artı yük boşluklar tekrar açılarak elektriksel iletkenliğin sağlanmasına neden olur [4].



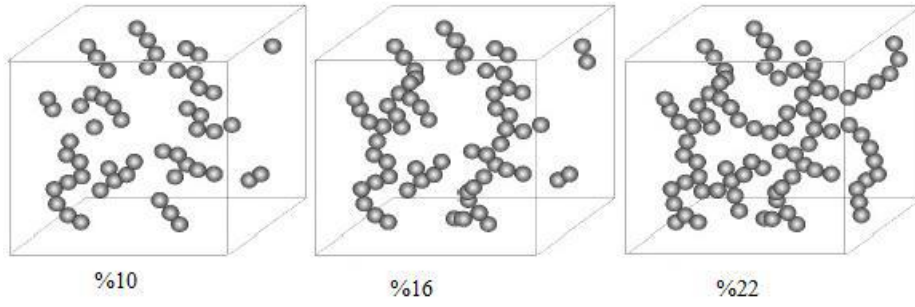
Şekil 2.3. Konjuge çift bağ yapısının gösterimi [2]



Şekil 2.4. Poliasetilen zinciri üzerinde elektron hareketinin gösterimi [2]

İletken polimerlerin yüksek iletkenlik gerektiren uygulamalar için metal malzemelere alternatif oluşturmamasının sebebi şu şekilde açıklanabilir; iletken polimerlerin iletkenlik değerleri metallere göre düşük, sentezlerinin zor olması ve mekanik dayanımlarının düşük olmasıdır. Bu malzemelere kıyasla, maliyeti daha düşük, daha kolay hazırlanabilen ve iletkenlik özellikleri (değerleri) daha yüksek olan iletken dolguların kullanılması ile kompozit malzemeler hazırlanmaktadır ve bu kompozit malzemeler elektriksel iletkenlik özelliğine sahip olmalarından dolayı, elektrik iletkenlik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4].

Karbon elyaf, karbon siyahı, grafit gibi karbon esaslı dolgular ya da demir tozu, alüminyum gibi metal dolgular iletken dolgular olarak kompozit malzemelerde kullanılabilir. Ayrıca bu tez kapsamında, manyetik özelliğe sahip karbonil demir dolgu maddesi de iletken dolgu olarak kullanılacaktır. Kompozit malzemelerde kullanılan iletken dolgunun iletkenlik sağlayabilmesi için, iletken özellikteki dolgu maddesi polimer matris içerisinde iletken köprüler ve süreklilik sağlayan bir iletken yol oluşturur ve böylece iletkenliğin gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemedeki kullanılan dolgu maddesinin belirli bir kritik oranın üzerinde olması ile iletkenlik sağlanabilir. Bu bileşim değerine kadar iletkenlik çok düşük değerlerde ise ya da iletkenlik bu bileşim değerine kadar sağlanamazken bu noktadan sonra elektriksel iletkenlik değerinde hızlı bir artış meydana gelir ve bu kritik olan bileşim değeri “iletkenlik perkolasyonu” olarak adlandırılır [4].



Şekil 2.5. Farklı oranlarda (%10, %16 ve %22) iletken tanecik dolgu maddesi içeren kompozit malzemelerde elektrik perkolasyonun oluşumu [13]

2.5.1. İletken dolgular

Karbon ve metal esaslı olarak iletken dolgular iki gruba ayrılabilir. Karbon elyaf, karbon siyahı, grafit, karbon nanotüp gibi farklı malzemeler karbon esaslı dolgular olarak kullanılabilir. Metal esaslı dolgular kullanılarak hazırlanan polimer kompozitler, karbon esaslı dolgular ile hazırlanan polimer kompozitlere göre daha az tercih edilmektedir. Metal esaslı polimer kompozitlerin daha az tercih edilmesinin sebepleri ise; yüksek maliyet, proses/şekillendirme zorlukları, polimer-metal arayüzey etkileşimlerinin zayıflığı şeklinde sıralanabilir [4].

2.5.1.1. Karbon elyaf

Özel üretim prosesleri ile elde edilen ve birçok teknoloji uygulamalarında kullanımı yaygınlaşan ipliksi yapıdaki malzemeler karbon elyaf olarak adlandırılmaktadır. Nylon, karbonlaşmış akrilik elyaf karbon elyafın ana bileşimlerini oluşturmaktadır. Karbon elyaf ile çeliklerin dayanıklılığı ve hafiflik özelliği karşılaştırıldığında, karbon elyaf çeliğe göre 3 kat daha fazla dayanıklıdır ve çelikten 4-5 kat daha hafiftir. Karbon elyaf içeriğinde bulunan karbon atomları, içeriğin yaklaşık olarak %92'sini oluşturmaktadır. Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin birçok üstün özelliği bulunmaktadır. Bu üstün özellikler şöyle sıralanabilir; hafiflik, maliyeti düşük ve öz dayanımı yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık, uzay, enerji, spor gibi alanlarda kullanılmaktadır. Karbon elyaflar, sürekli elyaflar ve kırık elyaf olmak üzere ticari ürün formunda iki şekilde bulunmaktadır [4, 14].

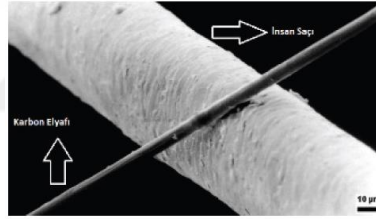
Sürekli Elyaflar: Tüm reçineler ile kombine olabilme özelliği bulunur. Sürekli elyaflar tek yönlü bantlarda, dokuma, örgü, bobin uygulamalarında kullanılabilir.

Kırpık Elyafar: Kırpık elyafar kullanılarak hazırlanan ürünlerde yüksek mukavemet ve sertlik, olağanüstü korozyon ve yorulma dayanımı gibi özellikler bulunmaktadır. Kimyasal valf, enjeksiyon kalıplama ve basınçlı kalıplarda makine parçaları gibi farklı uygulamalar için kırpık elyaf kullanılır [4].



Şekil 2.6. Karbon elyafa ait görünüm [15]

Karbon elyafın yapısı insan saçının kalınlığından daha incedir ve oldukça güçlüdür. Çelik ve alüminyum ile bazı özellikleri kıyaslandığında; alüminyumdan 1,5 kat daha hafiftir ve 8 kat daha sağlamdır, çeliğe göre ise 5 kat daha hafiftir ve 10 kat daha güçlüdür. Reçineye göre sahip olduğu özellikler değişmektedir, reçine ile kaplandıktan sonra korozyona karşı yüksek direnç gösterir ve kullanılan reçineye göre yüksek yorulma dayanım özelliğine sahip olmaktadır [15].



Şekil 2.7. İnsan saçı ve karbon elyafa ait elektron mikroskop görünümü [15]

Zift ve PAN olmak üzere iki farklı şekilde ticari olarak karbon elyaf üretimi yapılmaktadır. Daha zayıf mekanik özelliklere sahip olan karbon elyafları zift tabanlıdır. Günümüzde üretimi sağlanan karbon elyafların yaklaşık %90'ı PAN ile üretilmektedir. Bunun sebebi ise, mekanik değerlerinin daha iyi olması ve işlemenin kolay olmasından kaynaklanmaktadır [16, 17]. Kopma uzaması ve dayanımı, elastikiyet modülü en yüksek olanlar PAN temelli karbon elyaflardır. Zift ile üretimi sağlanan karbon elyaf eriyik çekme yöntemi kullanılarak üretilmektedir (Zift-Melt spinning). PAN ile üretimi sağlanan karbon elyaflarda ise, elyaf ıslak çekme yöntemi kullanılarak üretilmektedir (PAN-Wet spinning) [15].



Şekil 2.8. Zift ve PAN temelli karbon elyaf üretimine ait proses akış şeması [18]

PAN esaslı karbon elyafların üretimi dört aşamada gerçekleşmektedir [4,14];

1. Oksidasyon: 300°C'ye kadar hava ortamında PAN elyaflar ısıtılır. Bu işlemin yapılmasının sebebi, hidrojenin elyaftan ayrılarak daha uçucu olan oksijenin eklenmesini sağlar. Daha sonra elyaflar karbonizasyon aşaması için kesilir ve grafit teknelerine yerleştirilir. Polimerin yapısında dönüşme meydana gelir. Merdiven yapısındaki polimer, kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem esnasında elyafın renginde değişim meydana gelir. Beyaz renginde olan elyaf, kahverengiye ve daha sonra siyah rengine dönüşür.
2. Karbonizasyon: Liflerin %100 karbonlaşmasının sağlandığı aşamadır, bu aşama sağlanırken elyaflar 300°C'ye kadar inert olmayan atmosferde ısıtılır. Üretimi yapılan elyaf sınıfının ve özelliklerinin belirlenmesinde karbonizasyon işlemi esnasında uygulanan sıcaklık önemlidir.
3. Yüzey İyileştirmesi: Kompozit malzemelerin üretim aşamalarında elyafın taşıyıcı bileşene iyi bir şekilde yapışabilmesi ve yüzeyi temiz karbon elde edilmesi için ürün elyafların elektrolitik bir banyoya yatırıldığı aşamadır.
4. Kaplama: Nötr bir sonlandırma aşamasıdır ve elyafı sonraki işlemlerden (prepreg işlemi gibi) korumak için uygulanır. Kaplama işleminde elyaf reçine ile kaplanır ve genel olarak bu işlemde epoksi kullanılır.

2.5.1.2. Karbonil demir

Saflaştırılmış demir pentakarbonilin kimyasal olarak ayrışmasıyla karbonil demir meydana gelir ve saf bir demirdir. Karbon, oksijen ve nitrojen safsızlıkların çoğunu oluşturur. Fiziksel görünümü toz şeklindedir, rengi gridir ve genel olarak küresel mikro partiküllerden oluşur. 1925 yılında karbonil demir tozunu BASF icat etmiştir [19].

Karbonil demir, küçük parçacık boyutuna sahiptir ve bu nedenle benzersiz bir elementer demir şeklidir. Demirin ısı ve basınç altında karbon monoksit (CO) ile işlenmesi ile karbonil demir elde edilir. Elde edilen demir pentakarbonil ($\text{Fe}[\text{CO}]_5$), kontrollü şartlar altında ayrıştırılarak saf olan yaklaşık 5-6 μm partikül boyutuna sahip küreler biçiminde üretimi sağlanan CO ve demir tozu verir [20]. Karbonil demir ilk olarak manyetik kayıt oksit olmuştur. Karbonil demir birçok uygulama için kullanılmaktadır;

Bunlar şöyle sıralanabilir [19];

- Elektronikte, yüksek frekansa sahip bobinler için manyetik çekirdekler ve bazı ferritlerin üretiminde kullanılır.
- Radar emici malzemelerin bir bileşeni olarak kullanılır.
- Toz metalürjisi, metal enjeksiyon kalıplama gibi farklı ürünler için kullanılır.

Karbonil demirden meydana gelen toz halindeki çekirdeklerin üstünlük sağlayan bir özelliği bulunmaktadır. Bu toz haline getirilmiş çekirdekler 50 kHz ile 200 MHz aralığında olağanüstü Q faktörleri ile geniş bir sıcaklık ve manyetik akı seviyelerinde yüksek parameter kararlılığına sahiptir. Yüksek güçlü uygulamalar için ve geniş bant indüktörlerde yaygın bir uygulamadır [19].

2.5.2. İletken kompozit malzemelerin kullanım alanları

İletken polimerlerin çeşitli elektrokimyasal özellikleri bulunmaktadır. Bulundurdıkları elektrokimyasal özelliklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılmaktadır. Elektronik alet ve iyon seçici elektrotların yapımında, sensörler, fotokimyasal hücreler ve şarj olabilen pillerde kullanılmaktadırlar [2].

Metallerin kullanıldığı birçok alanda alternatif olarak iletken polimer kompozitler kullanılmaktadır. Elektromanyetik dalgaların ve radyo dalgalarının perdelenmesinde ve güneş pillerinde kullanılmaktadır [4].

İletken polimerlerin diğer bir kullanım alanı ise anti-statik kaplamalardır. Elektronik aletlerde, elektrostatik yük boşalmasından dolayı bozulmalar meydana gelmektedir. İletken polimerlerin, elektrostatik yük boşalmasına karşı hassas olan parçalarına kaplama işleminin uygulanması ile elektronik aletlerin korunması sağlanabilmektedir ya da iletken polimer kompozitlerin kullanılması ile de korunabilmektedir [21].

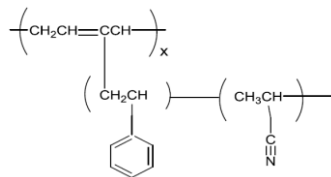
Antistatik kaplamalar elektrik yükünü dağıtmaktadır ve elektrik yükü birikmesini önleyerek malzemenin zarar görmesini engeller [21].

İletken kompozitlerde yenilikçi bir kullanım alanı daha mevcuttur; Yakıt hücrelerinde kullanımı olan iletken yapıdaki bipolar plakalar yenilik sağlayan bir kullanım alanıdır [4].

2.6. Akrilonitril Butadien Stiren (ABS)

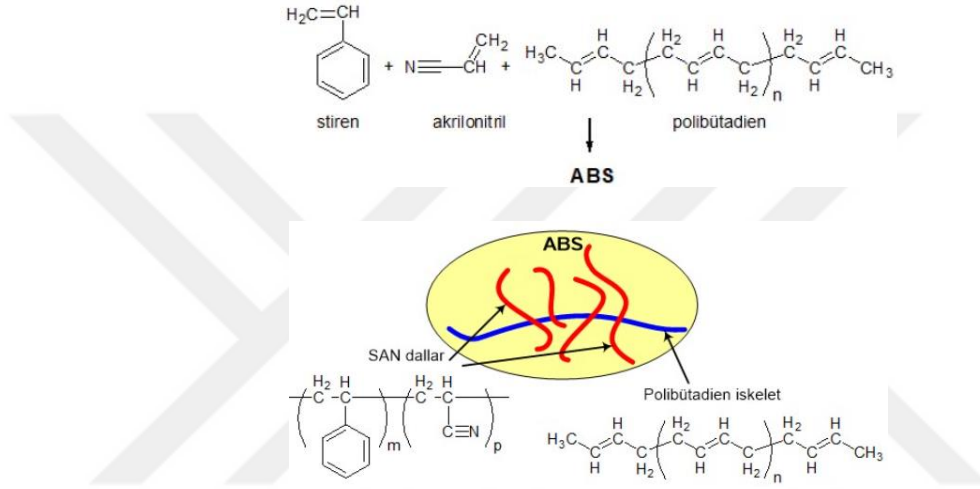
ABS polimerleri, akrilonitril, bütadien ve stiren monomerleri reaksiyonu sonucunda elde edilir. ABS plastikleri bütadien bir fazın, stiren – akrilonitril kopolimerden oluşan sürekli bir fazın içerisinde tanecikler dağılması ile oluşur. ABS, bir terpolimerdir ve amorf plastikler sınıfında yer alır. Düşük sıcaklıklarda ABS polimerleri tok, sert ve rijit yapısına sahiptir. Aynı zamanda düşük sıcaklıkta görsellik için önemli olan parlaklığa sahiptir [22,23]. ABS, beş ticari plastikler arasında yer alır. ABS malzemesi diğer plastikler ile kıyaslandığında daha iyi olan özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler şöyledir; iyi fiziksel özellikler olması, ucuz olması ve ısıya dayanıklı olması [24].

ABS polimer esaslı malzemeler; otomobil parçalarında, beyaz eşyada, switch kutularında, donanım kabinlerinde, tıbbi ürünlerde ve farklı birçok sektörde kullanılmaktadır [22].



Şekil 2.9. ABS polimerinin kimyasal yapı görünümü [22]

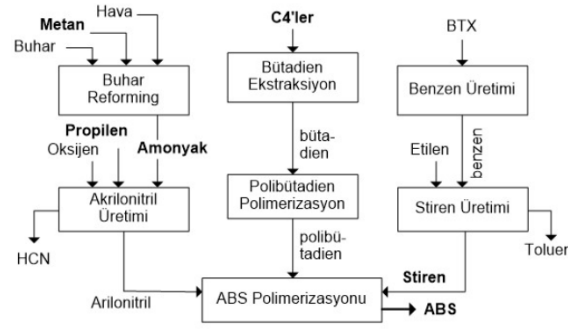
Polietilen, polipropilen veya polistiren gibi diğer termoplastik polimerlere göre ABS polimerinin üretimi daha karmaşık şekilde gerçekleşir. ABS, graf kopolimer şeklinde üretilir. ABS; bazı stiren akrilonitril (SAN), polikarbonat (PC), polivinil klorür (PVC) gibi diğer polimerler ile karıştırılarak veya terpolimer olarak kullanılır. Akrilonitril, stiren ve bütadien monomerlerinin kullanılmasıyla ABS üretilmektedir. Kullanılan bütadien monomerinden polibütadien, stiren ve akrilonitril monomerlerinden SAN kopolimeri oluşur. İskelet zincir görevinde polibütadien bulunur ve bu iskelet üzerinde SAN zincirleri vardır [25].



Şekil 2.10. ABS'nin zincir yapısına ait görünüm [25]

ABS özellikleri değiştirilmek veya iyileştirilmek istendiğinde bu yönde modifiye edilebilir. Yapıya şeffaflık, yanmazlık gibi özellik sağlayan katkılar ve mekanik özellikleri geliştiren dolgu maddelerinin eklenmesi ile ya da ABS'in diğer farklı polimerlerle harmanlarının hazırlanması ile ABS ürün özelliklerinde değişiklikler yapılması mümkündür [22].

ABS sıvı fazda süspansiyon veya emülsiyon olmak üzere iki farklı polimerizasyon yöntemi ile üretilmektedir, fakat emülsiyon polimerizasyon yöntemi daha yaygın olarak kullanılır [25].



Şekil 2.11. ABS polimerizasyonunun akış şeması [25]

ABS'ye ait bazı değerler aşağıda verilmiştir [22];

- Dielektrik sabiti: 2,4-3,3
- Dielektrik direnci: $16 - 18 \text{ mVm}^{-1}$
- Ark direnci: 50 – 90 s

ABS sıcaktan ve nemden etkilenmemektedir. ABS'nin elektriksel özellikleri geniş bir frekans aralığında oldukça sabit değerlerdedir. ABS polimerleri farklı yöntemler kullanılarak işlenebilmektedirler. Bu işleme yöntemleri şu şekilde sayılabilir; enjeksiyonla kalıplama, ekstrüzyon, şişirerek kalıplama veya haddelemedir. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılan teknikler ise enjeksiyonla kalıplama ve ekstrüzyondur. Isıl ve soğuk şekillendirme ikincil işlemler olarak sayılabilir [22].

ABS polimerinin özgül ağırlığı dolgunsuz polimer için $1,02-1,06 \text{ g/cm}^3$ dür. ABS'nin doğal rengi beyaz veya fil dişi rengindedir, fakat bu renklere ek olarak farklı renklerde kullanım imkanı sağlar. Bu özellik plastiğin üretim esnasındaki hammadde türüne ve polimerizasyon yöntemine bağlıdır. A:B:S oranı 20:30:50'dir. 114°C , yük altındaki eğilme sıcaklığıdır. Amorf yapıya sahip olan ABS polimeri yaklaşık olarak 175°C sıcaklıkta erimeye başlar. Bu esnada sıcaklık artışı ile birlikte eriyen plastiğin viskozitesinde azalma meydana gelir. Malzemede 290°C sıcaklıkta oksidasyon reaksiyonuyla ve depolimerizasyonla bozulma meydana gelir. Alev çıkana kadar malzeme ısıtıldığında, malzemede sarı isli bir duman çıkışı olur. Yanma işlemi normal gradı için kolay gerçekleşir ve alevin plastik malzemeden çekilmesi durumunda dahi yanma işlemi devam eder ve yanan damlalar oluşur. Stiren, orta asit, baza ve suda erimiş tuzlara karşı dirençlidir [23].

ABS polimerinin farklı plastikler ile belirli oranlarda karıştırılarak mekanik özelliklerin değiştirilmesi ve özelliklerin iyileştirilmesi sağlanabilir. Örnek olarak; ABS ile PVC karışımı sağlanarak PVC malzemesinin sertliğinde değişiklik meydana gelir, ABS ile PC karışımının hazırlanması ile ısı ve darbe özelliklerinin artırılması sağlanabilir [22].

Kullanılan dolgu maddelerinin, çeşit ve oranına bağlı olarak ABS polimeri çeşitli özellikler kazanır. Malzemenin nem çekici özelliğini düşürmek ve malzemenin nemini almak amacıyla proseste kullanılmadan önce, malzeme iki saat civarında 80-90°C sıcaklıkta kurutulmaktadır [22].

ABS termoplastiğin çekme dayanım değerleri aşağıdaki gibidir [22];

- ABS termoplastiğin çekme dayanımı 175-560 kgf/cm²
- Cam elyaf katkılı ABS'de 773 kgf/cm²
- Karbon elyaf katkılı ABS'de 1125 kgf/cm²
- ABS-PVC alaşımında ise 635 kgf/cm²

ABS polimerinin avantajları; rijit ve sert yapıda olması, görseelliğinin iyi olmasının sağlanması, kimyasal direnç özelliği sağlaması kolay işlenebilirlik özelliğinin olması, darbe mukavemet özelliğinin düşük sıcaklıklarda da olması, mekanik mukavemet özelliklerinin üstün olması, üretimin çeşitli renklerde yapılabilir olması, gıda tüzüğüne uygunluğunun bulunması, düşük veya yüksek parlaklık özelliği sağlaması, pürüzsüz veya pürüzlü yüzey kalitesi sağlaması olarak sıralanabilir. Dezavantajı ise opaklık özelliğinin olmasıdır. Şekillendirme yöntemleri ise; enjeksiyon, ekstrüzyon ve şişirme ile şekillendirilmez. ABS polimeri plastik enjeksiyon parçaları, otomotiv ve beyaz eşya parçaları, opak levha üretimlerinde kullanılabilir [23].

ABS polimerinin satıcı firmaları; BASF, Bayer, Dow, ENI Chemical, Montedison, Borg Warner, Monsanto, CDF Chimie, DSM, USS Chemical olarak sıralanabilir [23].

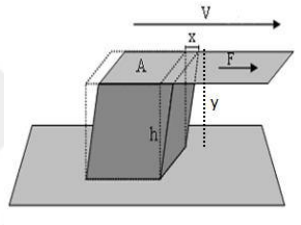
2.7. Reoloji

Maddelerin akış davranışlarını; farklı kesme kuvvetleri, deformasyon şartları altındaki ve cisimlerin yük altındaki şekil değiştirmelerini zamana bağlı olarak inceleyen bilim dalı reoloji olarak adlandırılmaktadır. Malzemelerin akış davranışları birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; zaman, sıcaklık, moleküler yapı ve bileşim

malzemelerin akış davranışlarında değişiklik göstermesine sebep olan değişkenlerdir [4]. Dışarıdan uygulanan kuvvetin etkisine bağlı olarak akışkanların davranışı tamamen akışkanların moleküler yapısıyla ilgilidir ve akışkanların moleküler yapısına bağlıdır. Akışkanlar küçük, basit moleküllerden oluşur ve bu moleküllerden oluşan akışkanların maruz kaldığı deformasyon ve kayma gerilmesi birbiri ile doğru orantılıdır. Uygulanan kuvvet sürekli olduğunda, oluşan hız gradyanı ve kayma gerilmesi birbiri ile doğru orantılıdır [26, 27].

2.7.1. Temel reolojik terimler

Şekil 2.12.'de gösterildiği gibi reolojinin temel olarak tanımlarının yapılabilmesi için, akışkanın iki paralel plaka arasında aktığı varsayılabilir.



Şekil 2.12. İki paralel plaka arasında akışkanın aktığı varsayımına dair şematik görünüm [26]

Şekil 2.12. incelendiğinde; üstteki plaka F kuvveti uygulanarak sağa doğru hareket etmektedir, altta bulunan plaka ise sabit durmaktadır. Uygulanan kuvvetin etkisi ile alt ve üst plaka arasındaki akışkan hareket etmektedir. Bu varsayımına göre kavramlar şu şekilde açıklanabilir [26];

- Kayma gerilmesi, iki plaka arasında bulunan akışkanı hareket ettirmek için A kesit alanlı plakaya uygulanan kuvvetin A alanına oranıdır.
- Kayma hızı, iki plaka arasındaki hız dağılımıdır.
- Kayma viskozitesi, akmaya karşı iki paralel plaka arasında bulunan akışkanın gösterdiği direnç olarak tanımlanır.

2.7.1.1. Kayma gerilimi (τ)

Belirli yönde akışkana kuvvet uygulanır ve bu kuvvetin birim alana oranı kayma gerilimini göstermektedir.

Kayma geriliminin genel formülü;

$$\tau = F/A \quad (2.1)$$

Denklemden kullanılan;

F, uygulanan kuvvettir ve birimi N'dur.

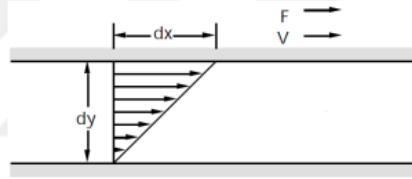
A, kuvvetin uygulandığı kesit alanıdır ve birimi m² dir.

Kayma geriliminin birimi N/m² dir. Yani, Pascal (Pa=N/m²) dır [4].

2.7.1.2. Kayma hızı (γ)

Akışkan üzerinde kayma geriliminin sebep olduğu deformasyonun ölçüsü olarak kayma hızından bahsedilmektedir.

Şekil 2.13.'te belirli bir kayma kuvvetinin uygulanması ile meydana gelen laminar akış hız profili gösterilmiştir. Şekil 2.13. incelendiğinde; laminar şekilde belirli bir düzlemde hareket eden akışkana $+x$ yönünde bir kuvvetin uygulanması ile akışkanın hız dağılımı hareketli olan plakaya doğru artmaktadır.



Şekil 2.13. Belirli bir kayma kuvveti nedeniyle oluşan laminar akış hızı [4]

Kayma hızı genel formülü;

$$\gamma = dv/dy \quad (2.2)$$

Denklemden kullanılan kavramlara göre;

y yönündeki hız farklanmasının (dv), yüksekliğe göre (dy) değişimi kayma hızı şeklinde tanımlanmaktadır.

Kayma hızının birimi 1/s'dir [4].

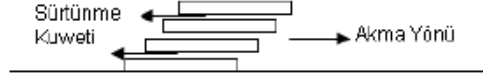
2.7.1.3. Viskozite (η)

Viskozite, akmaya karşı akışkanların gösterdiği dirençtir. Sürtünme kuvveti, viskozitenin temel nedenidir. Ölçüm metoduna göre farklı viskozite çeşitleri bulunur.

Şekil 2.14.'de akışa karşı meydana gelen sürtünme kuvvetine ait görsel bulunmaktadır.

Şekil 2.14. incelendiğinde; sürtünme kuvveti, iki cismin birbirine sürtünmesi ile

meydana gelir ve harekete ters yönde sürtünme kuvveti oluşur. Polimerlerde viskozite incelendiğinde; polimerlerin yapısında bulunan zincirlerinin uzun ve karmaşık yapıda olmasından dolayı birbirlerini engellemesi ve polimer zincirlerinin birbirleri üzerinden sürtünmesi viskozitenin temel sebebidir [4].



Şekil 2.14. Akma yönüne ters olarak oluşan sürtünme kuvveti [4]

Viskozitenin genel formülü;

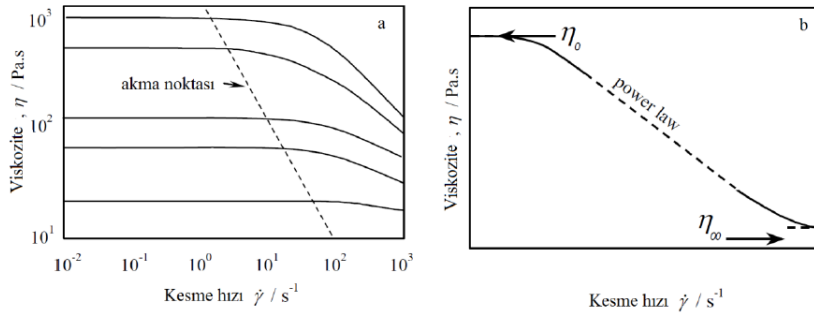
$$\eta = \tau / \dot{\gamma} \quad (2.3)$$

Denklemden kullanılan;

τ , kayma gerilimidir, birimi N/m^2 dir. $\dot{\gamma}$, kayma hızıdır, birimi $1/s$ 'dir.

Viskozitenin birimi ise, $(N/m^2).s = poise$ 'dir [4].

Şekil 2.15.'te polimer çözeltileri ya da polimer eriyiklerine ait viskozitelerinin kayma hızı ile oluşan değişimlerinin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Viskoelastik malzemelerin viskozite-kesme hızı ilişkisine ait eğriler [4]

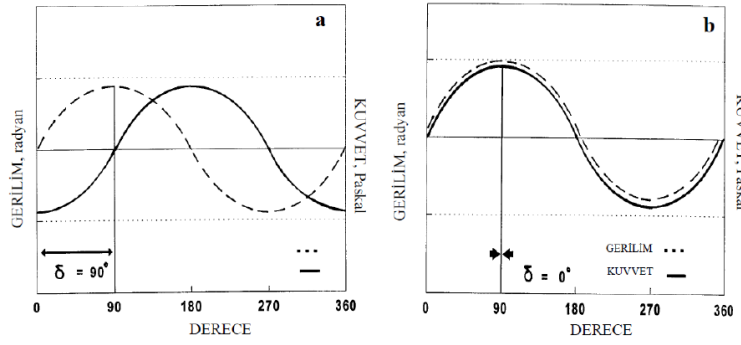
Newtonian davranış bölgesi, viskozitenin kayma hızına bağlı olmadığı ve kayma hızının düşük olduğu bölgedir. Newtonian davranış bölgesindeki viskozite plato viskozite olarak adlandırılır. Kayma hızının yüksek olduğu bölgede genel olarak ikinci bir Newtonian plato görülür. Bahsedilen bu iki plato bölgesi arasındaki power-law bölgesi olarak adlandırılan geçiş bölgesinde artan kayma hızı ile viskozite de azalma olur. Kritik kayma hızı (akışın başladığı), newtonian davranıştan power-law davranışa geçişin gözlemlendiği kayma hızı şeklinde ifade edilir [28].

2.7.2. Polimerlerin viskoelastik özellikleri

Viskoelastik mekanik davranış sergilemeleri polimer moleküllerinin özgün özelliklerindendir. Viskoelastik davranış özelliği, polimer moleküllerinin birçok davranışına bağlıdır. Polimer maddesinin mekanik davranışı, uygulanan deformasyon hızı, uygulanan kuvvet, sıcaklık ve süre gibi birçok parametre viskoelastik özelliği etkilemektedir. Malzemelerin tümü bir noktaya kadar viskoelastik davranış gösterirler, fakat polimerlerin yapısında bulunan uzun zincirler nedeniyle polimer malzemelerin sergilediği viskoelastik davranışlar diğer malzemelere göre daha belirgindir. Bu durum şöyle açıklanabilir; Polimer malzemelerin yapısında bulunan zincirlerin diğer malzemelere göre daha uzun makromoleküllerden oluşması ve polimerlerin yapısında bulunan zincirlerin birbirine dolanması ve bu nedenle zincirlerin birbiri ile yakın ilişkide olması en büyük neden olarak nitelendirilebilir [26].

Viskoelastik malzemelerin ve polimer malzemelerin reolojik özelliklerinin belirtilmesinde iki farklı modül değeri sıklıkla kullanılmaktadır, bu modül değerleri elastik ve viskoz özellikleri temsil etmektedir. Saklanan modül (storage modulus, G'), enerjinin malzemenin yapısında depolanması şeklinde ifade edilmektedir ve malzemenin elastikiyetinin bir ölçüsüdür. Kayıp modül (loss modulus, G''), malzemenin yapısındaki sürtünme ve deformasyon sebebiyle enerji kaybı olur, bu enerjinin kaybolduğu viskoz kısmı ifade eder. Faz açısı ($\tan\delta$), malzemenin viskoelastik özelliklerinin yorumlanması için önemli bir kavramdır. $\tan\delta$, kayıp modülünün depolanan modüle oranı olarak tanımlanır [29].

İdeal elastik malzemelerde; kuvvet yalnızca deformasyon derecesine bağlıdır. İdeal elastik malzemelerde faz açısı, δ , sıfıra eşittir. İdeal viskoz akışkanlarda; kuvvet, deformasyon kuvvetine ve deformasyon kuvvetinin hızına bağlıdır. Salımlı bir kuvvet akışkana uygulanır, bu uygulama esnasında maksimum gerilim değerinde faz açısı, δ , 90° 'dir ve hız sıfırdır. Viskoelastik malzemeler için durum şöyledir; bu malzemeler hem elastik hem de viskoz davranış göstereceğinden dolayı, faz açısı, δ 0° ve 90° arasındadır. Malzemenin davranışına bağlı olarak faz açısının değeri değişiklik göstermektedir; malzemenin davranışı ne kadar viskoz özellik gösteriyor ise, δ 90° 'ye yakın olur, malzemenin davranışı ne kadar elastik özellik gösteriyor ise, δ sıfıra yakın değerde olur [29].



Şekil 2.16. İdeal viskoz (a) ve İdeal elastik (b) malzemelerine uygulanan kuvvete karşın oluşan gerilim eğrileri [29]

2.7.3. İletken polimer kompozitlerin reolojik davranışı

Polimer şekillendirme süreçlerindeki malzemenin akış davranışları, polimer şekillendirme yöntemleri, polimer proses edilebilirlikleri ve malzemenin yapısal ve fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için polimer kompozit malzemelerin reolojik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Polimer kompozit malzemelerin eriyik durumdaki reolojik özellikleri birçok etken ile doğrudan ilişkilidir. Polimer kompozit malzemelerdeki; polimer ile dolgu arasındaki etkileşim, kullanılan dolgu maddelerinin mezo-mikro boyutundaki yapıları ve polimer içindeki dolgunun dağılımı gibi bazı etkenler polimer kompozitlerin özellikle eriyik durumdaki reolojik özelliklerini etkilemektedir. Bundan dolayı kullanılan dolgunun polimer faz içerisindeki miktarı ve faz içindeki dağılımı, malzemenin lineer ve non-lineer viskoelastik özelliklerine etkisi kompozitlere yapılan reolojik analizler ile incelenir ve bu incelemenin sonucunda kompozit malzemenin yapısı hakkında bilgi olunur [4].

Nano boyutlu karbon dolgular yüksek yüzey alanı, tanecik şekli ve büyüklüklere sahiptir. Nano boyutlu karbon dolguların sahip olduğu bu özellikler nedeniyle polimer matrisin eriyik durumdaki viskozite ve kayma modülü değerlerinde daha fazla artışa sebep olurlar [4].

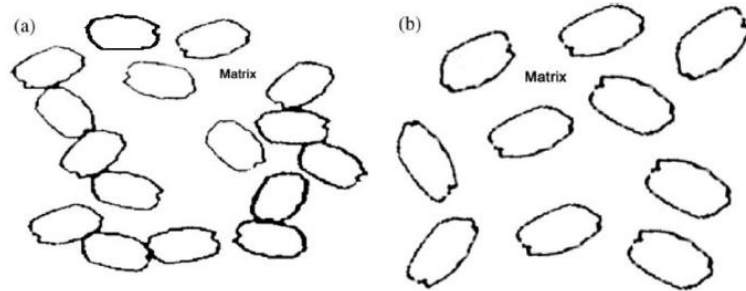
Polimer matrise eklenen dolgunun özellikleri ve miktarı ile viskoz, saklanan modül ve kayıp modül gibi parametrelerin değişimlerinden, kullanılan dolgunun kompozit malzemenin viskoelastik davranışı üzerine etkileri reolojik analizlerde değerlendirilir. Kompozit malzemenin enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi sistemlerdeki akış özellikleri, yüksek kayma hızlarında yapılan testler ile incelenir.

Perkolasyon bileşimi, reolojik testler sonucunda elde edilebilecek fiziksel bir parametredir. Polimer nanokompozitlerde; malzemelerin içerdiği dolgu miktarına göre malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişimlerin incelendiği çalışmalarda, kullanılan dolgu oranının belirli bir orandan sonra olması durumunda nanokompozit malzemelerin iletkenlik, modül, viskozite gibi fiziksel özelliklerinde ani değişimlerin olduğu görülmüştür ve bu bileşim noktası dolgu maddesine göre perkolasyon noktası olarak tanımlanır [30, 31]. Dolgu fazını oluşturan birimlerin fiziksel bir şekilde ağ oluşturması ve kritik fraksiyondan sonraki bileşimlerde fiziksel temaslar, perkolasyon noktası olarak adlandırılan noktada da olduğu düşünülmektedir [30].

Reolojik perkolasyon ve elektriksel perkolasyon olarak test edilmelerine göre farklı perkolasyon tanımlamaları vardır.

Reolojik perkolasyon; Malzemede kullanılan dolgular arasında etkileşimin başlaması ile viskozite ve modül değerlerinde artışın olduğu konsantrasyon değeri “reolojik perkolasyon noktası” olarak tanımlanır. Kullanılan dolgu miktarının artması ile kompozit malzemenin farklı özelliklerinde görülen iyileşme farklı dolgu miktarlarında gerçekleşebilir. Reolojik perkolasyonun oluşması dolgu maddelerinin birbirleri ile aralıksız yol oluşturacak durumda temas etmeleri koşulunu gerektirmez [32].

Elektriksel perkolasyon; İletken dolgu maddelerinin kompozit malzeme içerisinde aralıksız iletken özellik gösterebilmeleri için gerekli makroskobik ağlaşma oluşturdukları minimum konsantrasyon şeklinde tanımlanabilir. Dolgu maddelerinin birbirlerine temas etmesi elektriksel iletkenliğin olması için gereklidir. Elektriksel perkolasyon ve reolojik perkolasyon kıyaslandığında; elektriksel perkolasyon, reolojik perkolasyona kıyasla daha yüksek dolgu miktarında gerçekleşmesi beklenmektedir [32].

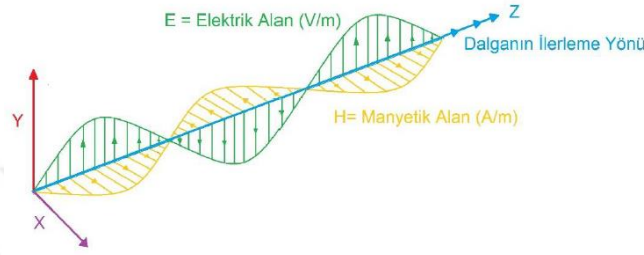


Şekil 2.17. (a) Elektriksel perkolasyonun gösterimi ve (b) Reolojik perkolasyonun gösterimi [32]

2.8. Elektromanyetik Dalgalar

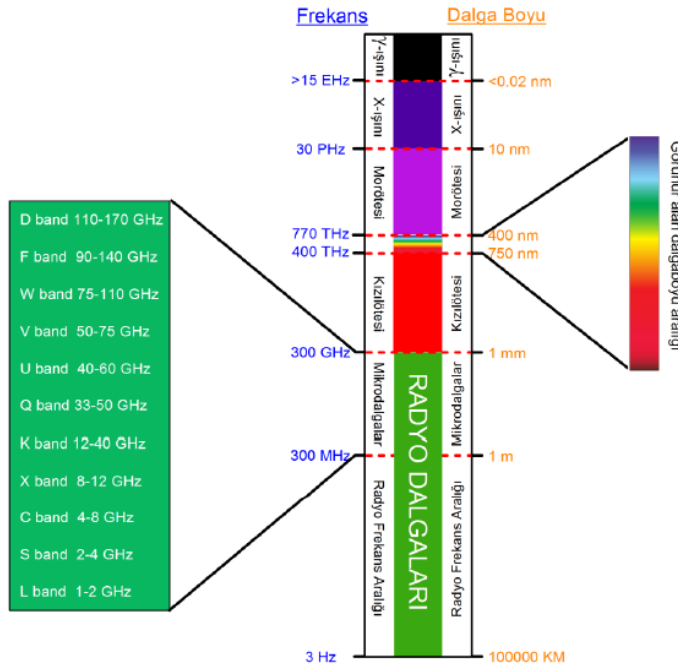
2.8.1. Genel özellikler

Yüklü bir parçacığın ivmeli olarak hareket etmesi sonucunda oluşan, birbirine dik bir şekilde elektrik ve manyetik alan olan ve bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda ışık hızı ile yayılan dalga tipi “elektromanyetik dalgalar” şeklinde tanımlanır [1].



Şekil 2.18. Elektromanyetik dalganın bileşenlerine ait şematik gösterimi [1]

Taşıdıkları dalga boyu, frekans ve enerji değerlerine göre elektromanyetik dalgalar altı farklı başlıkta değerlendirilmektedir. Bunlar; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar, görünür alan dalgaları, mor ötesi ve X-ışını dalgalar şeklinde sıralanabilir [33]. Şekil 2.19’da farklı özelliklere sahip olan dalgaların frekans ve dalga boyu bilgileri gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Elektromanyetik dalga spektrumu [1]

Radyo dalgaları: 300 MHz' den daha düşük frekansa sahip olan elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanmaktadır.

Mikrodalgalar: 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen frekansa sahip olan elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanmaktadır. Mikrodalgalar geniş bir frekans aralığını kapsar ve frekans aralıklarına göre farklı alanlarda kullanılması söz konusudur. Şekil 2.19.'da mikrodalgalar farklı alt başlıklar altında sınıflandırılarak detaylı frekans aralıkları bulunmaktadır. Birçok askeri ve sivil radar sistemlerinin çalıştığı X ve K band frekans aralıklarının 8-40 GHz olduğu görülmektedir.

Kızılötesi: 300 GHz ile 400 THz arasında frekansa sahip olan elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanmaktadır.

Görünür alan dalgaları: 400 ile 770 THz arasında frekansa sahip olan elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanmaktadır.

Morötesi: 770 THz ile 30 PHz arasında frekansa sahip olan elektromanyetik dalgalar morötesi ışınları olarak tanımlanmaktadır.

30 PHz ile 15 EHz arasında frekansa sahip olan elektromanyetik dalgalar X-ışınları olarak adlandırılmaktadır ve 10 pm'den daha düşük dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar Gama ışınları olarak adlandırılmaktadır [1, 33].

2.8.2. Elektriksel ve manyetik açıdan bir ortamın karakterize edilmesi

Elektromanyetik dalgaların, kayıpsız bir şekilde ve geri yansıma olmaksızın ilerleme özelliği bulunur, bu ilerleme özelliği boşlukta ışık hızında gerçekleşir. Fakat tüm bu özellikler değişiklik göstermektedir, yani bahsedilen özellikler ilerlediği ortama ve ilerleme esnasında karşılaştığı ortama göre değişiklik göstermektedir. Dalganın sönmülenerik gücünü kaybetmesi ya da dalganın geri yansıması gibi olaylar belirli şartlarda etkin olarak gerçekleşebilir [1].

“Elektriksel geçirgenlik sabiti (permitivite, ϵ)” ve “manyetik geçirgenlik sabiti (permeabilite, μ)” gibi temel parametreler vardır ve elektromanyetikte bir ortamın veya malzemenin karakterize edilmesi esnasında bu iki kavramın bilinmesi gerekir.

Elektriksel geçirgenlik sabiti (permitivite, ϵ): (+) ve (-) olmak üzere iki Coulomb yükü arasında bir elektrik alan oluşur ve oluşan bu elektrik alana karşı, yükler arasında olan

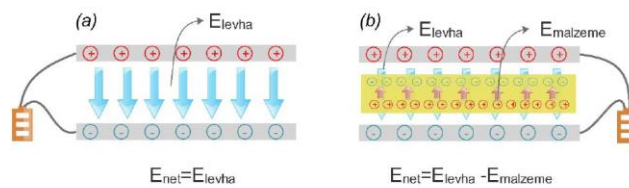
ortamın veya malzemenin gösterdiği direnci belirtir. Direnci belirten bu sayı permitivite olarak bilinir [34].

Şekil 2.20.'de bir tarafı artı (+) diğer tarafı eksi (-) olarak yüklenmiş bir kapasitör, dielektrik katsayısının daha net anlaşılabilmesi için şematik olarak verilmiştir.

Şekil 2.20. (a) 'da gösterilen iki farklı yükle yüklenmiş levha arasında vakum olduğu kabul edilmiştir ve artı yüklü levhadan eksi yüklü levhaya doğru akan elektrik alan oluşur. Şekil 2.20. (b) 'de gösterilen iki farklı yükle yüklenmiş iki levha arasına dielektrik bir malzeme konulması sonucunda, malzeme içerisinde bulunan moleküller artı ve eksi yükler doğrultusunda polarize olur. Bunun sonucunda malzeme içerisinde levhalar tarafından oluşan elektrik alanının tersi yönde bir elektrik alan oluşur. Net elektrik alanda bir azalma meydana gelir, bunun sebebi ise iki elektrik alanın birbirine ters olmasından kaynaklıdır [1].

Permitivite genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir [1];

- Malzeme kendi içerisinde bu ters elektrik alanını oluşturması ile şiddetin bir göstergesidir ve sayısal olarak artar,
- Malzeme içerisindeki polimerizasyonun ve bundan dolayı ters elektrik alanın oluşmasıyla şiddetinin artması,
- Plakalar (levhalar) arasındaki net elektrik alanın azalması anlamına gelmektedir.



Şekil 2.20. Kapasitör içinde meydana gelen elektrik alan gösterimi [1]

Permitivite değerlerinin belirlenmesi için elektrik alan uygulanır, bu uygulanan elektrik alan ile malzemenin polarize olması arasında bir zaman farkı yani faz farkı oluşur. Oluşan bu faz farkı, permitivite değerlerinin sanal ve reel bölümlerinden oluşan kompleks sayı olmasını gerektirir [33].

Kompleks permitivite genel formülü [1];

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + j\varepsilon'' \quad (2.4)$$

Denklemden kullanılan;

ε^* : Kompleks permitivite değeridir.

ε' : Ortamda depolanabilen enerjiyi simgeler, kompleks permitivitenin reel kısmıdır.

ε'' : Kaybolan enerjiyi belirtir, kompleks permitivitenin sanal kısmıdır. Malzemelere belirli bir frekans uygulanması sonucunda iletkenliklerinin (σ_{ac}) hesaplanmasında kullanılmaktadır (Denklemler 2.5). Denklemden f , uygulanan frekansı gösterirken ε_0 boşluğun permitivite değerini göstermektedir.

$$\sigma = 2\pi f \varepsilon_0 |\varepsilon''| \quad (2.5)$$

8.854×10^{-12} F/m vakumun permitivite değeri (ε_0) referans alınarak denklemden hesaplanır [33]

Faz farkı ($\tan\delta$): Permitivitenin sanal kısmının, reel kısmına oranıdır. Faz farkı, elektromanyetik malzemelerin sınıflandırılmasında temel olarak gösterge şeklinde kullanılır. $\varepsilon''/\varepsilon'$ oranına göre malzemelerin sınıflandırılması Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. $\varepsilon''/\varepsilon'$ oranına bağlı olarak malzemelerin özelliği [1]

$\varepsilon''/\varepsilon'$	Özelliği	İsimlendirilmesi
0	Kayıpsız ortam	Mükemmel Yalıtkan Malzeme
$\ll 1$	Düşük kayıplı ortam	Dielektrik Malzeme
$\approx$	Kayıplı ilerleme ortamı	-
$\gg 1$	Yüksek kayıp ortamı	İletken Malzeme
∞	Yansıtıcı	Mükemmel İletken Malzeme

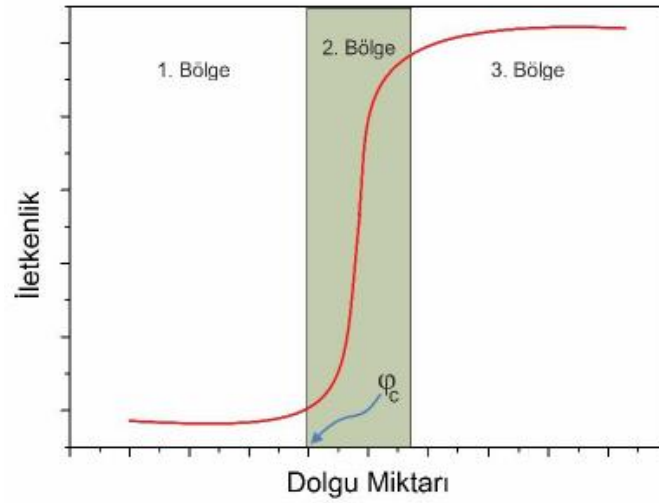
Tablo 2.1.'de verilen sınıflandırmaya göre özellikler incelendiğinde; $\varepsilon''/\varepsilon'$ değeri sıfır olan mükemmel yalıtkan malzeme olarak adlandırılmıştır ve bu mükemmel yalıtkan malzemelerde elektrik alanının kayıpsız şekilde ilerlediği kabul edilmiştir. $\varepsilon''/\varepsilon'$ değeri birden büyük olan malzemeler iletken malzeme olarak adlandırılmıştır ve bu malzemelerin içinde enerjisini kaybederek ilerlediği kabul edilmiştir. $\varepsilon''/\varepsilon'$ değeri

sonsuz olan yani sonsuz iletkenlikte olan malzemeler mükemmel iletken malzeme olarak isimlendirilmiştir ve mükemmel iletken malzemelerin içine giremediği ve tamamıyla geri yansıdığı kabul edilmiştir.

Manyetik geçirgenlik katsayısı (permeabilite, μ); Bir ortamın ya da bir malzemenin manyetik alana maruz kalması halinde, malzemenin ya da ortamın kendi içerisinde manyetik alan oluşturma kapasitesinin göstergesi olarak ifade edilir [33, 34]. Bağıl permeabilite (μ_r) değeri, bir ortamın veya malzemenin permeabilite değeri belirtirken kullanılır. Bir ortamın ya da malzemenin mutlak permeabilite değerinin (μ), $4\pi \times 10^{-7}$ (Henry/m) olan boşluğun permeabilite değerine (μ_0) oranlanması ile bağıl permeabilite değeri hesaplanmaktadır [1].

2.9. Radarda Görünmezlik, Radar Sistemleri Teknolojileri

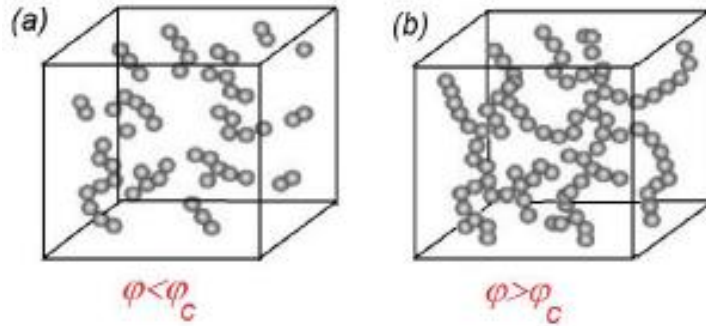
Karbon esaslı dolguların kullanılması ile iletken polimer kompozitlerin geliştirilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde; polimer kompozit malzemelerde kullanılan karbon siyahı, karbon elyaf, karbonil demir, grafit, grafen gibi çeşitli dolgu maddelerinin, farklı kompozit hazırlama teknikleriyle bir polimer faz içerisinde dağıtılarak bekletildiği ya da farklı oranlarda kullanılan dolgu miktarına bağlı olarak kompozit malzemelerin elektriksel iletkenliğinin dolgu miktarının artması ile birlikte arttığı birçok çalışmada belirtilmiştir [35, 36]. Fakat bahsedilen bu artış ile ilgili detaylı bilgi Şekil 2.21. ile açıklanmaktadır. Şekil 2.21.'de gösterildiği gibi; bahsedilen artış belirli bir kritik dolgu oranına (ϕ_c) kadar çok yavaş biçimde gerçekleşir, bu kritik orandan sonra çok hızlı bir artış görülür ve daha sonra görülen artışın tekrar yavaşladığı görülür [1].



Şekil 2.21. Polimer kompozit malzemelerde iletken dolgu miktarına bağlı olarak iletkenlik arasındaki değişim grafiği [1]

Yalıtkan yapıya sahip olan bir polimer faz ile iletken yapıdaki dolgu maddesi kullanılarak oluşturulan polimer kompozit malzemesine ait elektrik iletim sisteminin değerlendirilmesi, dolgu oranına bağlı olarak kompozit malzemenin elektriksel iletkenlik değerinin daha iyi biçimde değerlendirilmesi için gereklidir. Bu şekilde hazırlanan kompozit malzeme yapısında bulunan polimer fazın yalıtkan özellikte olmasından dolayı, elektrik iletimi yalnızca iletken özelliğe sahip dolgular üzerinden olmaktadır. Bu nedenle, tüm kompozit malzeme yapısının iletken özellikte olması için kullanılan dolgu maddesinin bütün kompozitte elektrik akımının taşınabileceği sürekli (kesintisiz) hatlar oluşturması gerekmektedir. Fakat kompozit içerisinde kullanılan dolgu oranının düşük olması durumunda bu kesintisiz hatlar oluşturulamaz ve dolgu maddesinde artış olsa dahi istenilen iletkenlik özelliğinde artış görülmez (Şekil 2.22.(a)). Bu davranış Şekil 2.21. 'de birinci bölgede gösterilmiştir. Elektriksel perkolasyon eşiği (ϕ_c); Kesintisiz (sürekli) hatların kurulması için yeterli olacak en düşük (minimum) dolgu miktarıdır [37, 38]. Bu dolgu miktarından itibaren elektriksel iletkenlik özelliği, kullanılan dolgu maddesinin oranındaki artış (Şekil 2.21.'de ikinci bölgede gösterilmiştir) ile birlikte üstel bir artış gösterir. Şekil 2.22. (b)'de iletken hatların kurulduğu kompozit malzemeye ait morfoloji gösterilmiştir. Üstel artışın tamamlanmasından sonra artış hızında azalma (Şekil 2.21.'de üçüncü bölgede gösterilmiştir), oluşturulan iletken yollar üzerinden iletimin devam etmesi nedeniyle iletkenlik özelliğinde özenli artış olmadığı görülür. Kompozit malzemelerde

elektriksel iletkenliğin açıklandığı bu sistem literatürde “perkolasyon teorisi” olarak adlandırılmaktadır [39, 40].

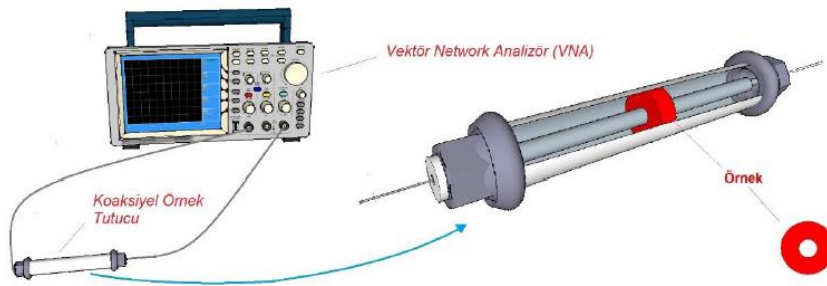


Şekil 2.22. Perkolasyon eşiğinin altında ve üstündeki dolgu oranlarının kullanılmasına bağlı olarak kompozit malzemenin yapısına ait şematik gösterimi [1]

Genel olarak perkolasyon eşiğinin düşürülmesi ile düşük oranda iletken dolgu maddesinin kullanılması nedeniyle daha yüksek iletken özelliklerin elde edilmesinin amaçlandığına dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmalarda; kompozit morfolojisi, dolgu tipi, dolgu oranı, elektriksel iletkenlik özelliği, kullanılan dolgu geometrisi, dolgu tanecik boyutu, dolgu-polimer etkileşimleri, dolgu dağılımı gibi özelliklerin detaylı bir şekilde incelenip değerlendirildiği görülmektedir [41, 42].

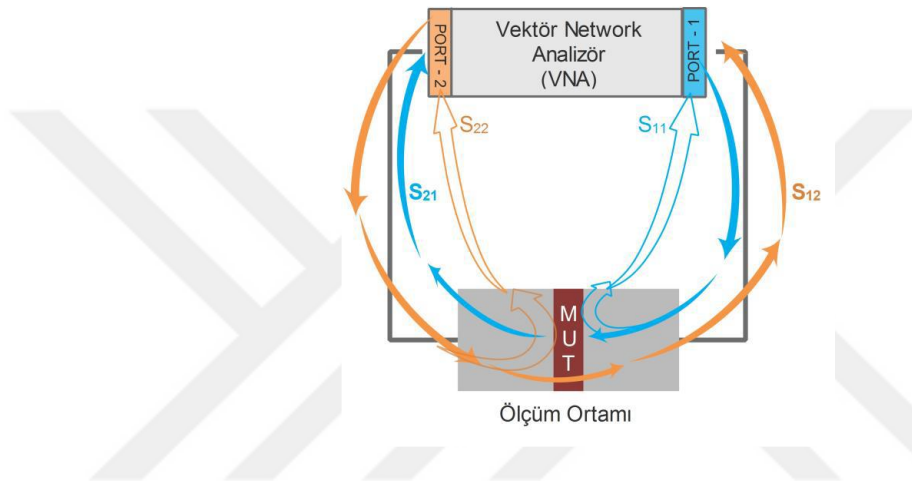
2.9.1. Koaksiyel hat iletim tekniğiyle saçılma parametrelerinin belirlenmesi

Koaksiyonel hat yönteminde, bir VNA ve buna bağlı koaksiyel örnek tutucu bulunmaktadır. 1-18 GHz aralığında yani geniş frekans aralığında tek bir örnek ve koaksiyel örnek tutucu gibi ölçüm ortamı ile ölçüm alınmaktadır ve düşük kurum maliyeti avantaj sağlamaktadır. Şekil 2.23.’te koaksiyonel hat yöntemine ait şematik gösterim verilmiştir [43, 44].



Şekil 2.23. Koaksiyonel hat iletim tekniğine ait şematik gösterim [1]

VNA' da ve ölçüm ortamında bulunan port (giriş/çıkış) sayısına bağlı olarak değişir, bu değişim ile birlikte 2 tane port bulunan ölçüm ortamında ve VNA için S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} olmak üzere dört tane saçılma parametresi bulunur. Toplam kalkanlama etkinliği S_{12} ve S_{21} ile ilişkilidir. S_{12} ve S_{21} örneği geçen elektromanyetik dalganın gücünün örnek üzerine gelen dalganın gücünü gösterir. Örneğin elektromanyetik dalgayı geri yansıtma kapasitesi S_{11} ve S_{22} ile ilgilidir. S_{11} ve S_{22} örnek üzerinden geri yansıyan elektromanyetik dalganın gücünün örnek üzerine gelen elektromanyetik dalganın gücüne oranını gösterir [1].



Şekil 2.24. S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} saçılma parametrelerine ait şematik gösterimi [1]

2.9.2. Radar sistemleri teknolojileri

Elektromanyetik dalgaların belirli bir oranda bir engelle karşılaştığında geri yansımından yola çıkarak uzaktaki nesnelerin hız, büyüklük ve yer özelliklerini tayin edebilen sistemler 'radar' olarak isimlendirilir [45]. Radar sistemi 'dubleks' adı verilen cihazdan oluşur. Doubleks; sinyal alıcı, sinyal gönderici ve bu ikisi arasındaki sinyal alışverişini sağlayarak aynı zamanda düzenlenmesini de sağlayan cihazdır. Radar sistemlerinin çalışma mekanizması temel olarak şu şekilde özetlenebilir; ilk olarak gönderici tarafından oluşan güçlü sinyal dubleks cihazı ile yönlendirilmiş ve çalışma frekans aralığına göre tasarlanan antene gönderilir ve ardından belirli bir alana gönderilir. Alana gönderildikten sonra iletken bir malzemeye çarpması durumunda malzeme üzerinden geri yansıyan dalga radar sistemine geri döner. Anten tarafından zayıf sinyalin alınması dubleks cihazı tarafından bu kez sinyal alıcılara yönlendirilir. Bu esnada sistem otomatik şekilde sinyalin geri gönderilmesi ve geri dönme süresi arasındaki zamanı belirler ve malzemenin bulunduğu uzaklık ve açı verileri ile boyut

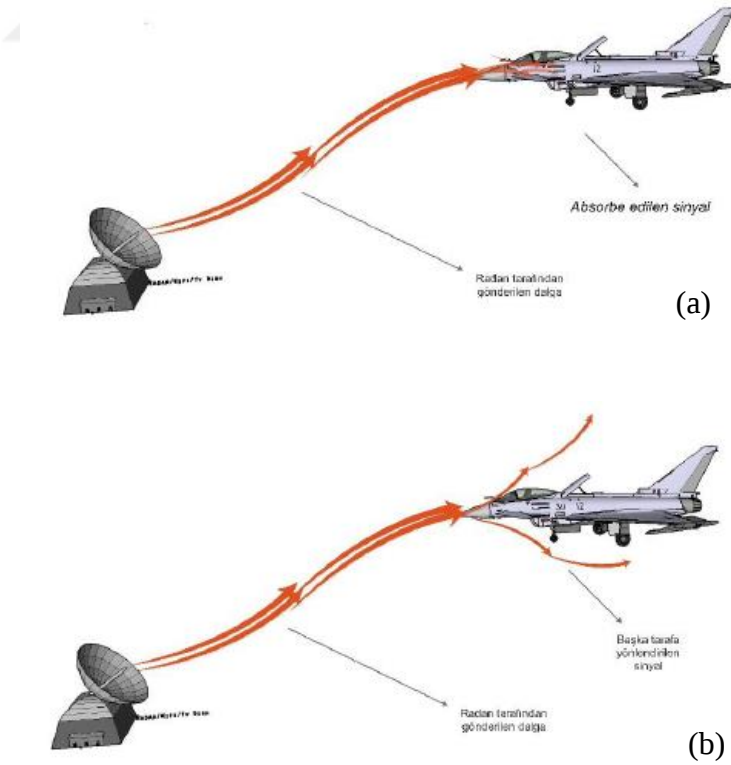
ve yükseklik değerleri belirlenir. Sinyalin gönderildiği alanda yansımının gerçekleşmesi için malzeme (nesne) olmaması durumunda dalga geri alınamaz ve taranan alanın boş olduğu söylenebilir [1].

Askeri sivil araçlarında, deniz araçlarında 8-12 GHz frekans aralığındaki X-band ve 12-18 GHz aralığındaki Ku-band tercih edilen radar sistemleridir [46, 47]

2.9.3. Radar sistemlerinden gizlenmenin prensibi

Yankı sinyallerinin radar sistemine geri dönmesinin engellenmesi için iki yöntem mevcuttur. Bunlar [48];

- Radar sistemi tarafından gönderilen elektromanyetik dalganın çarptığı nesne üzerinde yüksek oranda soğurularak enerjisinin RADAR sisteminin tespit edemeyeceği seviyelere düşürülmesi (Şekil 2.25. a)
- Radar sistemi tarafından gönderilen elektromanyetik dalganın RADAR tarafından algılanamayacak taraflara yönlendirilmesi (Şekil 2.25. b)

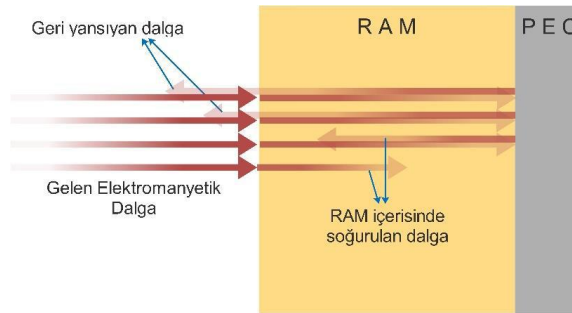


Şekil 2.25. (a) Radar sinyallerinin uçak yüzeyi tarafından soğurulmasına ait şematik gösterim ve (b) Radar sinyallerinin baēka tarafa yönlendirilmesine ait şematik gösterim [1]

Radar sistemlerinin özellikleri incelendiğinde iki önemli özelliği bulunmaktadır. Bunlar; radar sistemleri bi-statik radarlar gibi farklı noktalardaki alıcı sistem ve verici sistemleri ile birlikte koordineli olarak çalışmaktadır. Radar sistemleri çok az yani düşük enerjiye sahip sinyalleri tespit edebilecek özelliktedir. Radar sistemlerinin bu önemli özelliklerinden dolayı günümüzde hava araçlarının ve uçakların bu sistemlerden gizlenebilmesi için mevcutta bulunan iki yöntemin birlikte kullanılması gerekmektedir. Örnek olarak, B-2 Spirit bombardıman uçaklarında ve F-22 Raptor uçağında her iki yöntem birlikte kullanılmaktadır ve böylece radardan gizlenme özelliği bulunmaktadır [1].

2.9.4. Radar soğurucu malzemelerin (RAM'ların) performansları

Belirli bir enerji, dalga boyu ve frekansa sahip olan elektromanyetik dalga demetine radar sinyali adı verilmektedir. Dalga enerjisinin bir malzeme veya ortam içerisinde ısı enerjisine çevrilmesine 'elektromanyetik dalganın soğurulması' denir [49, 50]. Şekil 2.26.'da arka tarafı PEC katmanı ile kaplanmış bir RAM'da elektromanyetik dalganın sönümlenmesine ait şematik gösterim verilmiştir. Şekil 2.26. incelendiğinde; arka yüzeye yüksek iletkenlikte bir metal katman yani PEC kaplaması ile elektromanyetik dalganın geçişinin engellenmesi sağlanmaktadır. Bu işlem sayesinde RAM'ı geçen elektromanyetik dalga tekrar RAM içine yönlendirilmektedir. Bu yönlendirilme ile; dalganın malzeme içinde yol aldığı mesafe arttırılır. Ayrıca, gelen dalga ile birlikte zayıflatıcı girişim sağlanır ve daha kuvvetli sönümlenmesi sağlanmaktadır [51].



Şekil 2.26. RAM' da elektromanyetik dalganın sönümlenmesine ait şematik gösterim [1]

Denklem 2.6'ya göre; RAM'ların elektromanyetik dalga soğurma performansı belirlenmektedir [52].

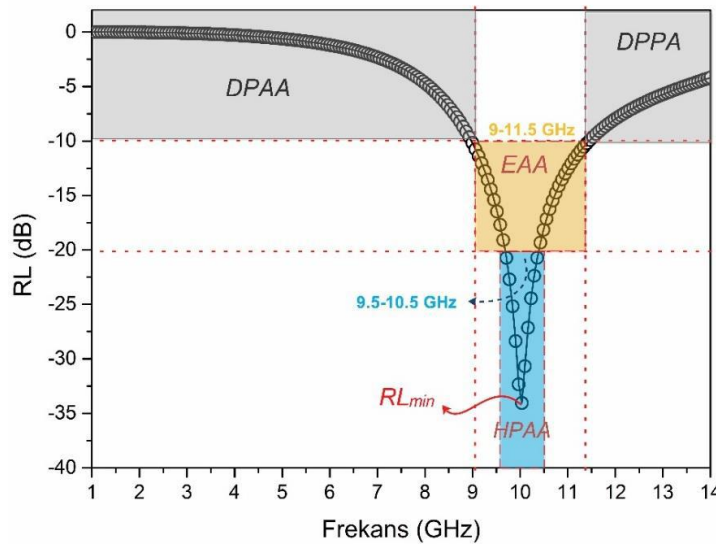
$$RL = 20\log_{10}|S_{11}|^2 \quad (2.6)$$

S_{11} saçılma parametresi; RAM tarafından geri yansıtılan dalganın, RAM üzerine gelen dalganın enerjisine oranıdır.

RL; yansıma kaybı (reflection loss), birimi desibeldir.

Şekil 2.27.'de tek katmanlı bir RAM için yansıma kaybı (reflection loss, RL) ve frekans grafiği verilmiştir. RL ve frekans grafikleri detaylı olarak incelenerek aşağıdaki gibi sonuçlar ile adlandırılmıştır [1];

- -10 ile 0 arasında RL değerlerinin elde edildiği frekans aralıkları, düşük performans soğurma aralığı (DPAA) olarak adlandırılmıştır.
- -20 ile -10 arasında RL değerlerinin elde edildiği frekans aralıkları, etkin soğurma aralığı (EAA) olarak adlandırılmıştır.
- -20'den daha düşük RL değerlerinin elde edildiği frekans aralıkları, yüksek performans soğurma aralığı (HPAA) olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2.27. RAM için RL ve frekans grafiği [1]

Çalışmalarda genel olarak “ $RL < 10$ dB” etkin absorplama aralığı (EAA) olarak adlandırılmaktadır, fakat gelişen RADAR sistemleri ile soğurmanın -10 dB seviyelerinde yetersiz olacağı ve buna bağlı olarak pratikte kullanılabilecek bir RAM

için hedef frekans aralığının tümünde -20 dB' den daha düşük RL değerlerinde olması gerektiği açıklanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki değerlendirmelerde detaylı incelemelerin yapılabilmesi için isimlendirmeler; -10 ile 0 arası RL değerlerinin elde edildiği frekans aralıkları “düşük performans soğurma aralığı (DPAA), -20 ile -10 arası RL değerlerinin elde edildiği frekans aralıkları “etkin soğurma aralığı (EAA)” ve -20 dB’den daha düşük RL değerlerinin elde edildiği frekans aralıkları “yüksek performans soğurma aralığı (HPAA)” şeklinde adlandırılmıştır.

RL değerlerinin; -30 dB olması gönderilen elektromanyetik dalganın %0.1’inin, -20 dB olması gönderilen elektromanyetik dalganın %1’inin, -10 dB olması gönderilen elektromanyetik dalganın %10’unun geri yansıtıldığı anlaşılmaktadır.

EAA’nın ve HPAA’nın hedef olarak belirlenen frekans aralığının tamamını kapsamaması ile RAM şeklinde geliştirilen bir malzemenin teknik olarak etkin RAM olarak kabul edilmesini ve yüksek performans gerekliliğini karşılayabilmesini sağlamaktadır.

2.9.5. Radar soğurucu malzemeler

RAM’lar sağladıkları özelliklere göre üç başlıkta incelenebilir [1];

1. Manyetik malzemeler; Manyetik malzemeler RAM olarak kullanılabilir ve permeabilite değerlerinin yüksek olmasından dolayı elektromanyetik dalgayı soğurabilme özelliği bulunmaktadır. Fe_3O_4 , Nikel örnek olarak verilebilir.
2. Dielektrik malzemeler; Dielektrik malzemeler RAM olarak kullanılabilir. Dielektrik malzemeler elektriksel olarak yalıtkan özelliktedirler, fakat elektrik alan altında polarize olabilirler. Dielektrik malzemeler, uygulanan elektrik alana karşı iç elektrik alan oluşturmaktadır ve permeabilite değerlerinin yüksek olmasından dolayı net elektrik alanın kuvvetini azaltmaktadırlar. BaTiO_3 örnek olarak verilebilir.
3. Düşük elektriksel özellikli malzemeler; bu malzemelerde RAM olarak kullanılabilir. Bu malzemeler elektromanyetik dalganın serbest elektronlar vasıtasıyla taşınması esnasında ortam içerisinde olan yüksek dirençten dolayı dalga enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü ve böylece dalga enerjisinin belirli miktarda sönümlendiği malzemelerdir. Düşük iletkenliğe sahip karbon türevli dolgular kullanılarak iletken özellikli polimer kompozitler örnek olarak verilebilir.

Manyetik, dielektrik ve düşük elektriksel iletkenlik özelliğine sahip malzemelerin RAM olarak kullanılmasının mümkün olduğu bahsedilmiştir, fakat bulundurdıkları dezavantajlar nedeniyle kullanımları kısıtlıdır. Bundan dolayı, polimer bir faz içerisinde fonksiyonel özelliğe sahip olan bu malzemeler belirli miktarlarda kullanılarak kompozitler yapılabilir. Günümüzde ticarileşen ürünlerin birçoğunda polimer kompozitlerin olduğu bilinmektedir. Literatür çalışmaları ile polimer kompozit esaslı RAM'ların özellikleri detaylı olarak değerlendirilecektir.

2.10. Radar Sinyalini Soğurabilme Özelliğine Sahip Polimer Kompozit Malzemeler

2.10.1. Manyetik tanecik içeren polimer kompozit malzemeler

Polimer malzemeler, manyetik alana karşı herhangi bir tepki göstermezler. Polimer malzemelere, manyetik özellikli bileşiğin eklenmesi ile birlikte manyetik alana karşı belirli bir oranda duyarlı kompozitler hazırlanabilen malzemeler olarak söylenebilir. Kompozit malzemelerin özellikleri farklılık gösterebilir; kompozit malzeme içerisinde kullanılan dolgunun manyetik bileşen özelliğine ve kompozit malzeme içerisinde kullanılan dolgu maddesinin oranına bağlı olarak değişebilir. Literatür çalışmalarında; manyetik dolguların kullanılması ile manyetik özelliğe sahip polimer kompozitlerin geliştirildiği görülmüştür. Fe_3O_4 , $\text{Ba}_{12}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$, NiFe_2O_4 bileşiklerinin dolgu olarak kullanıldığı literatür çalışmalarında görülmüştür. Tablo 2.2.'de manyetik özelliğe sahip dolgularla hazırlanan bazı polimer kompozitlerin EAA, HPAA değerleri ve performans özellikleri gösterilmiştir [1].

Tablo 2.2. Manyetik özelliklere sahip dolgularla hazırlanan bazı polimer kompozit malzemelerin performans özellikleri

Polimer Matris	Dolgu Maddesi	Dolgu Maddesinin Oranı	Numune Kalınlık (mm)	EAA (GHz)	HPAA (GHz)	Referans
PANi	Fe ₃ O ₄ Mikroküre	%50 (ağ.)	2.5	9.5-12.5	-	[53]
PU	M-Hekza Ferrit	%80(ağ.)	1.6	9.5-(>12.5)	11-(>12.5)	[54]
PANi	Ba ₁₂ Fe ₁₂ O ₁₉	%50 (ağ.)	2	-	-	[55]
PS	NiFe ₂ O ₄	%65 (ağ.)	2	10.3-13	-	[56]
Wax	NiZnMn	%80 (ağ.)	4.5	<8-10.4	8-9.2	[57]

Tablo 2.2.'de verilen EAA değerlendirildiğinde; bazı kompozit malzemelerde EAA'nın X-band'ın büyük bir kısmını ya da tamamını kapsadığı gözlenmiştir. HPAA değerleri tabloda bulunan verilere göre incelendiğinde; HPAA'nın en fazla 11.0-12.5 GHz'e ulaştığı gözlenmiştir.

Bu verilerden elde edilen sonuç ise şöyledir; Hazırlanan kompozit malzemelerde manyetik dolguların kullanılması ile geniş frekans aralığında EAA değerlerinin sağlandığı gözlenmiştir. Hazırlanan kompozit malzemelerde belirtilen soğurma özelliklerinin sağlanabilmesi için; kompozit malzeme içerisinde kullanılan dolgu oranlarının ağırlıkça %50-80 civarında olduğu gözlenmiştir ve ayrıca kompozit kalınlıklarının 2-3 mm olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

2.10.2. Karbon türevleri içeren polimer kompozit malzemeler

Karbon türevleri, elektriksel olarak iletken özelliğe sahip malzemelerdir. Polimer faz matrisi içerisinde düşük oranlarda karbon malzemelerin kullanılarak dağıtılması ile düşük elektriksel iletkenlikte polimer kompozitler hazırlanır ve belirli bir frekans aralıklarında etkin soğurma sağlamaktadırlar. Tablo 2.3.'de karbon dolgusunun kullanılması ile hazırlanan polimer kompozitlerin elektromanyetik dalga soğurma özelliklerine ait çalışmaların sonuçları gösterilmiştir [1].

Tablo 2.3. Literatür çalışmalarındaki karbon dolgu kullanarak hazırlanan polimer kompozitlerin bazılarına ait elektromanyetik dalga soğurma özellikleri

Polimer Matris	Dolgu Maddesi	Dolgu Maddesinin Oranı	Numune Kalınlık (mm)	EAA (GHz)	HPAA (GHz)	Referans
Epoksi	CB	%2(ağ.)	2.77	8.9-11.8	-	[58]
Epoksi	CNF	%4(ağ.)	4	18-19.8	-	[49]
Epoksi	CNF	%1.5(ağ.)	2.02	9.2-11.5	-	[58]
Epoksi	MWCNT	%2(ağ.)	2.2	9-12.5	-	[58]
Epoksi	MWCNT	%5(ağ.)	1	10.1-13.1	-	[59]

Tablo 2.3.'de bulunan EAA incelendiğinde; çalışmaların birçoğunda EAA aralıklarının X-band ve Ku-band gibi band genişliklerini kapsamadığı gözlenmiştir. Tabloda verilen HPAA değeri değerlendirildiğinde; önemsenecek genişliğe ulaşamadığı gözlenmiştir. Önceki veriler ile kıyaslandığında, kompozit kalınlıklarının yakın olmasına rağmen kullanılan dolgu miktarlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Karbon dolguları yüksek yüzey alanına sahiptir ve geometrik özelliklerinden dolayı karbon-polimer kompozit malzemelerin, elastik modül ve darbe dayanım özellikleri manyetik dolgu kullanılan kompozitlere göre daha yüksek olacağı sonucuna ulaşılabilmektedir.

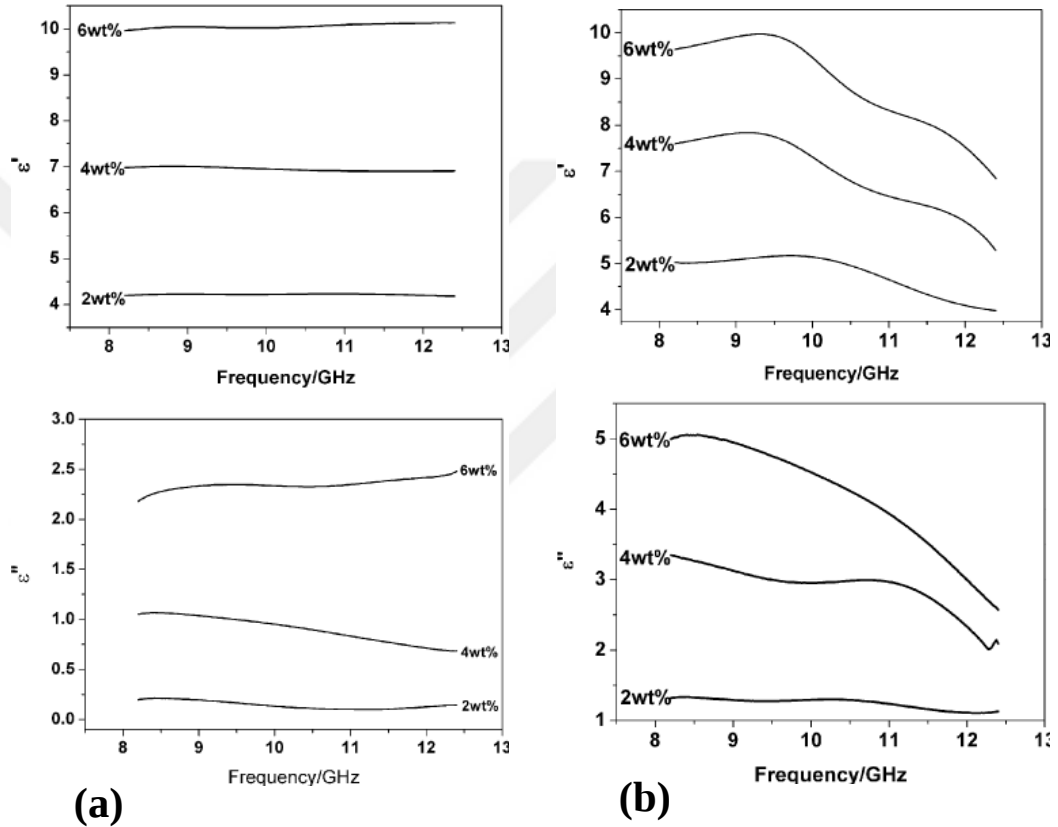
2.10.3. Radar soğurucu özelliğe sahip polimer kompozit malzemelerde yapı-performans ilişkisi

Daha önce açıklamaları ile birlikte verilen tablolarda literatür özetleri incelenmiştir. Bu bulgular değerlendirildiğinde; soğurma özelliklerinin farklı olduğu gözlenmiştir. Bu soğurma performanslarının farklı olmasının birçok etkeni olabilir; dolgunun kullanım oranı, dolgunun polimer matris içerisindeki dağılımı, dolgunun polimer faz ile etkileşimi (uyumu), polimer matris içerisinde kullanılan dolgu maddesinin morfolojik özellikleri, polimer kompozit malzemenin üretim yöntemi gibi etkenler farklılıklara sebep olabilir.

Literatürde karbonil demir ve karbon elyaf gibi farklı iletken dolgularla hazırlanan polimer kompozitlerinin reolojik özellikleri, elektriksel iletkenlik özellikleri ve elektromanyetik dalga soğurma performansları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Guang Li ve arkadaşları [60] karbon dolguları kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin permitivite ve elektromanyetik dalga soğurma performanslarını incelemiştir. Çalışmada iki karbon dolgusu kullanılmıştır.

Kullanılan dolgular; 0.1-3 μm çapında karbon elyaf ve 100 nm çapında karbon nano elyafıdır. Ağırlıkça %2, %4 ve %6 oranlarında dolgular hazırlanarak epoksi matris içerisinde dağıtılmıştır ve elde edilen kompozit malzemenin permitivite ve elektromanyetik soğurma özelliklerine ait grafikler verilmiştir.

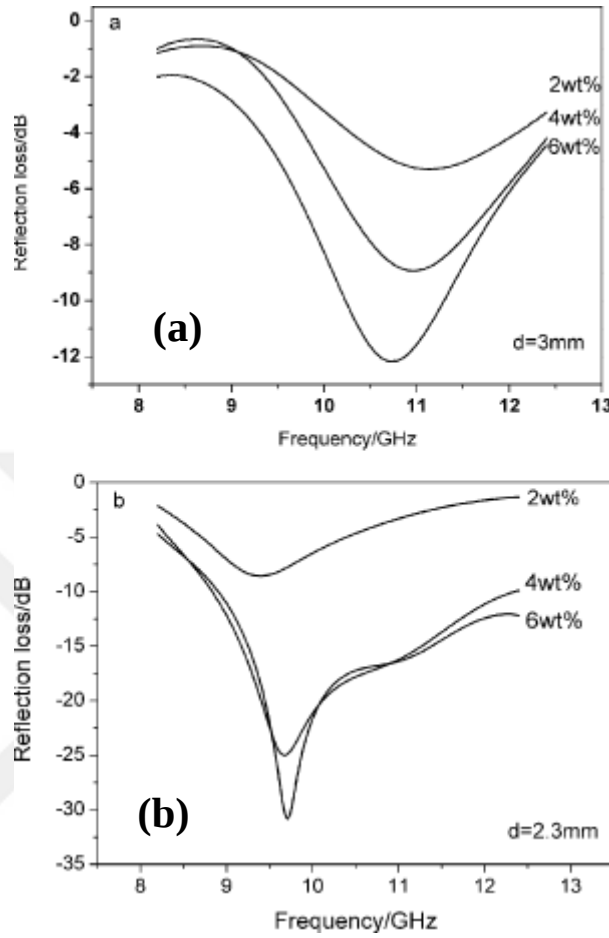


Şekil 2.28. (a) Ağırlıkça %2, %4 ve %6 karbon nano elyaf (CNF) içeren kompozit malzemelerin elektriksel geçirgenlik (permitivite) değerlerine ve (b) Ağırlıkça %2, %4 ve %6 karbon elyaf içeren kompozit malzemelerin elektriksel geçirgenlik (permitivite) değerlerine ait grafikler

Şekil 2.28. (a) incelendiğinde; Ağırlıkça %2, 4 ve 6 CNF içeren kompozitlerin ϵ' değeri, artan CNF içeriği ile artar, ancak kompozitlerin ϵ' değerleri ölçülen frekans aralığında önemsiz farklılıklar gösterir. Ayrıca ϵ'' grafiğinde, CNF içeriği ve frekansına göre ϵ' ile benzer bir eğilim sergilendiği gözlenmiştir.

Şekil 2.28. (b) incelendiğinde; Farklı oranlarda kullanılan karbon elyaf kompozitlerin ϵ' değeri, frekans arttıkça bir dalgalanma sergiler; özellikle, ağırlıkça %4 ve %6

oranlarında karbon elyaf içeren kompozitlerin ϵ' değeri artan frekansla önemli bir düşüş göstermektedir.

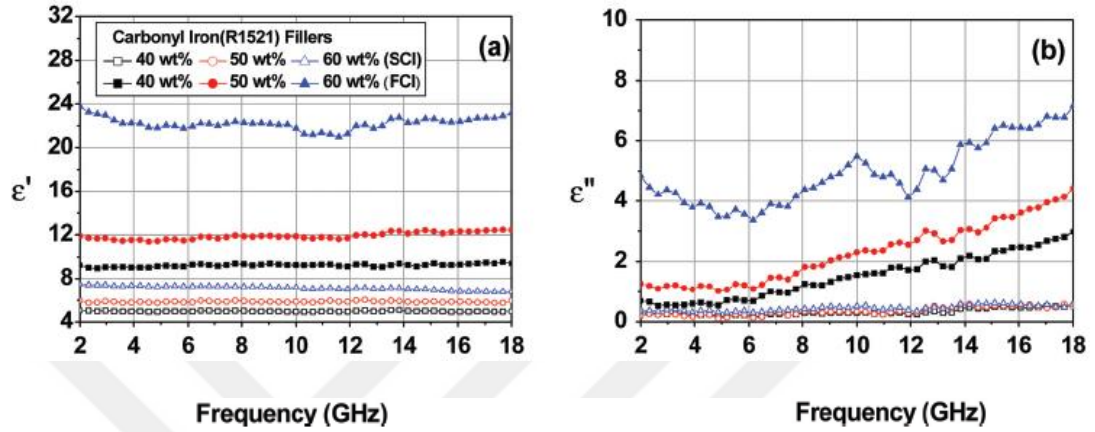


Şekil 2.29. (a) 3 mm kalınlığında karbon nano elyaf ve (b) 2,3 mm kalınlığında gözenekli karbon elyaf ile hazırlanan kompozitlerin RL-frekans grafikleri

Çalışmada kullanılan mikron boyutlu ($0.1\text{-}3\ \mu\text{m}$) gözenekli yapıda karbon elyafın ve $100\ \text{nm}$ boyutlu karbon nano elyafın $RL_{\min}$ ve EAA değerleri değerlendirildiğinde; gözenekli karbon elyafın $RL_{\min}$ ve EAA değerlerinin daha yüksek performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

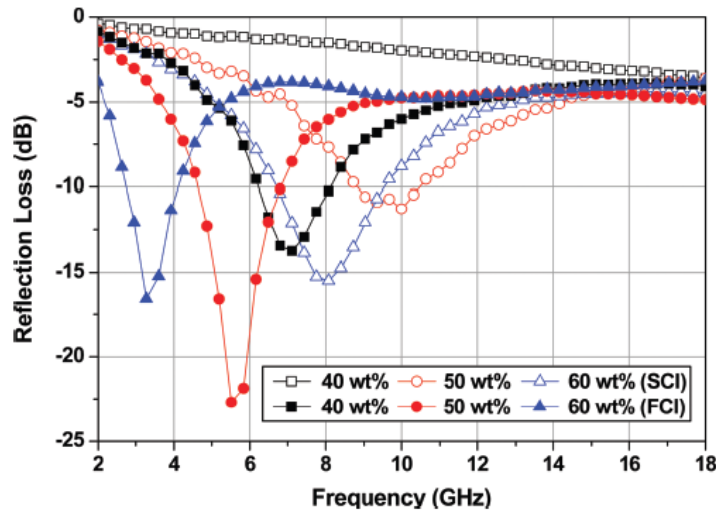
Ruey-Bin YANG ve arkadaşları [61] tabaka (pul) şeklinde karbonil demir (FCI) ve küresel demir tozları (SCI) kullanılarak manyetik dolgular ile hazırlanan polimer kompozitlerinin permittivite ve elektromanyetik soğurma performanslarını incelemiştir. Kullanılan manyetik dolgular farklı dağılım oranlarına sahiptir; Küresel karbonil demirin dağılım oranı ($A_f = 1$) ve tabaka (pul) şeklinde karbonil demirin dağılım oranı ($A_f = 20\text{-}100$)'dır.

İki farklı geometriye sahip karbonil demir dolgular ağırlıkça %40, %50 ve %60 oranlarında hazırlanarak epoksi matris içerisinde dağıtılmıştır ve elde edilen kompozit malzemenin elektromanyetik soğurma özellikleri gözlenmiştir. VNA ve dalga kılavuzu metodu ile 2-18 GHz frekans aralığında kompozit malzemelerin permitivite ve RL değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2.30. %40, %50, %60 oranlara sahip SCI ve FCI dolgular ile hazırlanan kompozitlerin ϵ' -frekans ve ϵ'' -frekans grafikleri

Şekil 2.30. incelendiğinde; ağırlıkça %40, %50 ve %60 SCI içeren polimer kompozitlerin permitivite (ϵ' , ϵ'') değerleri 2-18 GHz aralığında neredeyse sabit olduğu gözlenmektedir. Fakat, ağırlıkça %40, %50 ve %60 FCI içeren polimer kompozitlerin permitivite (ϵ' , ϵ'') değerleri SCI polimer kompozitlerine göre daha yüksektir ve dalgalanmalar olduğu görülmektedir.



Şekil 2.31. Farklı dolgu oranlarına sahip 3 mm kalınlığındaki SCI ve FCI kompozit malzemelerin RL-frekans grafiği

Şekil 2.31. incelendiğinde; dielektrik parametreler üzerinden RL (değerleri karşılaştırılmıştır. 3 mm kalınlığında, yüksek dağılım oranına ($A_f = 20-100$) sahip ve %50 oranında karbonil demir (FCI) içeren örneğin yaklaşık 6 GHz’ de -22.5 dB RL_{min} değeri elde edilmiştir. 3 mm kalınlığında, düşük dağılım oranına ($A_f = 1$) sahip ve %50 oranında karbonil demir (SCI) 10 GHz’ de -12 dB RL_{min} değeri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; kullanılan dolgudaki A_f değerinin artması, kompozit malzemelerin permitivite ve soğurma performanslarını arttırdığı yorumu yapılabilir.



3. MALZEMELER VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

Bu tez çalışmasında ABS olarak TOTAL firması tarafından LG112 kodu ile üretilen ürün polimer faz olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ABS polimerinin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan ABS (TOTAL LG112 ABS) polimerine ait bazı fiziksel özellikler

Özellikler	Değerler
Erime Hacim Oranı 220 °C/10 kg (ISO 1133)	7 cm ³ /10min
Charpy Çentikli Darbe Dayanımı, 23 °C (ISO179/1eA)	11 kJ/m ²
Kopmada Çekme Gerilimi, 23 °C (ISO 527)	32 MPa
Çekme Modülü (ISO 527)	1600 MPa
Vicat Yumuşama Sıcaklığı VST/B/50 (50N, 50 °C/h) (ISO 306)	95 °C
Yoğunluk (ISO 1183)	1.04 kg/m ³

Bu çalışma kapsamında iki farklı dolgu maddesi kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan dolgulardan birisi karbonil demirdir. Dolgu olarak kullanılan karbonil demir MOLCHEM firmasının NK84 kodlu ürünüdür.



Şekil 3.1. MOLCHEM marka NK84 kodlu karbonil demirin fiziksel görüntüsü

Kullanılan karbonil demir dolgusuna ait bazı fiziksel özellikler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kullanılan MOLCHEM NK84 kodlu karbonil demir dolgusunun bazı fiziksel özellikleri

Özellikler	Değerler
Saflık	99.9 %
Ortalama Parçacık Büyüklüğü	5 μm
Molekül Ağırlığı	195.90 g/mol
Yoğunluk	1.49 g/cm ³
Erime Noktası (ISO 306)	-20 °C
Kaynama Noktası	103 °C

Tez çalışmasında kullanılan dolgulardan diğeri ise karbon elyafıdır. Karbon elyaf olarak Kompozit Pazarı firmasından temin edilen M80-3 kodlu 80 mikron ve altı öğütölmüş toz formunda karbon elyaf kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Kompozit Pazarından M80-3 kodlu karbon elyafın fiziksel görüntüsü

Kullanılan karbon elyaf dolgusuna ait bazı fiziksel özellikler Tablo 3.3. 'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kullanılan Kompozit Pazarı/M80-3 kodlu karbon elyaf dolgusunun bazı fiziksel özellikleri

Özellikler	Değerler
Yoğunluk	1.80 g/cm ³
Çekme Dayanımı	3.0 GPa
Çekme Modülü	200 Gpa
Kopma Uzaması	%1.5

3.2. Yöntemler

3.2.1. Kompozitlerin hazırlanması

Kompozitler Tablo 3.4.'de verilen iki farklı dolgu için farklı oranlara göre çift vidalı, içe dönen vidalar (counter rotating) ile melt-mixerde karışımlar hazırlanarak üretilmiştir. Kompozit örnekler, Kökbir marka RTX- M40 eriyik mikserinde, 80 rpm vida hızında ve 240 °C'de üretilmiştir.



Şekil 3.3. Kullanılan Kökbir RTX-M40 marka melt-mixer

İki farklı dolgu tipinin kullanılmasıyla, farklı oranlarda melt-mixer'de hazırlanan kompozit malzemeler yine Kökbir marka plastik kırma makinesinde kırılarak eş büyüklüğe getirilmiştir.



Şekil 3.4. Kullanılan plastik kırma makinesine ait fotoğraflar

İlk olarak çalışmada kullanılacak karbonil demir, karbon elyaf dolgu maddeleri ve ABS polimeri 24 saat, 60 °C sıcaklığında bekletilmiştir ve böylece kurutulması sağlanmıştır. Daha sonra hassas terazi cihazı kullanılarak, belirlenen oranlara göre “polimer ve polimer-dolgu” karışımlarının tartılması gerçekleştirilmiştir. Çalışma

kapsamında hazırlanan kompozit örneklerine ait adlandırılmada kullanılan kodları ve kompozit malzemelerde kullanılan bileşim oranları Tablo 3.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Hazırlanan kompozit malzemelerine ait bileşim oranları

Karışım Adı	ABS (%)	Karbonil Demir (%)	Karbon Elyaf (%)
ABS	100	0	0
CI10	90	10	0
CI20	80	20	0
CI30	70	30	0
CI40	60	40	0
CI50	50	50	0
CI60	60	40	0
CF5	95	0	5
CF10	90	0	10
CF20	80	0	20
CF30	70	0	30

3.2.2. Test ve analiz çalışmaları

3.2.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

SEM analizlerinde kompozit örnekleri ilk olarak sıvı azot kullanılarak kırılmıştır. Daha sonra kesit alanları altın ile kaplanarak FEI Inc., Inspect S50 model bir taramalı elektron mikroskobu ile 10.00 kV'de incelenmiştir.



Şekil 3.5. Kullanılan taramalı elektron mikroskobu (SEM)

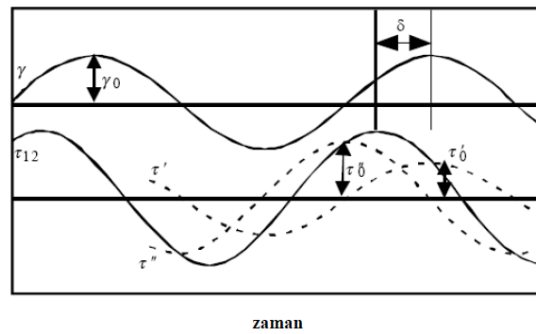
3.2.2.2. Reoloji analizi

Polimer hammaddesi ve kompozit örneklerinin reoloji testleri rotasyonel reometre (Discovery Hybrid Rheometer, HR-1, TA Instruments) cihazında incelenmiştir.



Şekil 3.6. Kullanılan Rotasyonel Reometre (Discovery Hybrid Rheometer, HR-1, TA Instruments) cihazı

25 mm çapına sahip paralel olan plakalar arasında testler gerçekleştirilmiştir. Test için kullanılan cihazda; gerilim (τ), modül (G^* , G' , G''), viskozite (η) ve faz farkı ($\tan\delta$) gibi reolojik parametreler ölçülmektedir. Cihazda, paralel plakalar arasında bulunan malzemeye alt tarafta bulunan motor aracılığıyla belirli frekansın uygulanması, ($\omega/2\pi$) 3.2 no.lu denklemde gösterilen ve Şekil 3.7. 'de belirtilen salınımlı bir deformasyon/uzama (γ) uygulandığında; malzemenin bu deformasyona karşı cevabı, gerilim (τ), modül (G^* , G' , G''), viskozite (η) ve faz farkı ($\tan\delta$) gibi reolojik parametreler olarak hesaplanmaktadır. Salınımlı gerilim fonksiyonu 3.2 numaralı denklemde tanımlanmıştır.



Şekil 3.7. Viskoelastik malzemelerin reolojik davranışına ait eğriler

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad (3.1)$$

$$\tau = \tau_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (3.2)$$

Uygulanan uzamaya karşı, tork oluşur ve oluşan torku (M) cihaz tork ölçer yardımıyla ölçer ve tanımlanan geometri için gerilim hesaplanır [62]. Uzama 3.4 numaralı denklemle, gerilim Newtonian bölgede 3.5 numaralı denklemle, non-newtonian bölgede 3.6 numaralı denklemle rotasyonel reometrelerde hesaplanır.

$$\gamma = \frac{\Omega R}{h} \quad (3.3)$$

$$\tau = \frac{2M}{\pi R^3} \quad (3.4)$$

$$\tau = \frac{M}{2\pi R^3} \left(3 + \frac{\partial \log M}{\partial \log \gamma_R} \right) \quad (3.5)$$

Viskoelastik malzemeler için, ölçülen gerilim, viskoz modül ve elastik modül değerleri olarak aşağıdaki gibi ifade edilir. Denklemlerde belirtilen ifadeler şu şekilde açıklanabilir [4];

- G' : Saklanan modül (Elastik modül)
- G'' : Kayıp modül (Viskoz modül)

$$\tau(t) = \gamma_0 (G' \sin \omega t + G'' \cos \omega t) \quad (3.6)$$

$$G' = \omega \int_0^\infty G(t) \sin \omega t dt = \frac{\tau'_0}{\gamma_0} \quad (3.7)$$

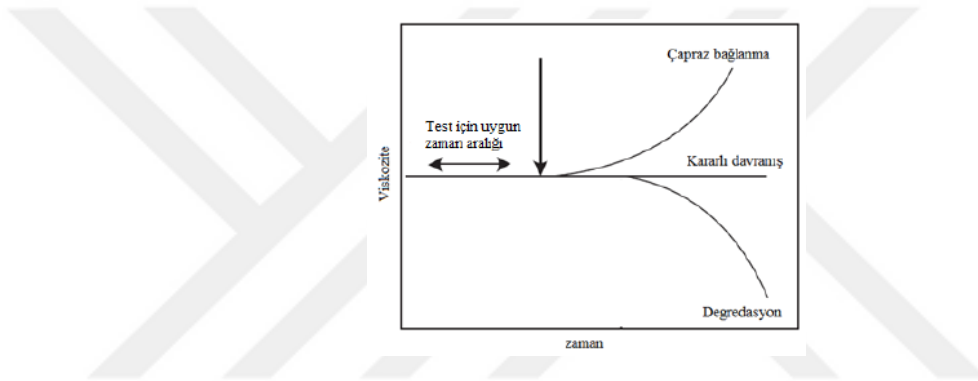
$$G'' = \omega \int_0^\infty G(t) \cos \omega t dt = \frac{\tau''_0}{\gamma_0} \quad (3.8)$$

3.2.2.3. Zaman tarama testi

Test süresi boyunca malzemelerin sıcaklığa maruz kalması sebebiyle reolojik davranışlarını etkileyen herhangi bir yapısal değişimin olup olmadığı zaman tarama testi ile belirlenmektedir. Zaman tarama testi, uygulanan ön testtir ve daha sonraki reolojik analizler için malzemenin kararlı bir şekilde davranış göstereceği en yüksek test süresinin belirlenmesi için uygulanan test aşamasıdır. Bu çalışmada polimer faz olarak ABS polimeri kullanılmıştır ve zaman tarama testi ABS polimeri için uygulanmıştır. ABS polimeri için, 30 dakika boyunca sabit bir uzama (% 0.1) ve

frekansta (1 rad/s) zaman tarama testi gerçekleştirilerek malzemenin viskoelastik özelliklerinde değişiklik olup olmadığı incelenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; viskozite ve modül değerlerinde değişiklik olmayan zaman aralığında, polimer malzemenin yapısal olarak bozunmadığının ve test için uygun zaman aralığı olduğu değerlendirilmektedir. Modül veya viskozite gibi viskoelastik özelliklerde zaman içinde gerçekleşen artma; polimer zincirlerinin birbiri arasındaki karşıt bağlanma ya da çözücü veya plastifiyan kaybını, modül veya viskozite gibi viskoelastik özelliklerde zaman içinde azalmalar; ısıl bozunma ve buna bağlı olarak zincir parçalanmalarından kaynaklanan özellik kaybı gibi değişiklikleri göstermektedir (Şekil 3.8.) [4].



Şekil 3.8. En yüksek test zamanının belirlenmesi [4]

3.2.2.4. Frekans tarama testi

Kompozit örneklerine uygulanan frekans testinde; eriyik halde bulunan örneğe 100-0.1 rad/s frekans aralığında açısal ve salınımlı deformasyon uygulanmıştır. Bu test uygulaması ile saklanan modül (G'), kayıp modül (G''), dinamik viskozite (η^*) ve faz farkı ($\tan\delta$) değerlerinin değişimi açısal frekans değişimine bağlı olarak takip edilmiştir.

3.2.2.5. Akış testi

Kompozit örneklerine uygulanan akış testinde; 0.1-100 1/s kayma hızı aralığında örneğe artarak kayma hızları tek yönlü olarak uygulanmıştır. Bu uygulama ile farklı kayma hızlarında (shear rate, $\dot{\gamma}$) dinamik viskozitenin (η^*) değişimi ölçülerek değerlendirilmiştir.

3.2.2.6. Dinamik mekanik analiz (DMA)

DMA testine başlamadan önce hazırlanan kompozit örnekleri 6 saat 80°C’de bekletilmiştir ve bu uygulama ile kompozit örneklerde bulunan nemin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Hazırlanan kompozit örnekleri için DMA testleri 30-145°C sıcaklık aralığında, ısıtma hızı 3°C/dk olarak 1 Hz frekans değerinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kompozit örneklerine ait DMA analizleri; Discovery Hybrid, HR-1, TA Instruments model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve kompozit malzemelerin viskoelastik özellikleri ölçülerek belirlenmiştir.

3.2.2.7. Elektromanyetik dalga soğurma performanslarının belirlenmesi

Test için kullanılacak örnekler uygun forma getirilmiştir; ölçümler için örneklerin iç çapı 3 mm, dış çapı 7 mm olacak şekilde yuvarlak şekilde ve 1-3 mm kalınlıklarda numune kesme aleti kullanılarak hazırlanmıştır. Analiz için hazırlanan kompozit örnekler ve kesme cihazına ait fotoğraf Şekil 3.9.’da gösterilmiştir. Hazırlanan kompozit örneklerine ait elektriksel geçirgenlik değerlerinin analizi için, Keysight marka N9926A kodlu Vektör network analizörü (VNA) ölçüm düzeneği ve Keysight marka 85055AR03 kodlu koaksiyel airline numune tutucu kullanılarak test gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait ölçümler 1-14 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ile permitivite (ϵ' , ϵ'') ve permeabilite (μ' , μ'') değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.



Şekil 3.9. VNA testinin analizleri için kullanılan hazırlama cihazı ve hazırlanan malzemelere ait fotoğraflar

Kullanılan VNA ölçüm sistemine ait fotoğraf Şekil 3.10.’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Elektriksel geçirgenlik değeri analiz ölçümünde kullanılan VNA test düzeneği

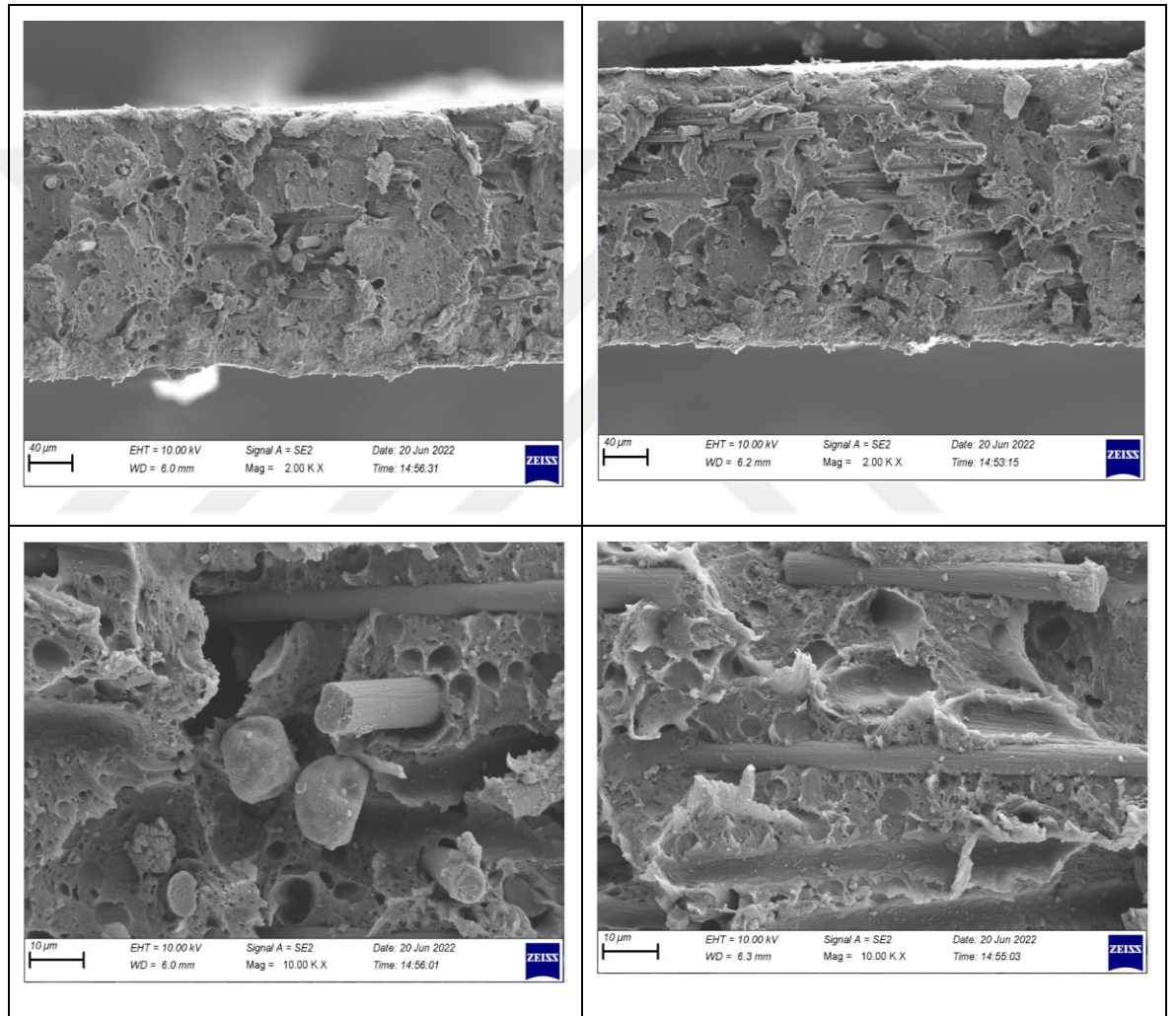


4. BULGULAR

4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

4.1.1. Kompozit örneklerin morfolojisi

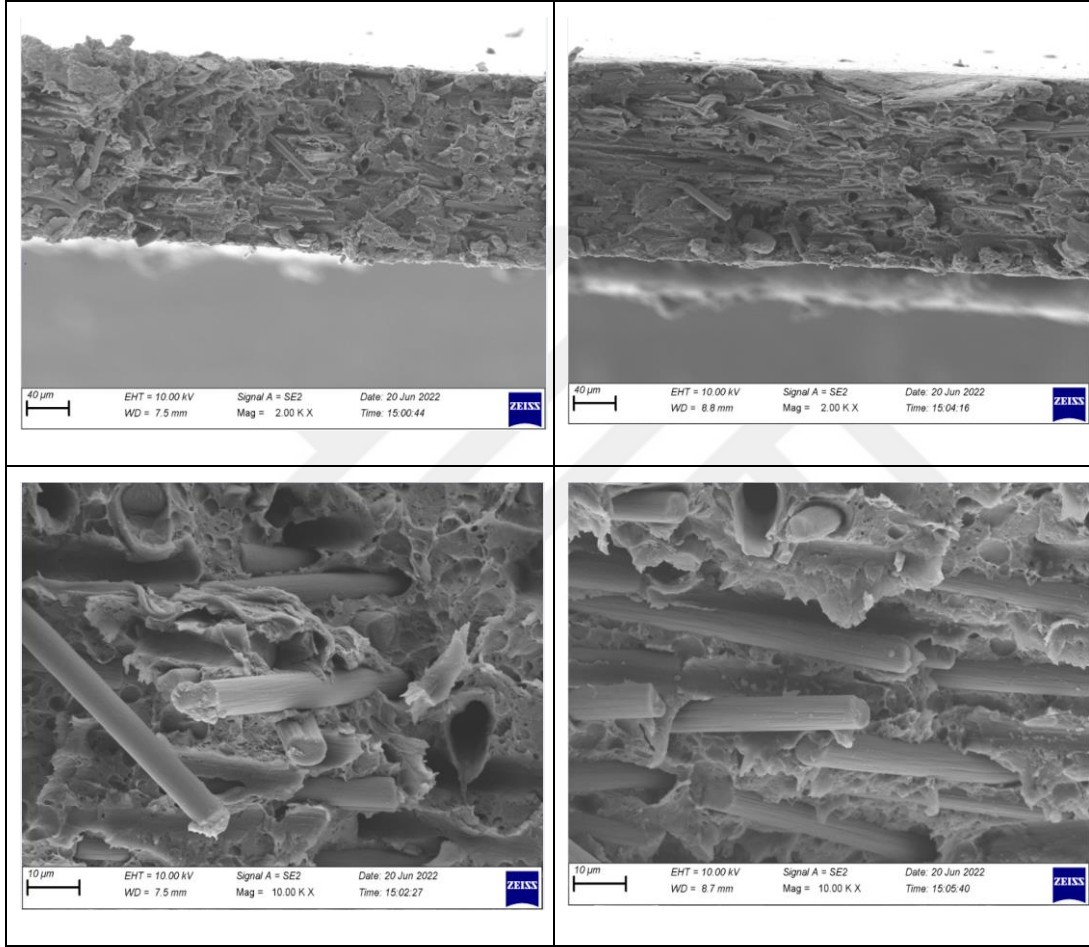
%10 Karbon elyaf (CF10), %30 Karbon elyaf (CF30), %30 Karbonil demir (CI30) ve %60 Karbonil demir (CI60) dolgularını içeren kompozit örneklerine ait SEM görüntüleri Şekil 4.1.-4.4. 'de verilmiştir.



Şekil 4.1. %10 Karbon elyaf içeren (CF10) örneğin SEM görüntüleri

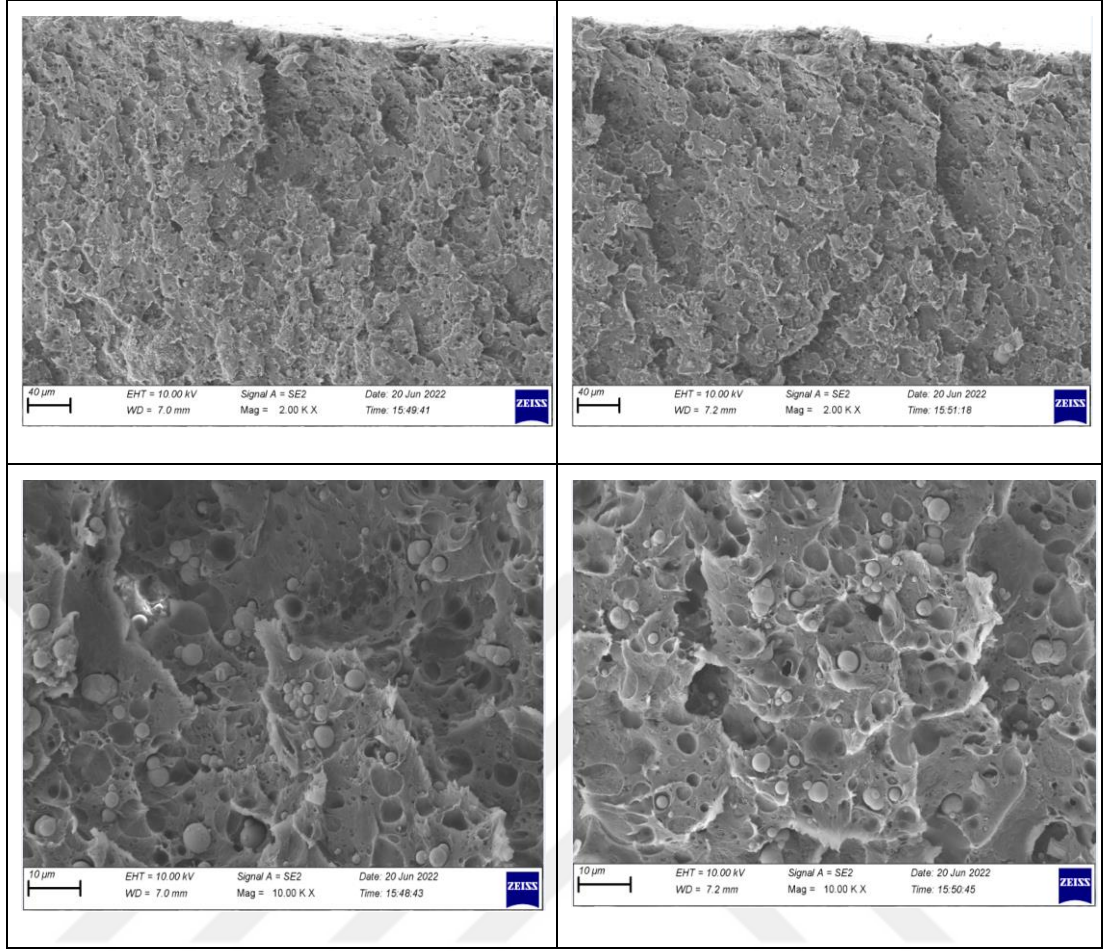
CF10 kompozit malzemesine ait SEM analizi Şekil 4.1.'de verilmiştir. Şekil 4.1. incelendiğinde; kompozit malzeme hazırlama sırasında karbon elyaf dolgusu ve ABS polimer matrisi dışında herhangi bir ek uyumlaştırıcı katkı maddesi kullanılmamasına

rağmen, %10 oranında kullanılan karbon elyaf dolgu maddesinin ABS matrisi içerisinde iyi ve yığılımsız tek elyaflar şeklinde dağıldığı görülmüştür. %10 oranında karbon elyaf dolgunun kullanılması ile polimer matris içerisinde karbon elyaf topaklanmaları gözlenmemiştir. Kompozit malzeme hazırlama esnasında herhangi bir uyumlaştırıcı katkı maddesi kullanılmadığından dolayı, polimer-karbon elyaf arayüzeyinde boşlukların olduğu gözlenmiştir.



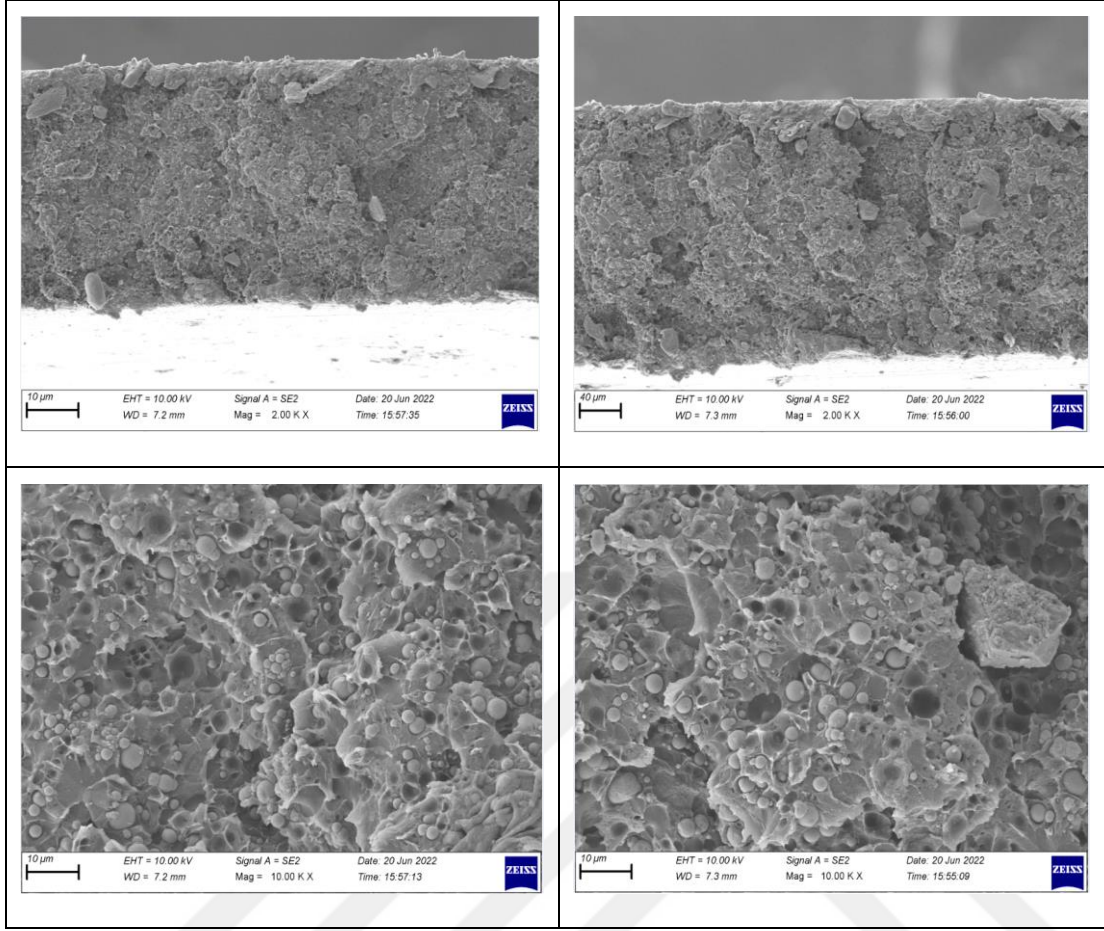
Şekil 4.2. %30 Karbon elyaf içeren (CF30) örneğin SEM görüntüleri

CF30 kompozit malzemesine ait SEM analizi Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. %30 oranında karbon elyaf dolgusunu içeren kompozit malzemenin SEM görüntüsü incelendiğinde, %10 oranında karbon elyaf içeren kompozite benzer şekilde davranış olduğu görülmüştür. Karbon elyaf oranının %30 şeklinde arttırılması ile polimer matris içerisinde herhangi bir topaklanma olmadığı gözlenmiştir ve karbon elyaf oranının artmasına rağmen karbon elyaf dolgu maddesinin ABS polimer matris içerisinde iyi bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.3. %30 Karbonil demir içeren (CI30) örneğin SEM görüntüleri

CI30 kompozit malzemesine ait SEM analizi Şekil 4.3.'te verilmiştir. Kompozit malzemenin hazırlanması esnasında karbonil demir dolgu maddesi ve ABS polimer matris dışında herhangi bir ek uyumlaştırıcı katkı maddesi kullanılmamıştır. Kompozit malzeme içerisinde herhangi bir uyumlaştırıcı madde kullanılmamasına rağmen, dolgu olarak kullanılan karbonil demirin ABS polimer matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı ve topaklanmaların olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 4.4. %60 Karbonil demir içeren (CI60) örneğin SEM görüntüleri

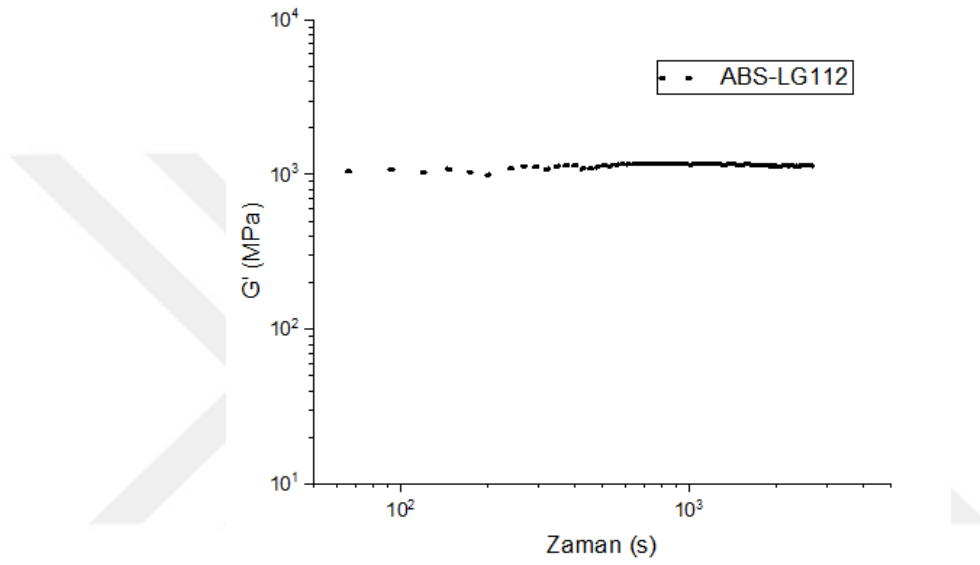
CI60 kompozit malzemesine ait SEM analizi Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Karbonil demirin %60 oranında kullanılması durumunda da dolgu maddesinin ABS polimer matris içerisinde iyi dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Karbonil demir oranının %30'dan %60'a çıkarılması ile bölgesel olarak küçük topaklanmaların olduğu gözlenmiştir. Farklı oranlarda karbon elyaf içeren kompozit malzemelerde olduğu gibi farklı oranlarda karbonil demir içeren kompozit malzemelerde de uyumlaştırıcı kullanılmamasından dolayı, polimer-dolgu arayüzeyinde boşluklar olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.3. incelendiğinde; CI30 kompozit örneğinde karbonil demir taneciklerinin birbiri ile temastan uzak olduğu görülmektedir. Şekil 4.4.'de CI60 kompozit örneğinde belirli kümeler içerisinde dolguların birbiri ile temas ettiği görülmektedir, fakat temas halinde olmasına rağmen bütün kompozit boyunca kesintisiz bir hat oluşturacak temas sürekliliğinin sağlanmadığı görülmektedir.

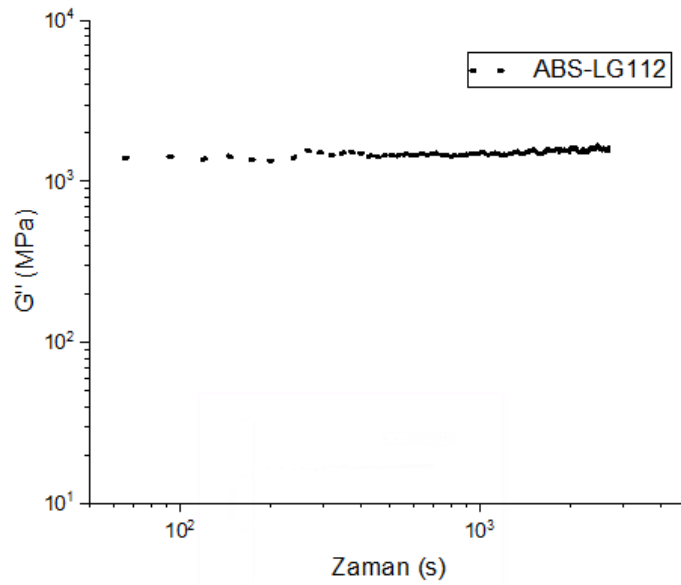
4.2. Reoloji

4.2.1. Polimer matrisin (ABS) zaman testi

Kompozit malzeme de matris olarak kullanılan ABS polimerine zaman tarama testi uygulanmıştır. Uygulanan zaman tarama testi sonucunda saklanan modül (G') ve kayıp modül (G'') değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da G' ve G'' değerlerine ait değişim verileri gösterilmiştir.



Şekil 4.5. ABS'nin saklanan modül (G') değerinin zamanla değişimi

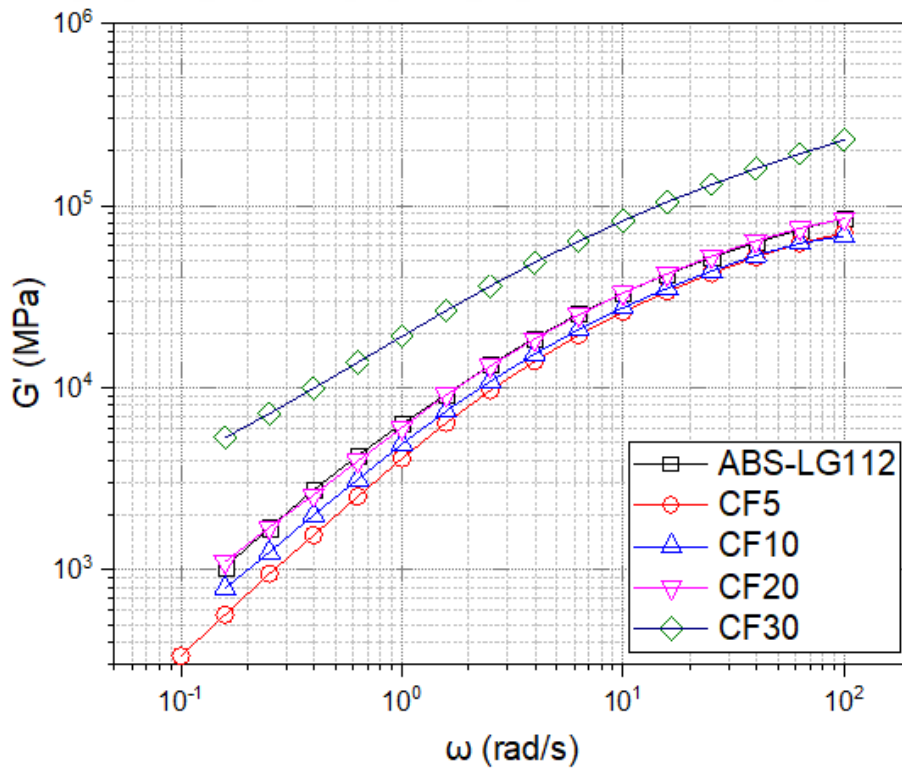


Şekil 4.6. ABS'nin kayıp modül (G'') değerinin zamanla değişimi

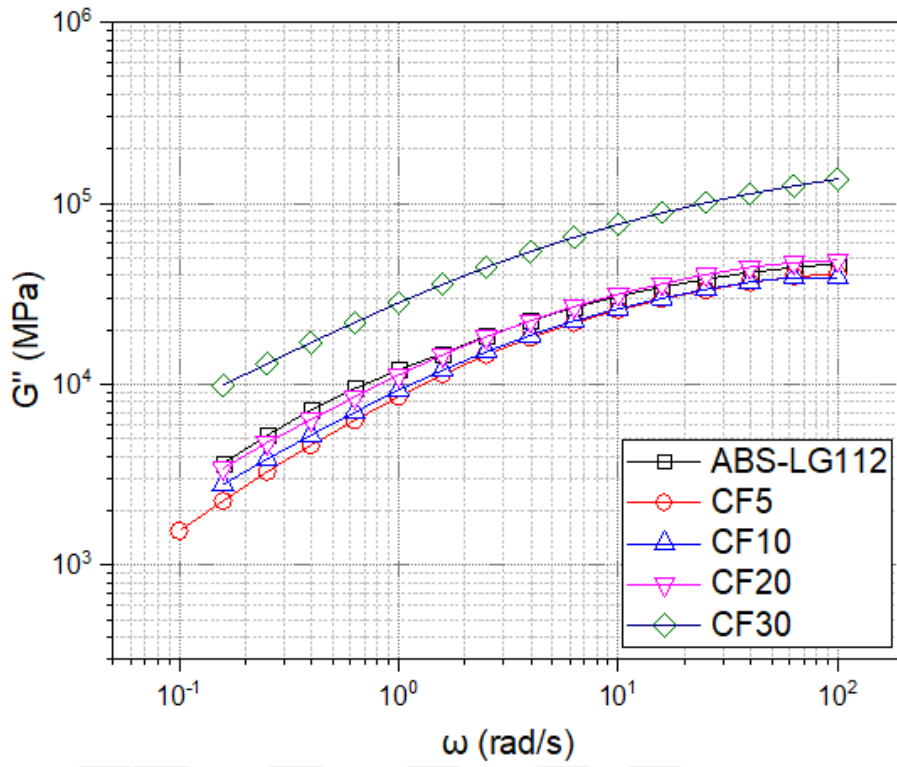
Çalışmada zaman tarama testi sadece ABS polimer fazı için uygulanmıştır. Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. 'da ABS polimerine ait G' ve G'' modül değerlerinin zamanla değişimlerine ait grafikler verilmiştir. Test sonucu değerlendirildiğinde; 30 dakika uygulanan test süresi boyunca ABS polimerinin modül değerlerinde önemli değişikliklerin olmadığı görülmüştür. Kompozit malzemeye uygulanacak diğer reolojik analizler için de test süresi 30 dakikayı geçmeyecektir ve testlerin art arda yapılması durumunda yeni numuneler kullanılacaktır. Bu nedenle kompozit malzemeler sıcaklığa maruz kaldığında, malzemelerin reolojik analiz sonucunda gösterecekleri davranışlarda herhangi bir farklılık olmayacağı kabul edilmiştir.

4.2.2. Kompozitlerin frekans tarama testleri

Farklı frekans değerlerinde deformasyon uygulanarak, uygulanan bu deformasyon karşısında kompozit malzemelerin reolojik olarak davranışlarının analizi gerçekleştirilmiştir. Saklanan modül (G') ve kayıp modül (G'') değerlerinin frekans uygulanması ile olan değişimleri frekans testi ile belirlenmiştir. Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de sırasıyla, CF kompozitlerinin saklanan modül (G') – açısal frekans (ω) ve kayıp modül (G'') – açısal frekans (ω) eğrileri verilmiştir.

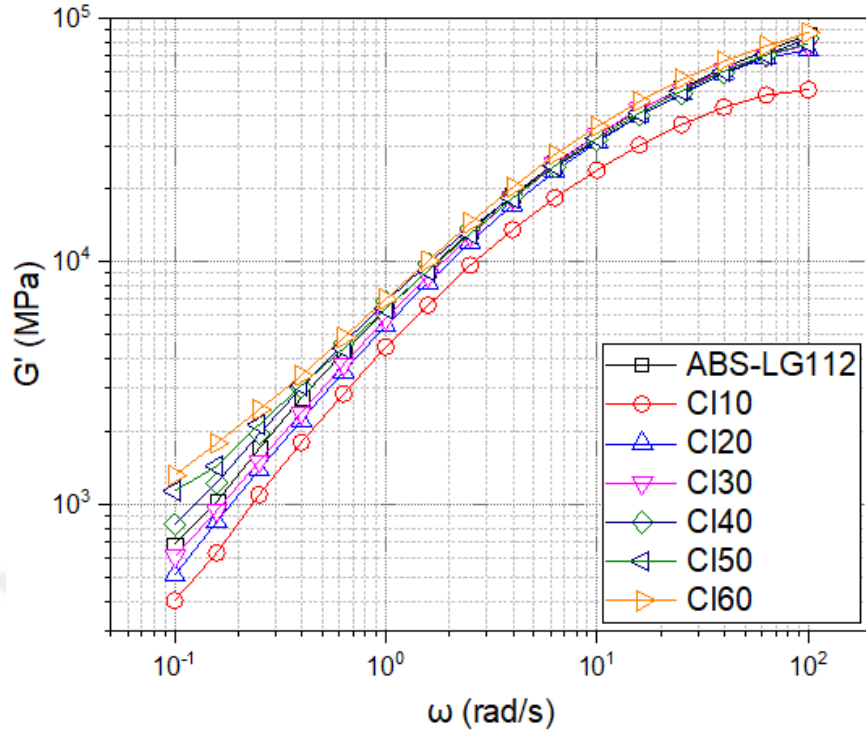


Şekil 4.7. ABS polimeri ve CF serisi kompozitlerin Saklanan modül (G') – Açısal frekans (ω) eğrileri

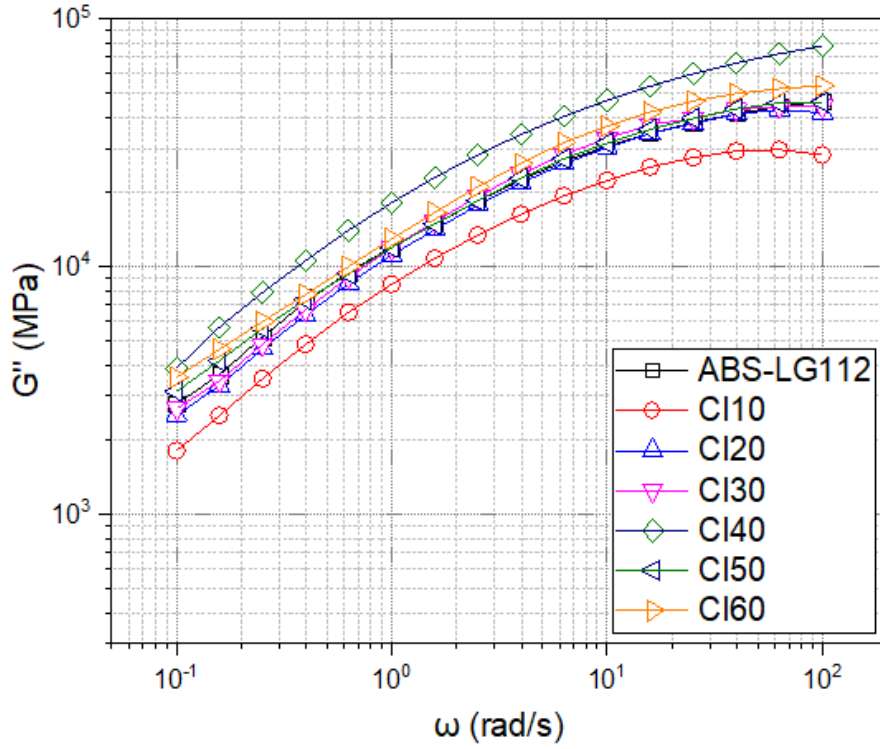


Şekil 4.8. ABS polimeri ve CF serisi kompozitlerin Kayıp modül (G'') – Açısal frekans (ω) eğrileri

Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de karbon elyaf dolgulu ABS kompozitlerinin saklanan modül (G') ve kayıp modül (G'') değişimleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her iki modül değeri içinde düşük dolgu oranlarında modül değerinin önce azalma gösterdiği daha sonra dolgu oranının artmasıyla da artış gösterdiği görülmektedir. Özellikle de %20 dolgu oranında ABS ile aynı modül değerine sahip olan kompozitte karbon elyaf oranının %30'a artmasıyla modül değerinin dikkate değer bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu dikkate değer artış literatürdeki reolojik perkolasyon ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.9. ABS polimeri ve CI serisi kompozitlerin Saklanan modül (G') – Açısal frekans (ω) eğrileri



Şekil 4.10. ABS polimeri ve CI serisi kompozitlerin Kayıp modül (G'') – Açısal frekans (ω) eğrileri

CI serisi kompozitlerdeki modül (G' ve G'') değerlerinin, karbonil demirin yüksek yoğunluğuna bağlı olan düşük hacim fraksiyonu ve polimerle olan zayıf etkileşimlerine bağlı olarak düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Karbonil demir için de karbon elyafa benzer şekilde düşük oranlarda ABS polimerinden daha düşük modül (G' ve G'') değerleri elde edilmiştir. CI oranının artmasıyla modül (G' ve G'') değerlerinin, ABS polimerine ait modül değerlerinin üstüne çıktığı gözlenmiştir. Polimer eriyiklerinin viskoelastik özelliklerinin incelenmesinde G' değerlerinin G'' değerlerine göre daha hassas olduğu birçok çalışmada belirtilmektedir. Şekil 4.9.'da düşük frekans bölgesindeki verilerin eğimi incelendiğinde özellikle CI50 örneğinden başlayarak $G'-\omega$ grafiğinin eğimin azalarak yatay hale geldiği görülmektedir. Literatürde bu durum reolojik perkolasyon olarak açıklanmaktadır ve bu sonuçlardan yola çıkarak karbonil demir için %50'nin reolojik perkolasyon konsantrasyonu olduğu değerlendirilmiştir.

Kompozit malzemelerin mikro yapılarının anlaşılması için uygulanan frekans testlerindeki modül değerlerinin frekans ile değişiminin incelenmesi önemlidir. Tüm kompozit malzemeler için farklı oranlarda dolgu bulunan örneklerin saklanan modül değeri düşük frekans bölgesinde çok belirgin farklanmanın olduğu görülür, fakat yüksek frekans bölgesinde saklanan modül benzer trendle değişmektedir. Düşük frekans bölgesindeki bu farklanma, kompozit malzeme içerisinde kullanılan dolgu miktarının artması nedeniyle saklanan modül eğrisindeki azalmanın olması şeklinde açıklanmaktadır. Kompozit malzemelerde düşük frekans bölgesinde modül değerinin frekansa bağımlılığı azalmaktadır [63].

Kompozitlerde kullanılan dolgu maddesinin oranının artırılması, dolgu-dolgu arasındaki etkileşimleri arttırmaktadır ve dolgu partikülleri topaklanmış yapılar oluşturmaktadır [64].

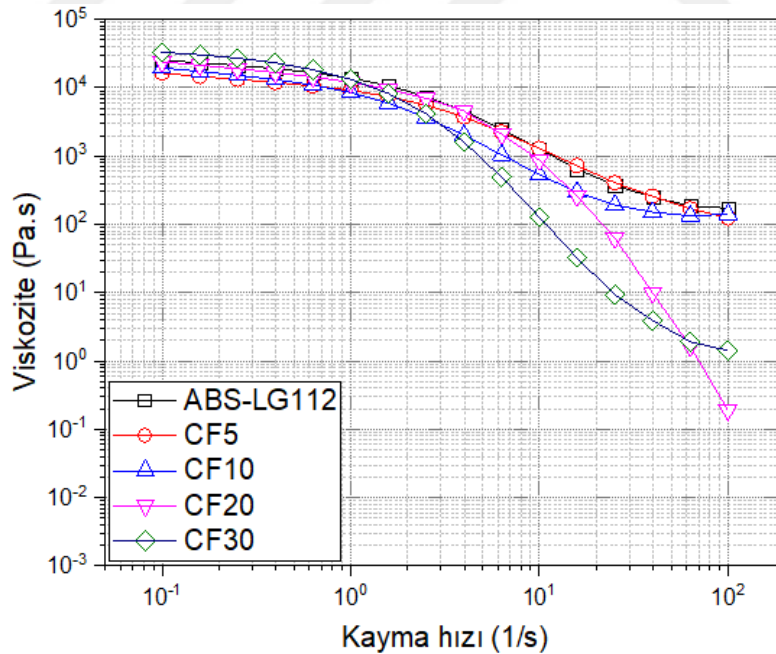
Düşük oranlarda dolgu maddesinin kullanıldığı kompozit malzemelerde CF ve CI serisi kompozitlerinin modül değerlerini karşılaştırdığımızda birbirlerine yakın değerler gösterdiği görülmektedir. SEM görüntülerinde karbon elyafların ABS içinde herhangi bir yığılma ya da topaklaşma yapmadığı ve tek çubuklar halinde homojen bir dağılım gösterdikleri tespit edilmiştir. Ancak karbon elyaf dolgu oranının %30'a yükseltilmesi ile saklanan modül değerinde ciddi ölçüde artış olduğu gözlenmiştir.

Frekans tarama testi, polimer malzemelerin viskoelastik davranışlarının belirlenmesi için kullanılır ve kompleks viskozite değerinin frekans ile değişimini belirlemek için de kullanılabilir. Reolojik perkolasyon bileşimi, dolgu-dolgu ve dolgu-polimer arasındaki etkileşimleri gibi parametreleri hesaplamak için kompleks viskozitenin frekans ile değişiminden yararlanılır.

4.2.3 Kompozitlerin kararlı hal akış testleri

Genel olarak polimer malzemelerin şekillendirilmeleri esnasında meydana gelen viskozite değişimlerinin; bileşim, yapı, sıcaklık ve kayma hızı değişikliklerine bağlı olarak belirlenmesi için kararlı hal akış testi uygulanır. Kararlı hal akış testinin uygulanması sonucu elde edilen veriler ile; dolgu dağılımı, polimer-dolgu arayüzey etkileşim kuvveti, perkolasyon bileşimi gibi fiziksel parametrelerin modellenmesi sağlanabilir. Aynı zamanda enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi yüksek kayma hızlarında çalışan şekillendirme makinelerinde mikro yapı ve viskozite değişimi öngörülebilir.

CF serisi kompozit malzemelerin viskozite değerlerinin kayma hızı ile değişimi Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. CF serisi kompozitlerin viskozite-kayma hızı eğrileri

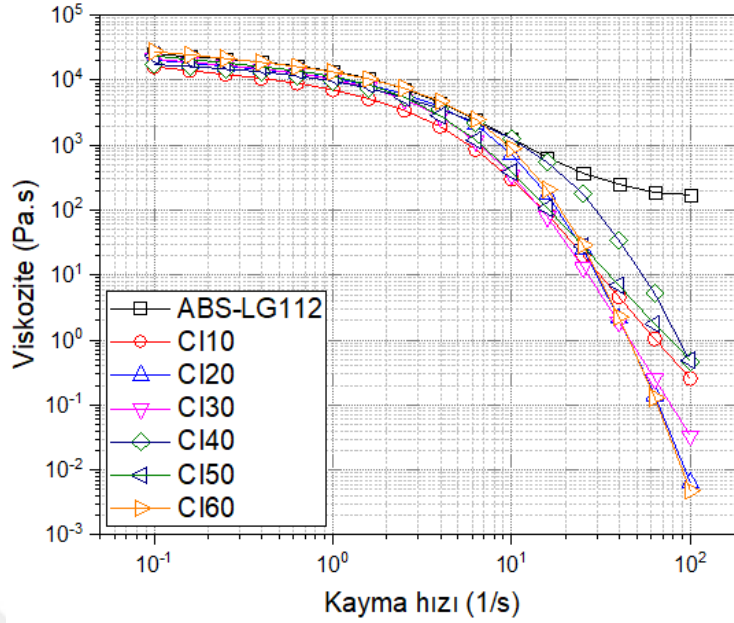
Düşük kayma hızı bölgesinde CF serisi kompozit malzemelerin viskoziteleri incelendiğinde; dolgu oranının artması ile birlikte viskozitelerinin de arttığı

gözlenmiştir. Perkolasyonun viskozitedeki etkisi bu bölgede görülmüştür. Düşük kayma hızı bölgesinde karbon elyaf dolgu oranının sırasıyla artması ile birlikte, viskozite değerlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Düşük kayma hızında, CF20 kompozit malzemesi için viskozitede, CF10 kompozit örneğine kıyasla ani bir artış olduğu gözlenmiştir. Kullanılan dolgu oranının arttırılması ile yani CF30 kompozit örneğinde ise viskozite de ikinci olarak ani bir artış olduğu daha gözlenmiştir. Gözlenen ikinci ani artışın sebebi şu şekilde açıklanabilir; kullanılan karbon elyaf dolguları çubuksu geometriye sahip olmasından dolayı, kompozit malzeme içerisinde yüksek miktarda kullanılması birden fazla noktadan etkileşime geçer ve akışı engelleyici kuvvet oluşturarak viskozitede artışa sebep olabilir.

Kayma hızının artması ile ABS polimerinin ve düşük dolgu oranlarına sahip kompozit malzemelerin viskoziteleri belirli bir kayma hızına kadar sabit kaldığı gözlenmiştir, fakat belirli bir kayma hızından sonra dolgu oranı yüksek olan kompozit malzemelerin viskozitelerinde azalma olduğu görülmüştür.

Kayma hızının artması nedeniyle kritik bir kesme hızı değerinde farklı miktarlarda dolgu maddesi içeren tüm kompozit malzemeler tek bir viskozite değerine gelmiştir. Bu noktadan sonra kompozit malzemelerin davranışları incelendiğinde; davranış sıralamasının kullanılan dolgu miktarı ile ters yönde olduğu görülmüştür. Kritik kesme hızından sonra malzeme akma davranışına geçer. Kritik kesme hızından sonra farklı oranlara sahip kompozit malzemelerin viskozite davranışları incelendiğinde; yüksek oranda dolgu kullanılan CF20 ve CF30 kompozitlerinin dolgu içermeyen ABS polimerine göre viskozite değerleri daha düşüktür. Bunun sebebi ise; dolgu maddesinin polimer faz içerisinde yönelmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

CI serisi kompozit malzemelerin viskozite değerlerinin kayma hızı ile değişimi Şekil 4.12.' de verilmiştir.



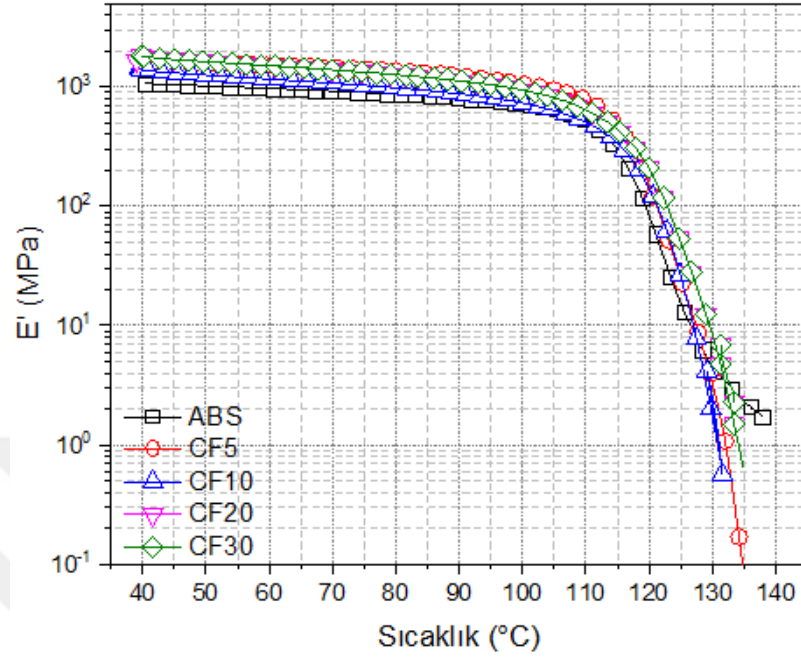
Şekil 4.12. CI serisi kompozitlerin viskozite-kayma hızı eğrileri

CI serisi kompozit malzemelere ait eğriler incelendiğinde; düşük kesme hızında, ABS polimer matrise göre viskozite değerlerinde ciddi bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Şekil 4.12.'de verilen viskozite-kayma hızı eğrisi incelendiğinde; kayma hızının artması ile kompozit örneklerinin viskozite değerlerinde önemli azalmaların olduğu görülmüştür. Bu azalmalar özellikle yüksek oranlarda karbonil demir dolgusu içeren kompozit malzemelerde daha belirgin olduğu görülmektedir.

4.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

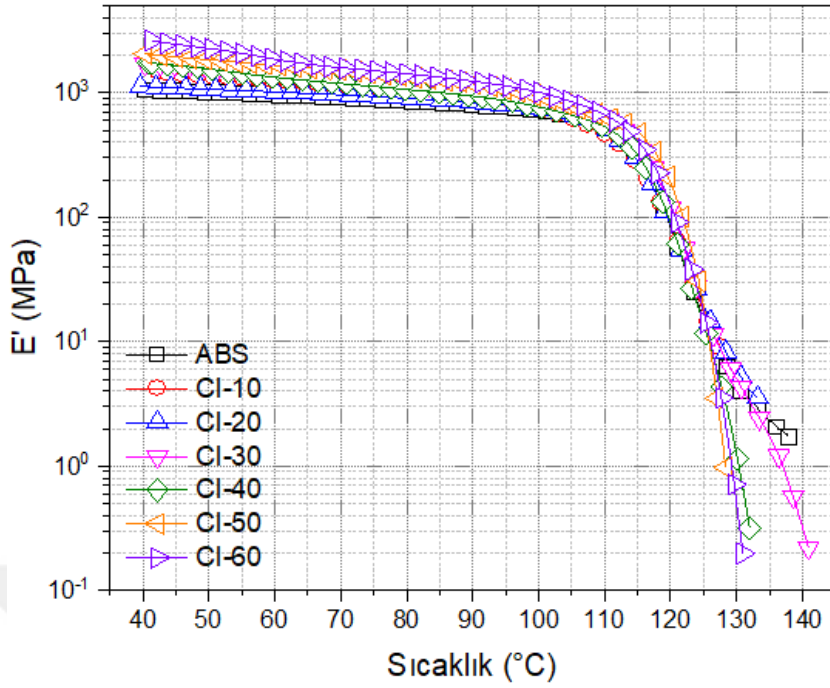
DMA, malzemelerin katı-hal mekanik ve viskoelastik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir analiz yöntemidir. DMA analiz yönteminde; test edilecek örneğe belirli bir sıcaklık aralığında salınımlı bir kuvvet uygulanır. Uygulanan bu kuvvet ile malzemede oluşan geçici deformasyon ve kalıcı deformasyon değerleri analiz edilir. Daha sonra ölçülen deformasyonlardan saklanan modül (E') ve kayıp modül (E'') değerleri hesaplanmaktadır. Saklanan modül (E') deformasyon esnasında malzeme tarafından depolanan enerjiyi göstermektedir. Deformasyon esnasında malzeme içindeki moleküler sürtünmeler gibi sebeplerle ısı olarak kaybolan enerjiyi ise kayıp modül (E'') göstermektedir [65].

Şekil 4.13.'te CF serisi kompozit malzemelerin DMA testleri ile elde edilen saklanan modül (E') değerlerinin sıcaklığa ve dolgu oranına bağlı değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 4.13. CF serisi örneklerin dolgu oranı ve sıcaklığa bağlı olarak E' değerlerinin değişimi

Tüm CF serisi kompozit malzemelerinin saklanan modül (E') değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri Şekil 4.13.'te gösterilmiştir. 30-145 °C sıcaklık aralığındaki bu E' değişimler incelendiğinde; tüm kompozit malzemeleri için E' değerlerinde artan sıcaklıkla azalma görülürken değişimin çok etkili olmadığı dikkat çekmektedir. Ancak 100-110 °C sıcaklığından sonra E' değerlerinde polimer fazın camı geçiş sıcaklığına (T_g) bağlı olarak ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Sonuçlar karbon elyaf takviyesinin ABS fazın T_g üzerine etkisinin olmamakla beraber özellikle %30 karbon elyaf takviyesi ile geniş bir sıcaklık aralığında modül değerlerinde önemli bir artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.14. CI serisi örneklerin dolgu oranı ve sıcaklığa bağlı olarak E' değerlerinin değişimi

Şekil 4.14.'de bütün CI serisi kompozit malzemeleri için saklanan modül (E') değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak 30-115 °C sıcaklıkları arasındaki değişimleri incelendiğinde; bütün kompozit malzemeleri için E' değerlerinde artan sıcaklık ile birlikte bir değişim olmadığı gözlenmiştir, fakat bütün CI kompozit örnekleri için yaklaşık 115 °C sıcaklıktan sonra yine ABS fazın T_g 'ye bağlı olarak önemli bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir.

Saklanan modül (E') değerlerinde azalmanın başladığı bu geçiş bölgesi sıcaklığı polimerlerde segmental hareketliliklerin başlama sıcaklığıdır ve bu sıcaklık " T_g " şeklinde tanımlanmaktadır.

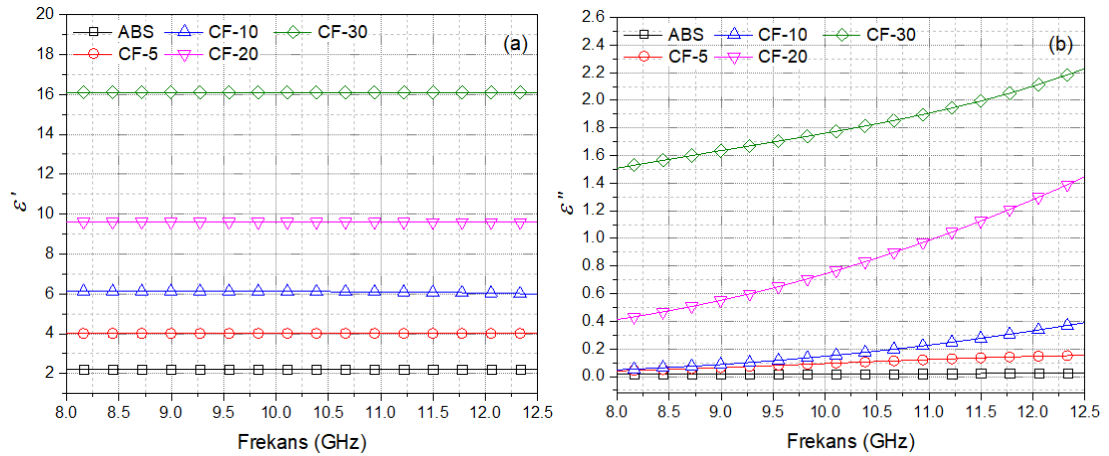
T_g 'den düşük sıcaklık aralığında ($T < T_g$) polimer zincirleri öteleme hareketi gerçekleştiremez ve uygulanan deformasyon kuvvetine karşı yüksek direnç gösterirler. Gösterilen yüksek direnç bu nedenle bu bölgedeki yüksek ve sıcaklıktan bağımsız E' değerlerinin nedenidir. T_g ve daha yüksek sıcaklık ($T > T_g$) bölgesindeki E' değerlerinin hızla azalmasının nedeni ise; polimer zincirlerinin hareketlilik kazanmasından dolayı sıcaklığın artması ile birlikte hareketleri serbest olur ve malzeme de oluşan yumuşama ve düşük deformasyon direncine bağlı olarak gerçekleşmektedir [66].

4.4. Dielektrik Özelliklerin İncelenmesi

Bir malzemenin elektrik bir alana maruz kalması halinde verdiği tepkilerin göstergesi, permitivite (ϵ' , ϵ'')'dir. Permitivite, elektromanyetik kalkanlama ve soğurma performanslarının belirlenmesinde önemli temel bir parametredir. Elektrik alan altında malzeme tarafından depolanan enerjiyi, permitivitenin reel kısmı (ϵ') gösterir. ϵ'' ise elektrik akımın iletilmesi esnasında kaybolan enerjiyi gösterir [49, 67].

Bir malzemenin manyetik alana maruz kalması halinde malzemenin kendi içerisinde manyetik alan oluşturma kapasitesinin göstergesi, permeabilite (μ' , μ'')'dir [49, 67]. Elektromanyetik kalkanlama ve soğurma uygulamaları için permeabilite (μ' , μ'') değerleri de önemli parametrelerdendir. Karbon esaslı malzemelerin manyetik özelliği bulunmamasından dolayı tüm ölçüm aralığında $\mu'=1$, $\mu''=0$ olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle manyetik bileşen içermeyen karbon elyaf dolgulu kompozit malzemelerin dielektrik analizlerinde permeabilite değerleri verilmemiş, yalnızca permitivite değerlerinin yorumları yapılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan dolgu maddelerinden biri olan karbonil demir, manyetik özelliğe sahip olduğu için karbonil demir kullanılan kompozit malzemelerin permitivite ve permeabilite analizlerinin değişimleri yorumlanmıştır.

ABS polimeri ve CF serisi kompozit malzemelerin 8-12.5 GHz arasındaki permitivite (ϵ' , ϵ'') değişimleri Şekil 4.15.(a-b)' de verilmiştir.



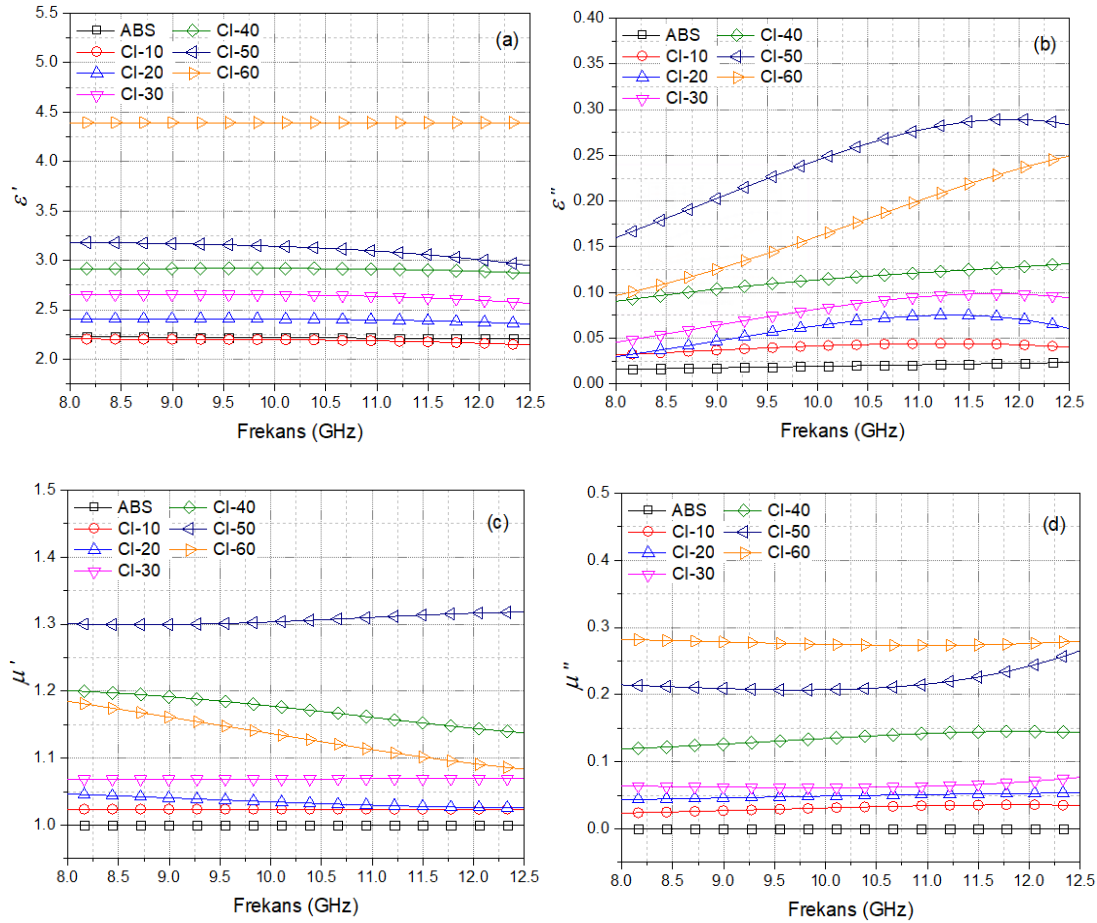
Şekil 4.15. ABS polimerinin ve farklı oranlarda karbon elyaf içeren CF serisi kompozitlerin (a) ϵ' ve (b) ϵ'' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi

CF serisi kompozit malzemelerine ait ϵ' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 4.15.(a)' da ve ϵ'' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 4.15.(b)' de

verilmiştir. Grafikler incelendiğinde; tüm kompozit malzemelerde kullanılan dolgu oranının artması ile ϵ' değerlerinde de artış olduğu gözlenmektedir.

CF serisi kompozitlerde ϵ' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi incelendiğinde; frekansın artmasına bağlı olarak tüm kompozit malzemelerde ciddi ölçüde herhangi bir dalgalanma olmadığı gözlenmiştir. Artan frekansa bağlı olarak; CF20 ve CF30 kompozit örneklerin hem ϵ' hem de ϵ'' değerinde daha etkin bir artış olduğu gözlenmiştir.

ABS polimeri ve CI serisi kompozit malzemelerin 8-12.5 GHz arasındaki permittivite (ϵ' , ϵ'') ve permeabilite (μ' , μ'') değişimleri Şekil 4.16. (a-d)'de verilmiştir.



Şekil 4.16. ABS polimerinin ve farklı oranlarda karbonil demir içeren CI serisi kompozitlerin (a) ϵ' , (b) ϵ'' , (c) μ' ve (d) μ'' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi

CI serisi kompozit malzemelerine ait ϵ' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 4.16. (a)'da ve ϵ'' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 4.16. (b)'de

verilmiştir ve grafikler incelendiğinde; kompozit malzeme serilerinde dolgu oranının artışı ile ϵ' değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

CI serisi kompozitlerde ϵ' değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi incelendiğinde; frekansın artmasına bağlı olarak tüm kompozit malzemelerde ciddi ölçüde herhangi bir dalgalanma olmadığı gözlenmiştir.

Şekil 4.16. (b)' de verilen ϵ'' değerlerinin değişimi incelendiğinde; CI10, CI20, CI30, CI40, CI50 kompozit malzeme serilerinde dolgu oranının artışı ile ϵ'' değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Ancak, 8-12.5 GHz frekansı uygulanması esnasında CI60 kompozit malzemenin ϵ'' değeri, CI50 kompozit malzemenin ϵ'' değerine göre düşüktür. Artan frekansa bağlı olarak; CI50 ve CI60 kompozit örneklerin ϵ'' değerinde artış olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.16. (c) ve Şekil 4.16. (d)'de grafikler incelendiğinde; manyetik enerjinin depolanmasının göstergesi olan μ' ve manyetik enerjinin sürtünme hareketlerinden kaynaklı ısı enerjisine dönüşmesinin göstergesi olan μ'' değerlerinin karbonil demir dolgu oranına bağlı olarak değişimleri verilmiştir ve dolgu oranının artması ile birlikte genel olarak permeabilite (μ' , μ'') değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Ancak, Şekil 4.16. (c)'de verilen grafik detaylı incelendiğinde; CI60 kompozit malzemenin μ' değeri, CI40 ve CI50 kompozit malzemelerin μ' değerlerine göre düşüktür. Ayrıca; artan frekansa bağlı olarak CI10, CI20, CI30, CI40 ve CI50 kompozit malzemelerin μ' değerlerinde ciddi azalmalar olmadığı görülürken, CI60 kompozit malzemenin μ' değerlerinde azalmalar olduğu görülmektedir. Şekil 4.16. (d)' de verilen grafik detaylı olarak incelendiğinde; μ'' değerleri, karbonil demir oranının artışına göre artış göstermiştir ve artan frekansa bağlı olarak CI serisi kompozit malzemelerin μ'' değerlerinde ciddi ölçüde bir dalgalanma olmadığı görülmüştür.

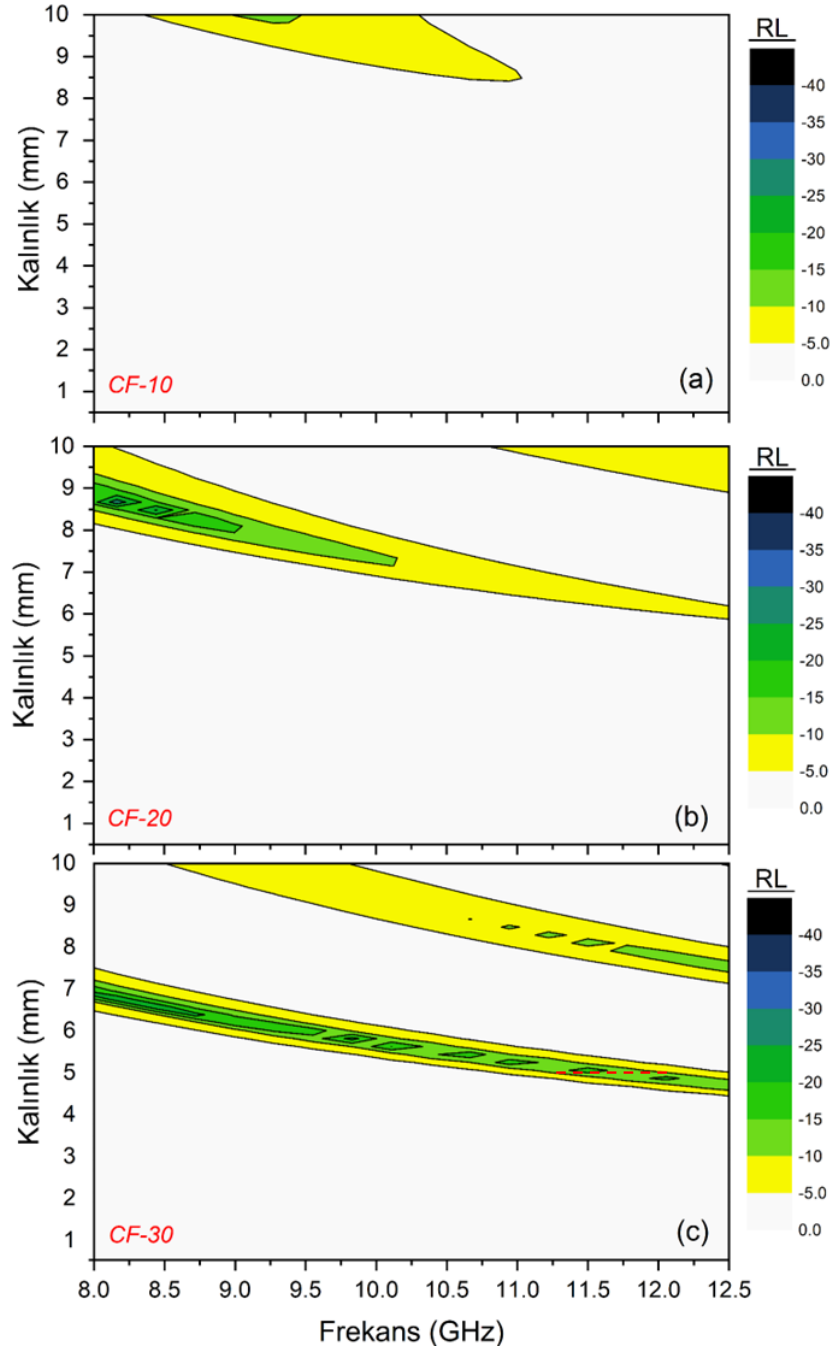
4.5. Yansıma Kaybı (RL) Analizleri

Bu tez çalışmasında karbon elyaf ve karbonil demir dolgu maddeleri farklı oranlarda kullanılarak RL değerleri hesaplanmıştır. En yüksek performans gösteren dolgulu kompozitin ve kalınlık değerinin belirlenmesi için ilk olarak her örnek serisindeki en yüksek performans gösteren örnek belirlenmiş ve sonrasında bu örneğin farklı kalınlıklardaki RL değerleri incelenerek en yüksek performans için gerekli kalınlık değerleri incelenmiştir.

Hazırlanan örneklerin, örnek kalınlığına ve uygulanan frekansa göre değişen RL değerleri Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda sadece değerlendirmeye değer soğurma görülen örneklerin sonuçları verilmiştir. Grafiklerde görülen beyaz kısımlar 0-(-5) dB arası etkisiz soğurmanın gerçekleştiği alanları gösterir, sarı kısımlar -5-(-10) dB aralığını, yeşil tonlar ise <-10 dB aralığını (etkin absorplama aralığı, EAA olarak tanımlanmaktadır) göstermektedir.

Dış hat grafiklerinin verildiği kısımlarda; EAA'nın daha net gözlemlenebilmesi amacıyla <-10 dB aralığı yeşil ve tonları renklerle belirtilmiştir. Grafiklerde özellikle hedef frekans aralığındaki en etkili olarak kabul edilen örnekler yeşil renkle gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında, tek bir kalınlık değerinde X-band aralığının tamamında EAA için açık yeşil, HPAA için ise koyu yeşil rengin görülmesi gerekmektedir.

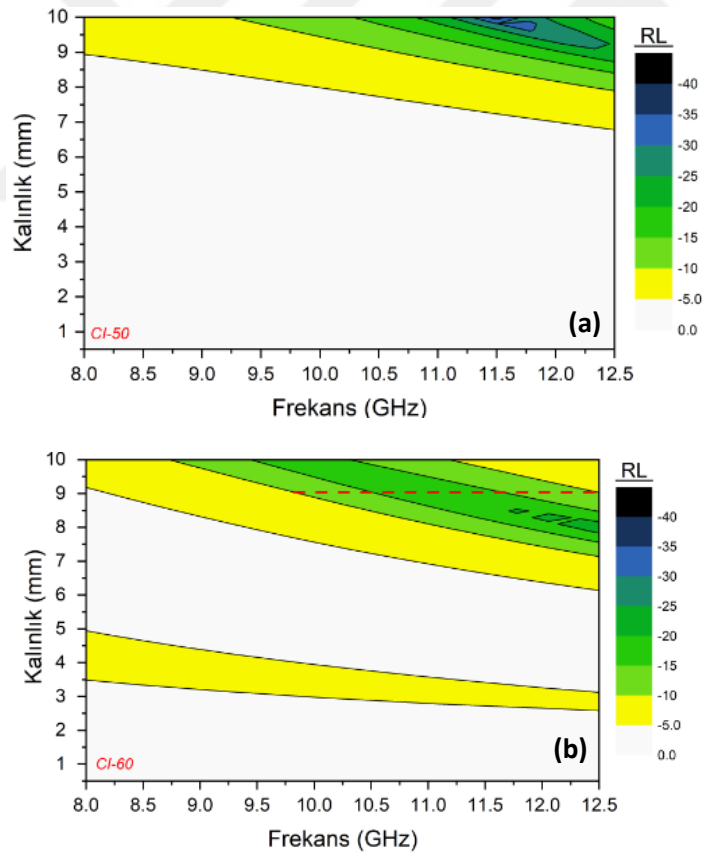


Şekil 4.17. (a) CF10, (b) CF20 ve (c) CF30 örneklerine ait kalınlık-frekans sonuçlarını içeren dış hat grafiği

Şekil 4.17. (a-c)'de verilen CF10, CF20 ve CF30 örneklerine ait grafikler incelendiğinde; %20 ve %30 oranında karbon elyaf (CF) içeren örnekler için kabul edilebilir RL değerlerinin elde edilebildiği görülmektedir. Dolgu oranının azalması ile iletkenliğin artmasına bağlı olarak RL değerlerinin sıfıra yakınlaştığı görülmektedir.

Karbon elyaf oranının %30 olması ile elde edilen CF30 kompozit örneğinin 8-12.5 GHz arasında farklı kalınlıklarda -10 dB'den daha küçük RL değerlerinin elde edilebileceği görülmektedir. CF30 örneği; 8-12.5 GHz frekans aralığının tamamına yakınında yeşil renkler görülmektedir. 6.5 mm kalınlığındaki CF30 örneğiyle 8.0-8.5 GHz aralığında HPAA'nın sağlanabildiği görülmektedir. Şekil 4.17. (c)'de kırmızı çizgiyle gösterildiği gibi en geniş EAA'nın 5 mm kalınlıktaki CF30 örnekle 11.25-12.1 GHz arasında sağlanabildiği görülmüştür.

En çok yeşil alanların görüldüğü CF20 ve CF30 kompozit örneklerine ait grafikler değerlendirildiğinde; CF20 kompozit örneğinin 8-8.5 GHz frekans seviyelerinde 8 mm'den daha yüksek kalınlıklarda kabul edilebilir bir soğurma gerçekleştirebileceği görülürken, yaklaşık 6.5 mm kalınlığındaki CF30 örneği ile tez kapsamında hedef olarak belirlenen X-band aralığında etkin olarak kabul edilebilecek bir soğurmanın gerçekleştirilebileceği görülmektedir.



Şekil 4.18. (a) CI50, (b) CI60 örneklerine ait kalınlık-frekans sonuçlarını içeren dış hat grafiği

Şekil 4.18. (a-b)'de verilen CI50 ve CI60 kompozit örneklerine ait grafikler incelendiğinde; CI50 örneğinin 9.3-12.5 frekans aralığında ve CI60 örneğinin 8.75-12.5 GHz frekans aralığının tamamında yeşil renkler görülmektedir. 9.5 mm kalınlığındaki CI50 örneğiyle 11.5-12.5 GHz aralığında HPAA'nın sağlanabildiği görülmektedir. En geniş EAA'nın Şekil 4.18. (b)'de kırmızı çizgiyle gösterildiği gibi 9 mm kalınlıktaki CI60 örnekle 9.7-12.5 GHz arasında sağlanabildiği görülmüştür.

CI50 kompozit örneğinin 11.5 GHz frekans seviyelerinde 9 mm'den daha yüksek kalınlıklarda kabul edilebilir bir soğurma gerçekleştirebileceği görülürken, yaklaşık 8.3 mm kalınlığındaki CI60 örneği ile tez kapsamında hedef olarak belirlenen X-band aralığında etkin olarak kabul edilebilecek bir soğurmanın gerçekleştirebileceği görülmektedir.

Her iki seride özellikle X-band aralığında en iyi sonuçların elde edildiği, en geniş absorplama aralıklarının elde edildiği CF30 ve CI60 örneklerin dış hat grafikleri karşılaştırılmalı olarak incelendiğinde; CI60 örneğinin yüksek dolgu oranı (%60) ve malzeme kalınlığı (>8 mm) gerektirmesi nedeniyle en kötü performansı sergilediği görülmektedir. Daha iyi sonuçların elde edildiği yine X-band aralığında CF30 örneğinin, %30 dolgu oranı ile ve daha düşük kalınlıklarda (<7 mm) daha geniş bir EAA'ya sahip olduğu ve 12.5 GHz değerine kadar <-10 dB şartını sağlayabileceği görülmektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, kompozit malzemelerde kullanılan karbon elyaf ve karbonil demir dolguların farklı dağılım gösterdikleri gözlenmiştir. Bunun nedeni ise; karbon elyaf ve karbonil demir dolgularının geometrik yapısı ve fiziksel özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

%10 ve %30 oranında karbon elyaf içeren kompozit malzemelerin SEM görüntülerinde herhangi bir topaklanma olmadığı ve benzer davranışlar gösterdiği gözlenmiştir. %30 ve %60 oranında karbonil demir içeren malzemelerin SEM görüntülerinde; %30 karbonil demir içeren malzemenin daha iyi bir dağılım gösterirken, %60 oranında karbonil demir içeren malzemelerde belirli noktalarda küçük topaklanmalar olduğu gözlenmiştir.

Hazırlanan kompozitlerin reolojik testlerinden, kompozitlerin saklanan modül (G'), kayıp modül (G''), perkolasyon değerleri belirlenmiştir. Kompozitlerde dolgu oranının artması ile bütün kompozit malzemeler için saklanan modülün (G') dolgu oranının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Kompozitlerin frekans testlerinde; CF serisi kompozitlerinde %30 oranında karbon elyaf kullanıldığında ve ω arttıkça G' ve G'' değerlerinin 10^5 MPa üzerinde değerler çıktığı gözlenmiştir. CI serisi kompozitlerde ise kullanılan dolgu oranına bağlı olmaksızın ω arttıkça G' ve G'' değerlerinin 10^5 MPa değerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir bundan dolayı karbon elyafın reolojik özellikler üzerinde daha fazla etkili olduğu düşünülmektedir.

Kompozitlerin kararlı akış testlerinde; bütün kompozit malzemelerde kayma hızının artmasına bağlı olarak non-lineer davranışa geçildikçe, bütün numunelerin viskozite değerlerinde azalma olduğu ve bu viskozite düşüşünün dolgu miktarının yüksek olduğu kompozit malzemelerde daha çok olduğu gözlenmiştir. Dolgu oranlarının yüksek olmasından kaynaklanan bu hızlı azalmanın sebebi; karbonil demir dolgusu içeren CI serisi kompozit malzemelere uygulanan kayma hızı ile topaklanmış karbonil demir taneciklerinin dağılmasıdır, CF kompozit malzemeler için dolgunun uygulanan kayma hızı yönündeki oryantasyonu şeklinde düşünülmüştür.

Hazırlanan kompozitlerin DMA testlerinde; CF serisi kompozit örnekler için E' değerlerinde artan sıcaklıkla yaklaşık 100-110 °C 'ye kadar önemli bir değişim

olmazken, bu sıcaklıktan sonra önemli bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir. CF serisi kompozitlerin T_g yaklaşık 100-110 °C civarında olduğu görülmektedir. CI serisi kompozit örnekler için E' değerlerinde artan sıcaklık ile birlikte bir değişim olmadığı gözlemlenirken bütün CI kompozit örnekleri için yaklaşık 115 °C sıcaklıktan sonra önemli bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir. CI serisi kompozitlerin T_g yaklaşık 115 °C civarında olduğu görülmektedir.

Farklı dolgu tiplerinin ϵ' üzerine etkisinin karşılaştırılması amacıyla %30 oranında dolgu içeren kompozit örneklerin 10 GHz frekans değerindeki ϵ' değerleri karşılaştırıldığında CF30 için 16, CI30 için 2.65 değerlerinin elde edildiği görülmektedir ve bu nedenle CF dolgusunun CI dolgusuna göre daha etkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Kullanılan dolgu tipine bağlı olarak ϵ'' değerlerinin karşılaştırılması amacıyla %30 oranında dolgu içeren kompozit örneklerin 10 GHz frekans değerindeki ϵ'' değerleri; CF30 için 1.65, CI30 için 0.08 şeklindedir. Her iki permitivite (ϵ' , ϵ'') değeri için maksimum değerlerin; yüksek oranda kompozit malzemenin yapısına katılabilen ve dolgunun mikro-yapısal özelliğine bağlı olarak %30 oranında karbon elyaf içeren CF30 kompozit malzemesi ile elde edilebildiği görülmüştür.

Hazırlanan kompozit örneklerin RL performansları incelendiğinde; 8-12.5 frekans aralığında CF30 kompozit örneğinin 5mm ve 7mm kalınlıklar arasında -10 dB'den daha küçük RL değerlerinin elde edildiği görülmüştür. En geniş EAA'nın 5 mm kalınlıktaki örnekle 11.25-12.1 GHz arasında sağlanabildiği görülmüştür. 8.75 -12.5 frekans aralığında CI60 kompozit örneğinin 7mm ve 10mm kalınlıklar arasında -10 dB'den daha küçük RL değerlerinin elde edildiği görülmüştür. En geniş EAA'nın 9 mm kalınlıktaki örnekle 9.7-12.5 GHz arasında sağlanabildiği görülmüştür.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada; ABS ile CF ve CI dolguları kullanılarak kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mikroyapı özellikleri, reolojik özellikleri ve elektromanyetik dalga soğurma özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen malzemelere karşı bağlı olarak bazı gözlemler, sorunlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- 1) CF ile hazırlanan %5, %10, %20 ve %30 oranlarındaki karışımlarında en ideal karışımın %30 olduğu gözlemlenmiştir. Reolojik perkolasyonun ve

elektromanyetik dalga soğurma özelliklerinin karşılandığı en iyi karışım olduğu sonucuna varılabilir.

- 2) CI ile hazırlanan %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarındaki karışımların en ideal olanları; %50 ve %60 oranlarındaki karışımların reolojik perkolasyonun ve elektromanyetik dalga soğurma özelliklerinin karşılandığı karışımlar olsa dahi, CI ile hazırlanan karışımların CF ile hazırlanan karışımlara göre reolojik ve elektromanyetik dalga soğurma özelliklerinin daha yetersiz olduğu söylenebilir.
- 3) Reolojik perkolasyon CF için %30 oranında sağlanırken, CI için %50 ve %60 oranlarında sağlanmıştır. CF için daha düşük dolgu oranlarında reolojik perkolasyonun sağlanması karbon elyaf yapılarının çubuksu bir yapıda olmasından dolayı perkolasyonun daha kolay oluşmasını sağlamıştır.
- 4) Elektromanyetik dalga soğurma özelliklerinin en iyi %30 CF ve %60 CI kompozitlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, reolojik perkolasyon ile elektromanyetik dalga soğurma özellikleri birbiri ile ilişkilendirilebilir. Bunun sebebi ise; %30 CF ve %60 CI dolgularının kullanılması ile dolguların birbiri ile etkileşime geçerek reolojik perkolasyonun sağlanmasına ve buna bağlı olarak elektromanyetik dalga soğurma özelliğinin gerçekleşmesi için yeterlidir.
- 5) CF ve ABS ile hazırlanan kompozitler için %30 oranının üzerinde CF kompozitler denenerek reolojik özellikler ve elektromanyetik dalga soğurma özelliklerindeki değişimler ileriki çalışmalarda gözlenebilir.
- 6) CI ve ABS ile hazırlanan kompozitler için ise CI'nın yanında kullanılabilecek farklı katkılar veya dolgular ile reolojik özellikleri ve elektromanyetik dalga soğurma özelliklerindeki iyileşmeler gözlemlenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Kasgoz A., 2017, Elektromanyetik Dalga Kalkanlama Özelliğine Sahip Polimer Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Yapı Performans İlişkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [2] Aydın Z., 2007, İletken Poli(Etilen Teraftalat)/Polipirol Kompozit Liflerinin Kimyasal Polimerizasyonla Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Yurdakul K., 2011, Kalsiyum Karbonat Dolgulu Polietilen Filmlerin Hazırlanması ve Geçirgenlik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [4] Kasgoz A., 2012, Karbon Dolgulu Siklo-Olefin Kopolimer (COC) Kompozitlerinin Reolojik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [5] Saçak M., 2010, *Polimer Kimyası*, Gazi Kitabevi, Ankara, ;ISBN9789758640270
- [6] Örs S., 2014, Farklı Karbon Tekstilleriyle ve Reçinelerle Oluşturulan Karbon Kompozitlerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [7] Chung, D.D.L., 1994, *Carbon Fiber Composites*, p. 3-13, Butterworth-Heinemann, Massachusetts
- [8] D.R. Askeland, 1989 *The Science and Engineering of Materials*, 2d ed. PWS-Kent,s.591
- [9] Ersoy M.S., 2005, Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [10] Ocholo, R.O., Marcus, K., Nurick, G.N., Franz, T., 2004, Mechanical behaviour of glass and carbon fibre reinforced composites at varying strain rates. *Composite Structures* 63: 455–467.

- [11] Bhadra. S., 2009, Progress in preparation, processing and applications of polyaniline, *Progress in Polymer Science* 34, 783–810
- [12] Wang L.X., 2001, Preparation, properties and applications of polypyrroles, *Reactive & Functional Polymers* 47, 125–139
- [13] Carlos A. Fortulan, Dulcina P.F. De Souza, 1999, Microstructural Evolution of the Al₂O₃-ZrO₂ Composite and its Correlation with Electrical Conductivity, *Materials Research*, vol.2 n.3 São Carlos July
- [14] Arıcasoy O., Kompozit sektör raporu, 2006, İstanbul Ticaret Odası
- [15] Çatak K., 2016, Fonksiyonlanmış ve Silanlanmış Karbon Elyaf Takviyeli Poliamid Kompozitlerin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [16] Mazumdar, S., K., “*Composites Manufacturing - Materials, Product, and Process Engineering*”, CRC Press, 20-73, (2002).
- [17] Baird, D., G., “*Encyclopedia of Physical Science and Technology*”, Third Edition, Elsevier Science Ltd., 621-640, (2001).
- [18] Todd, D., B., “*Functional Fillers for Plastics*”, Xanthos, M., Wiley-VCH Verlag GmbH&Co KGaA, 1-16, 39-55, (2005).
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbonyl_iron (2022)
- [20] P. Whittaker, S.F. Ali, S.Z. Imam, and V.C. Dunkel, 2002, Acute Toxicity of Carbonyl Iron and Sodium Iron EDTA Compared with Ferrous Sulfate in Young Rats
- [21] Saçak M., 2010, Geleceğin yeni iletken malzemeleri iletken polimerler, *TÜBİTAK Bilim-Teknik Dergisi*, sayı:507.
- [22] Bulguru A., 2014, Akrilonitril Butadien Stiren (ABS) Yüzey Aktivasyon Teknikleri ve Elektrokimyasal Metal Kaplama, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- [23] Can C., Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 144, 2008.
- [24] Huang, C.Y., Mo, W.W., 2002, The effect of attached fragments on dense layer of electroless Ni/P deposition on the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon fibre/acrylonitrile-butadiene-styrene composites, *Surface and Coatings Technology* 154, 55–62, 2002.
- [25] <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/akrilonitril-butadienstiren-abs-abs.html>
- [26] Baş B.A., 2012, Grafit Katkılı Polipropilen Kompozitlerin Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [27] Yılmaz R., 2007, Viskoz Malzemelerin Akışı ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [28] Schramm G., *A practical approach to rheology and rheometry* 2.baskı, Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe
- [29] Yazan Y. Reoloji ve kozmetolojideki yeri, Anadolu Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Teknoloji AD, Kozmetoloji BD, Bsk.,
- [30] Durmuş, A., 2006, Poliolefin nanokompozitlerin hazırlaması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [31] Vilcakova, J., 2000, Electrical Percolation Threshold of Composite Materials, Thesis (PhD), BRNO University of Technology, Czech Republic.
- [32] Zheng Q. 2008, Electrical Conductivity and Rheological Behavior of Multiphase Polymer Composites Containing Conducting Carbon Black, *Polymer Engineering and Science*, DOI 10.1002/pen
- [33] Köksal, A., 2012, *Mühendislik Elektromanyetiğinin Temelleri*, Palme Yayıncılık, Ankara.

- [34] Tong XC., 2016, *Advanced materials and design for electromagnetic interference shielding*, CRC press.
- [35] Balberg, I., 2002, A comprehensive picture of the electrical phenomena in carbon black polymer composites, *Carbon*, 40 (2), 139-143.
- [36] Wu, G., Asai, S., Zhang, C., Miura, T., Sumita, M., 2000, A delay of percolation time in carbon-black-filled conductive polymer composites, *Journal of applied physics*, 88 (3), 1480-1487.
- [37] Akin, D., Kasgoz, A., Durmus, A., 2014, Quantifying microstructure, electrical and mechanical properties of carbon fiber and expanded graphite filled cyclic olefin copolymer composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 60, 44-51.
- [38] Kasgoz, A., Akin, D., Durmus, A., 2014, Rheological and electrical properties of carbon black and carbon fiber filled cyclic olefin copolymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 62, 113-120.
- [39] Celzard, A., McRae, E., Deleuze, C., Dufort, M., Furdin, G., Marêché, J., 1996, Critical concentration in percolating systems containing a high-aspect-ratio filler. *Physical Review B*, 53 (10), 6209.
- [40] Munson-McGee, SH., 1991, Estimation of the critical concentration in an anisotropic percolation network, *Physical Review B*, 43 (4), 3331.
- [41] Huang, Y-L., Yuen, S-M., Ma, C-CM., Chuang, C-Y., Yu, K-C., Teng, C-C., 2009, Morphological, electrical, electromagnetic interference (EMI) shielding, and tribological properties of functionalized multi-walled carbon nanotube/polymethyl methacrylate (PMMA) composites, *Composites Science and Technology*, 69 (11), 1991-1996.
- [42] Li, N., Huang, Y., Du, F., He, X., Lin, X., Gao, H., 2006, Electromagnetic interference (EMI) shielding of single-walled carbon nanotube epoxy composites, *Nano letters*, 6 (6), 1141-1145.

- [43] Geetha, S., Satheesh, K., Rao, CR., Vijayan, M., Trivedi, D., 2009, EMI shielding: Methods and materials—A review, *Journal of applied polymer science*, 112 (4), 2073-2086.
- [44] Keysight Technologies, 2015, Keysight Technologies Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials.
- [45] Barton, DK., Leonov, SA., 1998, *Radar technology encyclopedia: Artech house*.
- [46] Sambyal, P., Singh, AP., Verma, M., Farukh, M., Singh, BP., Dhawan, S., 2014, Tailored polyaniline/barium strontium titanate/expanded graphite multiphase composite for efficient radar absorption. *RSC Advances*, 4 (24), 12614-12624.
- [47] Lakshmi, K., John, H., Mathew, K., Joseph, R., George, K., 2009, Microwave absorption, reflection and EMI shielding of PU–PANI composite, *Acta Materialia*, 57 (2), 371-375.
- [48] Saville, P., 2005, Review of Radar Absorbing Materials, *Defence R&D*, Canada – Atlantic, 2015-3.
- [49] Nanni, F., Travaglia, P., Valentini, M., 2009, Effect of carbon nanofibres dispersion on the microwave absorbing properties of CNF/epoxy composites, *Composites Science And Technology*, 69 (3), 485-490.
- [50] De Rosa, IM., Dinescu, A., Sarasini, F., Sarto, MS., Tamburrano, A., 2010, Effect of short carbon fibers and MWCNTs on microwave absorbing properties of polyester composites containing nickel-coated carbon fibers, *Composites Science and Technology*, 70 (1), 102-109.
- [51] Micheli, D., Apollo, C., Pastore, R., Marchetti, M., 2010, X-Band microwave characterization of carbon-based nanocomposite material, absorption capability comparison and RAS design simulation, *Composites Science and Technology*, 70 (2), 400-409.
- [52] Yusoff, AN., Abdullah, M., Ahmad, S., Jusoh, S., Mansor, A., Hamid, S., 2002, Electromagnetic and absorption properties of some microwave absorbers, *Journal of Applied Physics*, 92 (2), 876-882.

- [53] Cui, C., Du, Y., Li, T., Zheng, X., Wang, X., Han, X., 2012, Synthesis of electromagnetic functionalized Fe₃O₄ microspheres/polyaniline composites by two-step oxidative polymerization, *The Journal of Physical Chemistry B*, 116 (31), 9523-9531.
- [54] Abbas, S., Dixit, A., Chatterjee, R., Goel, T., 2007, Complex permittivity, complex permeability and microwave absorption properties of ferrite–polymer composites, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 309 (1), 20-24.
- [55] Yang, C., Gung, Y., Hung, W., Ting, T., Wu, K., 2010, Infrared and microwave absorbing properties of BaTiO₃/polyaniline and BaFe₁₂O₁₉/polyaniline composites, *Composites Science and Technology*, 70 (3), 466-471.
- [56] Zhao, H., Sun, X., Mao, C., Du, J., 2009, Preparation and microwave-absorbing properties of NiFe₂O₄-polystyrene composites, *Physica B: Condensed Matter*, 404 (1), 69-72.
- [57] Bueno, A.R., Gregori, M.L., Nóbrega, M.C., 2008, Microwave-absorbing properties of Ni_{0.50-x}Zn_{0.50-x}Me_{2-x}Fe₂O₄ (Me= Cu, Mn, Mg) ferrite–wax composite in Xband frequencies, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 320 (6), 864-870.
- [58] Kim, J-B., Lee, S-K., Kim, C-G., 2008, Comparison study on the effect of carbon nano materials for single-layer microwave absorbers in X-band, *Composites Science and Technology*, 68 (14), 2909-2916.
- [59] Zhao, D-L, Li, X., Shen, Z-M., 2008, Electromagnetic and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes filled with Ag nanowires, *Materials Science and Engineering: B*, 150 (2), 105-110.
- [60] Liu, Z., Bai, G., Huang, Y., Li, F., Ma, Y., Guo, T., 2007, Microwave absorption of singlewalled carbon nanotubes/soluble cross-linked polyurethane composites, *The Journal of Physical Chemistry C*, 111 (37), 13696-13700
- [61] Yang, R-B., Liang, W-F., 2011, Microwave properties of high-aspect-ratio carbonyl iron/epoxy absorbers, *Journal of Applied Physics*, 109 (7), 07A311

- [62] Barnes, H.A., Hutton, J.F., Walters, K., 1996, *An Introduction to Rheology*, 4th. Ed., Elsevier, Amsterdam, ISBN:0-444-87140-3.
- [63] Abdel-Goad M., Potschke P., Zhou D., Mark J. E., G. Heinrich, 2007, Preparation and Rheological Characterization of Polymer Nanocomposites Based on Expanded Graphite, *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry* 44, 591-598
- [64] Shih, W.H., Shih, Y., Kim, S.I., Aksay, A.I., 1990, Scaling behavior of the elastic properties of colloidal gels, *Physical Review: A*, 42, 4772-4779
- [65] Menard, KP., 2008 *Dynamic mechanical analysis: a practical introduction*, CRC press.
- [66] Iqbal, A., Frommann, L., Saleem, A., Ishaq, M., 2007, The effect of filler concentration on the electrical, thermal, and mechanical properties of carbon particle and carbon fiber-reinforced poly (styrene-co-acrylonitrile) composites, *Polymer Composites*, 28 (2), 186-197.
- [67] Esfahani, AS., Katbab, A., Dehkhoda, P., Karami, H., Barikani, M., Sadeghi, S., 2012, Preparation and characterization of foamed polyurethane/silicone rubber/graphite nanocomposite as radio frequency wave absorbing material: the role of interfacial compatibilization, *Composites Science and Technology*, 72 (3), 382-389.



ÖZGEÇMİŞ

Nazlıcan AKÇAY, Bursa Cem Sultan Lisesi'nden 2012 yılında mezun oldu. 2019 yılında Yalova Üniversitesi Polimer Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2019 yılında Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı programında yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılından beri plastik sektöründe çalışmaktadır. Halen özel bir firmada AR-GE & İnovasyon Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Nazlıcan AKÇAY, Doç. Dr. Alper KAŞGÖZ, Karbonil Demir ve Karbon Elyaf İçeren ABS Kompozitlerinin Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi, 10. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi.