

**MODİFİYE EDİLMİŞ BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYOKOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Elif Sena GÜL

Danışman: Prof. Dr. Hamit AKBULUT

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MODİFİYE EDİLMİŞ BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYOKOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

(Production and Characterization of Biocomposite Materials from Modified Vegetable Oils)

Elif Sena GÜL

Danışman: Prof. Dr. Hamit AKBULUT

Erzurum
OCAK, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Prof. Dr. Hamit AKBULUT danışmanlığında, Elif Sena GÜL tarafından hazırlanan “Modifiye Edilmiş Bitkisel Yağlardan Biyokompozit Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu” başlıklı çalışması 30 /01/ 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mekanik Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof.Dr.Hamit AKBULUT Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Başkanı:	Prof.Dr.Ömer GÜNDOĞDU Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof.Dr.Murat DEMİR AYDIN Erzurum Teknik Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

T.C.

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Tezi olarak *Prof.Dr. Hamit AKBULUT* danışmanlığında sunulan “Modifiye Edilmiş Bitkisel Yağlardan Biyokompozit Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	24	30
Materyal ve Metot	27	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	0	20
Sonuçlar	0	20
Tezin Geneli	17	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5’den büyük olmaması gerekir

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Elif Sena GÜL	Prof.Dr. Hamit AKBULUT
30.1.2023	30.1.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisansa başladığım günden beri desteğini eksiltmeyen hem akademisyen hem de mühendis olarak örnek aldığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Hamit AKBULUT'a içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Her zaman yanımda olup beni destekleyen ve beni çok iyi yetiştiren sevgili annem Hatice GÜL'e ve babam Ahmet GÜL'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu mesleği seçmemde katkı sağlayan, mühendis olarak her daim örnek aldığım ve desteğini bir an olsun esirgemeyen sevgili eniştem Muhammet AYDIN'a, ablam Ulviye AYDIN'a sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisansa başladığım günden beri desteklerini esirgemeyen canım arkadaşım Didem TAŞÇI'ya da teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MODİFİYE EDİLMİŞ BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYOKOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ELİF SENA GÜL

Danışman: Prof. Dr. Hamit AKBULUT

Amaç: Çalışma kapsamında, modifiye edilmiş kanola yağı kullanarak üç farklı takviye malzemesiyle yüksek mukavemetli ve çevre ile uyumlu biyokompozit malzemelerin üretimi yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında; yapı sektöründe, otomotiv, tekstil, havacılık gibi birçok alanda kullanılabilecek çevre ile uyumlu biyokompozit malzemeler üretilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Üretilen biyokompozitlerin, mekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Piknometre cihazı kullanılarak, yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Elde edilen kompozitin sertliği, Shore D cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı ile ısı iletkenlik katsayısının ölçümü yapılmıştır. Çekme cihazı ile çekme deneyi, biyokompozitler üzerinde gerçekleştirilerek elastisite modülü belirlenmiştir. Biyokompozitlerin, ölçülen yoğunlukları yardımıyla, gözeneklilik hesaplaması yapılmıştır. Ayrıca, kimyasal bağ yapısını belirlemek için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), yüzey morfolojisi mikroskopik olarak incelemek için taramalı elektron mikroskopi (SEM) ve sıcaklıkla kütle değişimini incelemek için termogravimetrik analiz (TGA) cihazları kullanılmıştır.

Bulgular: SEM görüntülerinden, yüzey morfolojisi en iyi olan sonuç silisyum karbür (SiC) takviyeli biyokompozit ile elde edilmiştir. TGA yöntemi ile termal kararlılığı incelenen biyokompozitlerden sıcaklığa en dirençli malzemenin SiC takviyeli biyokompozit olduğu katkılı biyokompozitlerin Shore D sertlik değerleri incelendiğinde, en iyi sertlik değerinin SiC katkılı biyokompozitte gerçekleştiği görülmüştür. Biyokompozitlerden en düşük yoğunluk değeri CNT katkılı malzeme ile sağlanmıştır. Benzer şekilde gözeneklilik testinin en iyi sonucu SiC takviyeli biyokompozitte gerçekleşmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı en yüksek değer Grafen nanopartikül (GNP) katkılı biyokompozitte elde edilmiştir. Çekme testi sonucunda en iyi dayanım GNP katkılı biyokompozitte görülmüştür. Üç farklı biyokompozitin elastisite modülü değerleri incelendiğinde en iyi elastisite modülünün GNP katkılı biyokompozitte gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Sonuç: Sonuçlardan üç farklı nanopartikül kullanılarak üretilen biyokompozit malzemelerden en kullanılabilir yapıda olanın SiC takviyeli biyokompozit olduğu anlaşılmaktadır. Düşük yoğunluklu kompozit malzeme üretiminde CNT ön plana çıkmaktadır. Mekanik özellikleri ön planda olan bir malzeme tercih edilecekse GNP takviyeli biyokompozit kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Biyokompozit, kanola yağı, grafen, silisyum karbür, çok duvarlı karbon nanotüp

Ocak 2023, 83 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF BIOCOMPOSITE MATERIALS FROM MODIFIED VEGETABLE OILS

ELİF SENA GÜL

Supervisor: Prof. Dr. Hamit AKBULUT

Purpose: Within the parameters of the investigation, three distinct reinforcing elements were used to create high-strength and environmentally friendly biocomposite materials utilizing modified canola oil. The goal of this thesis is to create biocomposite materials that are environmentally friendly and may be used in a variety of industries, including construction, transportation, textiles, and aviation.

Method: The resulting biocomposites' mechanical and thermal characteristics were identified. A pycnometer tool was used to measure density. Using a Shore D instrument, the hardness of the resulting composite was assessed. A thermal conductivity measurement tool was used to determine the thermal conductivity coefficient. Biocomposites were subjected to a tensile test with a tensile device, and the modulus of elasticity was calculated. The observed densities of the biocomposites were used to calculate the porosity. Additionally, scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and thermogravimetric analysis (TGA) tools were utilized to analyze mass change with temperature and the structure of chemical bonds, respectively.

Results: The silicon carbide (SiC) reinforced biocomposite produced the best surface morphology result from SEM pictures. When the thermal stability of the doped biocomposites—of which the SiC reinforced biocomposite is the most heat resistant material—was evaluated using the TGA method, it was discovered that the SiC doped biocomposite had the best hardness value. The biocomposites with the additional CNT material had the lowest density value. The SiC reinforced biocomposite also produced the best results in the porosity test. The biocomposite doped with graphene nanoparticles (GNP) has the highest coefficient of thermal conductivity. Tensile testing revealed that the biocomposite with GNP added had the highest strength. After comparing the modulus of elasticity values of three different biocomposites, it was discovered that the GNP doped biocomposite had the highest modulus of elasticity.

Conclusion: According to the findings, SiC reinforced biocomposite, which was made utilizing three distinct nanoparticles, is the most useful biocomposite material. In the creation of low-density composite materials, CNT stands out. GNP reinforced biocomposite can be employed if a material with excellent mechanical characteristics is desired.

Keywords: biocomposite, canola oil, graphene, silicon carbide, multi-walled carbon nanotube

January 2023, 83 pages

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLolar DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR ve SEMBOLLER.....	viii
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER.....	2
Kompozit Malzeme	2
Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları	4
Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan doğal lifleri	5
Biyokompozit Malzeme.....	7
Bitkisel Yağlar	8
Pamuk yağı	10
Kanola Yağı	12
Epoksi Reçine.....	13
Epoksitlenmiş Bitkisel Yağlar	15
Benzer Çalışmalar.....	16
MATERYAL VE METOT.....	19
Materyaller.....	19
Grafen.....	22
Silisyum karbür	24
Çok duvarlı karbon nanotüp	27
Epoksi Reçine ve Sertleştirici	29
METOT	30
Kompozit Üretimi	30
Shore D Sertlik Cihazı	34
Isıl İletkenlik Katsayının Ölçülmesi	35
Çekme Testi	36
SEM (Scanning Electron Microscope) Cihazı	37
TGA (Termogravimetrik Analiz Cihazı)	39
FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi).....	40
ARAŞTIRMA BULGULARI	42
Epoksi kompozitlerin yoğunlukları	42
Epoksi Kompozitlerin Shore D sertliği	46
Kompozitlerin Çekme Mukavemeti Sonuçları.....	48
Kompozitlerin elastisite modülü sonuçları.....	50

Epoksi kompozitlerin Isıl İletkenlik Katsayıları	54
Kompozitlerin SEM Görüntüleri	56
Kompozitlerin TGA Analiz Sonuçları.....	59
Kompozitlerin FTIR spektrum sonuçları	62
Kompozitlerin gözeneklilik oranlarının belirlenmesi.....	63
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kompozit Malzemelerin Bazı Avantajları ve Dezavantajları.....	5
Tablo 2. Pamuk Yağının Bazı Karakteristik Özellikleri	11
Tablo 3. Silisyum Karbürü Ait Değerler	27
Tablo 4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Epoksi-Yağ Miktarı	42
Tablo 5. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Epoksi-Yağ Oranları	43



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kompozit malzeme	3
Şekil 2. Kompozit malzemelerin yapısal bileşenleri.	3
Şekil 3. Kompozit malzemelerin kullanım alanlarıyla ilgili görseller	4
Şekil 4. Kompozit malzemelerde kullanılan bitkisel kökenli liflerin sınıflandırılması	6
Şekil 5. Biyokompozit malzeme örnekleri	7
Şekil 6. Bitkisel yağlar	8
Şekil 7. Gliserin ile yağ asitlerinin birleşmesi sonucu yağın oluşması.	9
Şekil 8. Bitkisel Yağ Çeşitleri	10
Şekil 9. Pamuk yağı.....	11
Şekil 10. Kanola yağı	12
Şekil 11. Epoksi fonksiyonel grubu	14
Şekil 12. Kanola yağı	19
Şekil 13. Sülfirik asit.....	20
Şekil 14. Etil alkol.....	20
Şekil 15. Hidrojen peroksit.....	20
Şekil 16. Epoksi A-B reçine	21
Şekil 17. Grafen.....	21
Şekil 18. Silisyum karbür	21
Şekil 19. Çok duvarlı karbür nanotüp	22
Şekil 20. Asetik asit.....	22
Şekil 21. Grafen yapısı	23
Şekil 22. Grafen toz hali.....	23
Şekil 23. Silisyum karbür taneleri ve toz hali	25
Şekil 24. Silisyum karbür yapısı	26
Şekil 25. (a) Tek duvarlı (b) Çok duvarlı karbon nanotüpler	28
Şekil 26. Epoksi reçine bileşenleri A-B	30
Şekil 27. Modifiye işleminde kullanılan malzemeler.....	31
Şekil 28. Modifiye edilmiş kanola yağı.....	31
Şekil 29. Kompozit üretiminde kullanılan malzemeler	32
Şekil 30. Biyokompozitlerin kalıplarda bekletilmesi a) GF takviyeli biyokompozit b) SiC takviyeli biyokompozit c) Modifiye edilmiş kanola yağ takviyeli biyokompozit d) CNT takviyeli biyokompozit	33
Şekil 31. Üretilen biyokompozitler	34

Şekil 32. Shore D sertlik cihazı.....	35
Şekil 33. Isıl iletkenlik katsayı ölçme cihazı.....	36
Şekil 34. Çekme test cihazı	37
Şekil 35. SEM (Scanning electron microscope) cihazı	38
Şekil 36. Sem cihazı şematik görünümü	38
Şekil 37. TGA (Termogravimetrik analiz) cihazı	39
Şekil 38. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) cihazı	40
Şekil 39. Epoksi yağ oranının epoksi polimerin yoğunluğuna etkisi.....	43
Şekil 40. Silisyum karbür (SiC) oranının epoksi kompozitin yoğunluğuna etkisi.....	44
Şekil 41. Grafen (GF) oranı ile epoksi kompozitin yoğunluğunun değişimi	45
Şekil 42. Çok duvarlı karbon nanotüp (CNT) oranıyla kompozitin yoğunluğunun değişimi ..	45
Şekil 43. SiC takviyeli epoksi kompozitin Shore D sertliğinin değişimi.....	46
Şekil 44. GF takviyesinin epoksi kompozitin Shore D sertliğine etkisi.....	47
Şekil 45. CNT takviyesinin epoksi kompozitin Shore D sertliğine etkisi.....	47
Şekil 46. SiC takviyeli epoksi kompozitin çekme testi sonuçları	48
Şekil 47. GF takviyeli epoksi kompozitin çekme testi sonuçları	49
Şekil 48. CNT takviyeli epoksi kompozitin çekme testi sonuçları	49
Şekil 49. a) % 0 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği b) % 0.5 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği c) %1 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği d) % 1.5 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği e) % 2 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği.....	51
Şekil 50. a) % 0 SiC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği b) % 0.5 SiC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği c) %1 SiC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği d) % 1.5 SiC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği e) % 2 SiC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği	52
Şekil 51. Nanopartikül takviyeli biyokompozitlerin elastisite modülleri	53
Şekil 52. Modifiye kanola yağı ve sentezlenmiş epoksi biyokompozitin FTIR spektrumları ..	63
Şekil 53. Nanopartikül takviyeli biyokompozitlerin gözenekliliği	64

KISALTMALAR ve SEMBOLLER

CNT	: Carbon Nanotube
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GNP	: Grafen
MWCNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
SiC	: Silisyum Karbür
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
TGA	: Termogravimetrik Analiz
PBS	: Poli Bütilen Süksinat
E	: Elastisite Modülü
σ	: Gerilme
ρ	: Yoğunluk
m	: Kütle
V	: Hacim
ε	: Gerinim
MPa	: Megapaskal
GPa	: Gigapaskal
K	: Kelvin

GİRİŞ

Kompozit malzemelerle ilgili teknolojilerin ve üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, geleneksel mühendislik malzemelerine alternatif olarak kompozit malzemelerin kullanımı birçok mühendislik alanında giderek artmıştır. Bu malzemeler, hafif olmalarına karşılık daha yüksek mukavemetli olmaları ve sağladıkları birçok avantajlar ve çeşitlilikleri sebebiyle birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır, (Shishevan, 2015).

En az iki malzemenin bir araya gelerek oluşturmuş olduğu kompozit malzemeler genel olarak organik malzemeler, metal ve seramik olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Her malzemenin üstün özelliklerini taşımasıyla daha kaliteli bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapısıyla birçok sektörde kullanım göstererek günümüzde çok fazla tercih edilen malzeme olmaktadır.

Kompozit malzemelerin, geri dönüşümü olan, çevre dostu malzemeler olması hususundaki çalışmalar giderek artış göstermektedir. Biyolojik çeşitlilik açısından çevre dostu ürünlerin sürdürülebilirliğini ve kalitelerini arttırmaya yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yenilenebilir ve çevre dostu olan biyo-malzemeler ve doğal liflerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Otomotiv, kimya, inşaat gibi birçok sektörde biyo-kompozitler kullanılmaktadır. Kompozit malzeme üretimlerinde biyo-malzemelerin kullanımının artmasıyla birlikte, çevreyi kirleten atıklar, toksik ve sera gazı emisyonları gibi zararlı etkiler azalacaktır. Bundan dolayı doğal liflerle takviye edilmiş kompozit malzemeleri önemi giderek artmaktadır, (Karimah,2021).

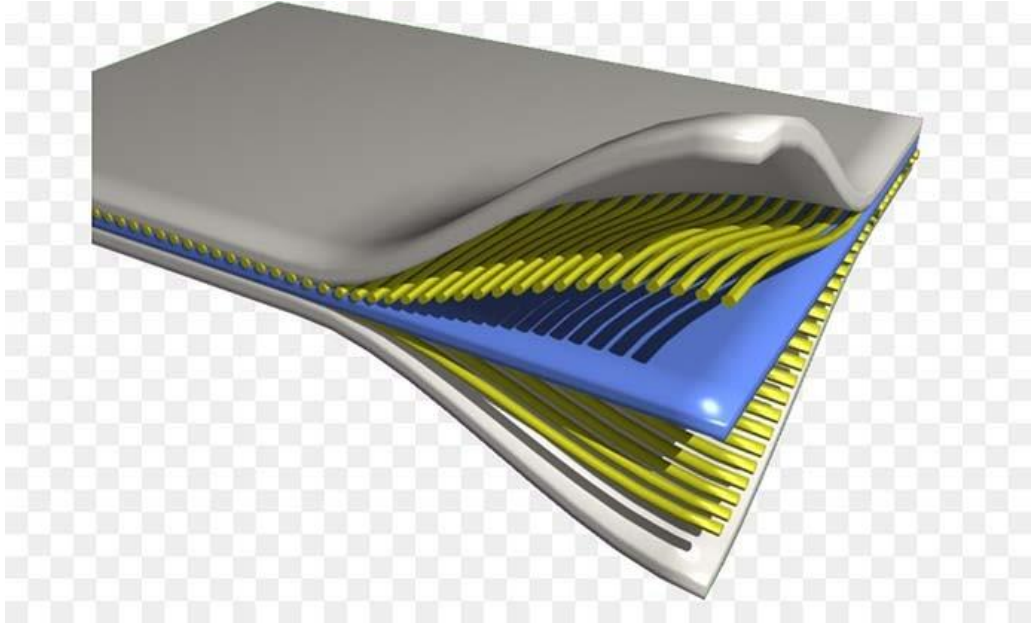
Yapılan literatür araştırmalarına göre, bitkisel yağ kullanılarak biyokompozit üretimi üzerine yapılan çalışmaların çok az olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında, modifiye edilmiş bitkisel yağ kullanarak çevre ile uyumlu biyokompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Üretilen malzemelerden çıkarılan numuneler kullanılarak mekanik ve termal özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen biyokompozitler; yapı, tekstil, otomotiv, havacılık, otomotiv, spor, gıda ambalajlama, medikal gibi birçok alanda kullanılabilecektir.

KURAMSAL TEMELLER

Kompozit Malzeme

Şekil 1’de görüldüğü gibi iki veya daha fazla farklı malzemenin, birbirlerinin zayıf yönlerini gidermek amacıyla makro seviyede birleştirilmesiyle elde edilen yeni malzemelere kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler genellikle matris ve takviye fazlarından oluşmaktadır. Matris malzemesi olarak; plastik, metaller, seramik gibi malzemeler kullanılırken, takviye malzemesi olarak; sürekli- süreksiz elyaflar ve farklı boyutlarda parçacıklar şeklindeki malzemeler kullanılmaktadır. Elyaf malzemeleri matris malzemelerine değişik oranlarda ve şekillerde katılarak farklı özelliklere ve avantajlara sahip kompozit yapılar elde edilebilmektedir, (Ayan,2021).

Kompozit teknolojisinde; tek başına yeterli olmayan, birbiri içerisinde çözünemeyen malzemeleri birleştirerek, kullanım alanlarına uygun özellikler elde etmek amacıyla mukavemet, hafiflik, esneklik, maliyet gibi parametreler bakımından daha uygun malzemelerin üretilmesi amaçlanmaktadır, (Anonim, 2022). Malzemeler kendilerine ait mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptirler. Malzemeye uygulanan yüklere karşı malzemenin davranışıyla mekanik özellikleri belirlenir. Malzemenin; sünekliği, darbe yüklerine tepkisi, yorulma davranışı, yüksek sıcaklıkta sürünmesi, tribolojisi (aşınması) gibi mekanik özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Malzemenin elektriksel, manyetik, termal, kimyasal davranışları diğer fiziksel özellikleri ise gördüğü işleme ve içyapısına bağlıdır. Kompozit malzeme ise malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklere göre yüksek performans gösteren farklı malzemelerin bir araya gelmesini sağlayarak daha sağlam ve avantajlı malzemenin oluşmasını sağlamaktır. Böylece kompozit malzemeler ile daha hafif, daha sağlam, daha sünek, yüksek sıcaklığa daha dayanıklı malzemeler üretilmektedir. Bu malzeme ayrıca ihtiyacınız olan özelliklere göre malzeme üretimine imkân tanınmaktadır. Özellikle gelişen teknolojiyle havacılık, uzay ve askeri alanlarda kompozit malzemeler vazgeçilmez ve sürekli geliştirilen bir alan olarak kabul görmektedir, (Yılmaz, 2019).

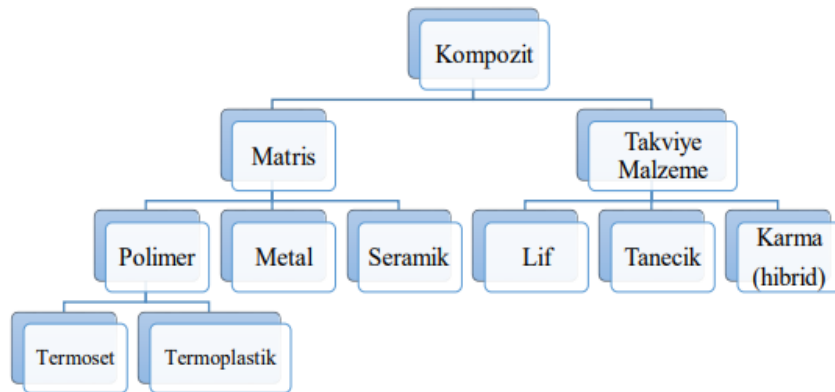


Şekil 1. Kompozit malzeme (Anonim,2022)

Şekil 2’de kompozit malzemelerin yapısal bileşenleri görülmektedir. Kompozit malzemeler genel olarak iki fazdan oluşmaktadır:

Matris fazı: Kompozit yapının tokluğunu, sünekliğini artırırken yükü liflere aktarırken lifleri dış etkilere de korur. Matris fazında genellikle polimerler, metal ve metal alaşımları, seramik esaslı malzemeler kullanılmaktadır.

Takviye fazı: Takviye fazı gelen yükün çok büyük kısmını taşımaktadır. Takviye fazında genellikle cam, karbon, aramid, çelik teller, karbür, naylon, doğal lif gibi malzemeler kullanılmaktadır.



Şekil 2. Kompozit malzemelerin yapısal bileşenleri (Ayan,2021).

Kompozit malzemeler gösterdiği düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet gibi özelliklerinden dolayı pek çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3). Bu sektörlerin başında havacılık, otomotiv ve yapı sektörü gelmektedir. Kompozit malzemelerin kullanıldığı bazı önemli alanlar aşağıda listelenmiştir, (Şeker,2010):

- Havacılık,
- Savunma Sanayisi,
- Spor Ekipmanları,
- Otomotiv,
- Denizcilik,
- İnşaat Sektörü
- Sağlık, vs.



Şekil 3. Kompozit malzemelerin kullanım alanlarıyla ilgili görseller (Anonim,2022)

Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemeler karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı olmak üzere birçok farklı şekilde kullanılmaktadırlar. Elektrik yalıtımı sağladıklarından, birçok bileşenin üretiminde tercih edilmektedir. Plastik esaslı kompozit malzemeler, geleneksel mühendislik malzemelerine göre hafiflik, yüksek mukavemet, korozyon dayanımı, yalıtkanlık gibi birçok avantajlara, bununla birlikte üretim zorluğu, anizotropi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Kompozit malzemelerin bazı önemli avantaj ve dezavantajları Tablo 1’de listelenmiştir, (Anonoim,2022):

Tablo 1. Kompozit Malzemelerin Bazı Avantajları ve Dezavantajları

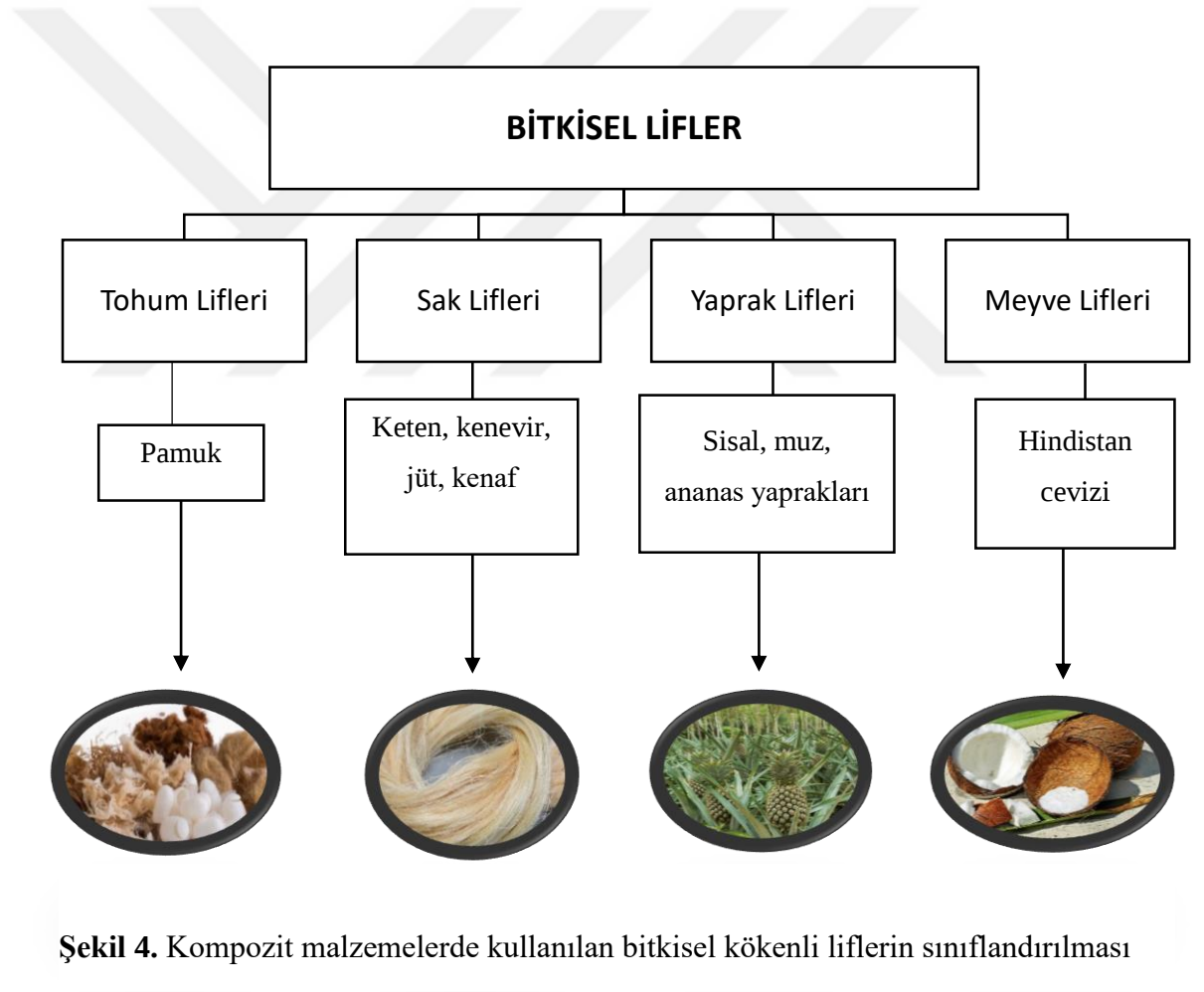
Avantajları	Dezavantajları
• Yüksek mukavemet • Hafiflik • Tasarım esnekliği • Korozyon dayanımı • Yüzey uygulamaları • Şeffaflık özelliği • Elektrik, ısı iletkenliği • Yanmazlık özelliği • Soğuk ve sıcaktan etkilenmezler • Çevre dostudurlar • Titreşim absorbe etme özellikleri yüksektir • Ekonomiklik • Kopma uzamaları metallere göre daha yüksektir. • Estetiklik	• Metallere yapışmazlar • Fırınlamadan (pişirmeden) kullanılamazlar. • Aynı kompozit malzemeler için çekme, basma, kesme, eğilme mukavemet değerleri farklılık gösterir. • Elyaf doğrultusundaki elastisite modülü, elyafa dik doğrultudaki elastisite modülünden daha büyüktür. • Üretimleri pahalıdır. • Üretim esnasında nem ve hava zerrecikleri ortaya çıktığından, kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkilenmektedir.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan doğal lifleri

Kompozit malzeme üretimlerinde cam, karbon, bor gibi malzemelerden elde edilen lifler yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte doğal çevreye zararlı olmaması bakımından son zamanlarda bitkisel liflerin kullanımı üzerindeki çalışmalar giderek artmaktadır. Bitkisel lif takviyeli kompozitlere biokompozit malzemeler denilmektedir. Tablo 2’de bazı bitkisel lifler görülmektedir. Bitki kökenli bazı lifler aşağıda verilmektedir:(Kocaman,2019).

- Tohum olarak; pamuk, kanola lifleri,
- Sak olarak; keten, kenevir, rami, jüt, kenaf lifleri,
- Yaprak olarak; sisal lifleri ve
- Meyve olarak; hindistan cevizi lifleri, vs.

Doğal liflerin takviye elemanı olarak tercih edilmelerinin en önemli sebebi biyolojik olarak parçalanabilmeleri dolayısıyla çevreye zarar vermemeleri ve geri dönüştürülebilir olmalarıdır. Ayrıca düşük yoğunluklu olmaları ve yüksek mukavemetli olmaları önemli etkindir, (Ayan,2019). Özellikle otomobil ve ambalaj sanayi sektörlerinde tercih edilmektedirler.



Biyokompozit Malzeme

Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerden en az biri doğal kökenli liflerden oluşuyorsa bu malzemeye biyokompozit veya yeşil kompozit denir. Biyokompozitler, yenilenebilir kaynaklardan veya bio-malzemelerden elde edilen takviye fazından ve matris fazından oluşmaktadır. Matris fazında; bitkisel yağlar ve nişastalar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen matrisler bir diğer adıyla biyo-bazlı matrisler kullanılmaktadır. Takviye fazında ise; pamuk, keten, kenevir ve ahşap gibi doğal malzemelerden elde edilen lifler kullanılabilir (Anonim, 2022).

Şekil-4'te örnekleri görülen biyokompozit malzemeler (jüt, sisal, keten, kenevir, bambu, saç, yün, ipek, bitki ve hayvansal bazlı lifler kullanılarak elde edilmektedir. Ayrıca bu malzemeler sentetik elyaf (karbon, cam, vb.), reçine (alkol, epoksi vb.), doğal elyaflar ve doğal reçinelerden üretilmektedir. Bu kompozitlerin yüksek mukavemetleri, boşluklu yapılarından dolayı yüksek ses yalıtımları, kolay işlenebilir olmaları ve geri dönüştürülebilir olmaları kullanım alanlarını arttırmaktadır,(Yılmaz,2019).



Şekil 5. Biyokompozit malzeme örnekleri (Anonim,2022)

Sürdürülebilirlik gösteren biyokompozitler endüstriyel, eko-verimlilik, yeşil kimya, yeni nesil malzeme, ürün ve süreçlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Biyokompozitlerin kullanım alanlarını incelediğimiz de, yerli sektörde, yapı malzemelerinde, havacılık endüstrisinde, devre kartlarında ve otomotiv uygulamalarında çok fazla kullanıldığı görülmektedir.

Aynı zamanda, biyokompozitlerin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte bu malzemelere olan talep giderek artmaktadır. Petrol kaynaklarının tükenişi ve yaşanan küresel, çevresel ve sosyal sebeplerden dolayı çevre ile uyumlu yeni malzemelere gereksinim duyulmasına yol açmıştır. Bundan dolayı biyokompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmaların artışına yol açmaktadır,(Bharath ve Basavarajappa, 2016).

Biyokompozit malzemelerin bazı önemli özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yüksek mukavemetli,
- Çevre dostu
- Yenilenebilir (Geri dönüştürülebilirlik)
- Hafif
- Ekonomik

Bitkisel Yağlar

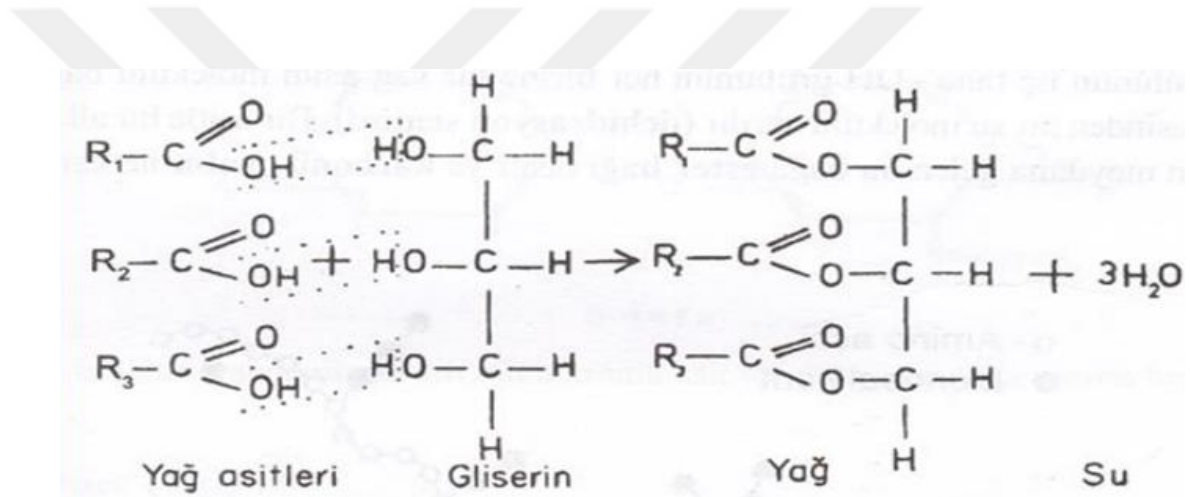
Bitkisel yağlar (Şekil-5), biyolojik olarak parçalanabilirlik, yenilenebilirlik ve mükemmel yağlama performansı gibi özelliklerden dolayı çevre açısından da uygun yağlayıcılar olarak kullanılmaktadır. Bitkisel yağların çoğu triaçilgliseritlerden oluşur. Trigliseritler olarak da adlandırılan triasilgliseritler, hidroksi gruplarına ester bağları yoluyla bağlanan üç uzun zincirli yağ asidine sahip gliserol molekülleridir. Nispeten doğada bol miktarda bulunmaları, düşük fiyatları ve toksik olmamaları bitkisel yağların başlıca avantajlarıdır,(Fox and Stachowiak, 2007).



Şekil 6. Bitkisel yağlar (Anonim,2022)

Bitkisel yağlar, çeşitli uygulamalarla yağ asitleri bileşiminde geniş bir çeşitlilik sağlamaktadırlar. Beslenme ve tıbbi açıdan önemli olan uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerine alternatif bir kaynak oluşturan bu yağlar aynı zamanda endüstriyel uygulamalar da kullanılan yenilenemeyen petrol kaynaklarının yerine de geçmiştir. Atık boyalar, yağlayıcılar, sabunlar, biyo yakıtlar vb. gibi endüstriyel uygulamalarda her geçen gün daha fazla kullanılmaya başlanılmıştır,(Kumar, vd. 2016).

Şekil-6’da görüldüğü gibi ana bileşenlerinin trigliseridlerden oluşan bitkisel yağların kaynağına bağlı olarak değişen üç uzun zincirli yağ asitli gliserol ester bağları bulunur.. Genellikle yağ zincirinin uzunluğu, oleik asit (C18:1), linoleik asit ile birlikte C12 ile C20 arasındadır. Trigliserit başına düşen ortalama çift bağ sayısı, farklı yağlarda değişiklik gösterebilmektedir,(Miao vd., 2014).



Şekil 7. Gliserin ile yağ asitlerinin birleşmesi sonucu yağın oluşması (Miao vd., 2014).

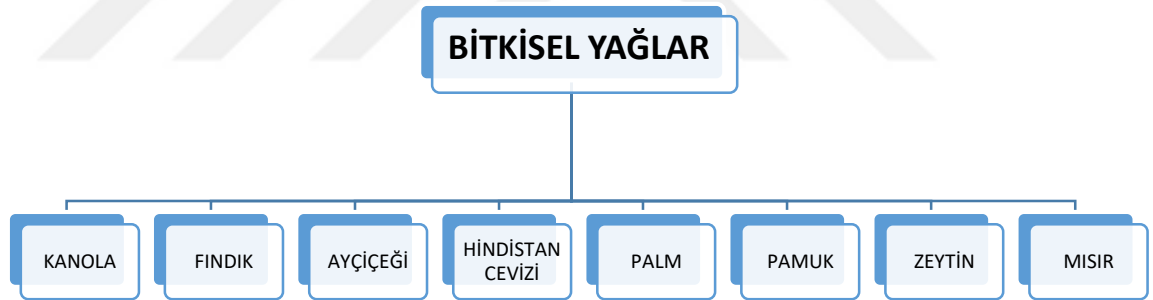
Yağ asitlerinin uygun yöntemlerle sentezlenmesiyle farklı ürünlerin hammaddesi olarak kullanılabilen reçineler oluşmaktadır. Bitkisel yağlarda en çok rastlanan tekli doymamış yağ asitleri, palmitoleik ve oleik asittir. Bu yağlar oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Zeytinyağı, kolza yağı, kanola yağı, yer fıstığı yağı ve ayçiçeği yağında tekli doymamış yağ asitleri fazla miktarda bulunur. Bitkisel yağ asitleri, farklı çeşitteki yağ asitleriyle sentezlenerek çoğunlukla PVC tipi plastiklerin üretiminde plastikleştirici olarak kullanılmaktadır. İçermiş oldukları epoksi yapılarından dolayı petrol türevli hammaddelerle üretilmiş olan plastiklere oranla daha mukavemetli plastikler üretilmektedir. Kullanılan bitkisel yağlar, ısı, ışık ve mikroorganizmalar tarafından plastiğin yıpranma oranını azaltırken

plastığın işlenebilme özelliğini artırmaktadır. Sentezlenmiş yağların değeri, sentez zincirleri yatay olarak uzadıkça artar,(Balo vd., 2008).

Bitkisel yağların bazı özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- Çözünürlük
- Reçine ile iyi uyumluluk
- Düşük uçuculuk
- Isı ve ışıkla reaktif olmazlar.
- Yüksek mukavemete sahiptirler.
- Elektriğe dirençleri yüksektir.

Bu özelliklerine ek olarak geri dönüşümlü kaynaklardan, modifiye edilmiş bitkisel yağ reçinelerinin endüstriyel malzemelerin üretiminde kullanımı düşünüldüğünde, özellikle polimer ve kompozit endüstrisinde kullanılabilecek birçok malzemenin üretimine imkân sağlayacaktır, (Balo vd., 2008).Tablo 3’de bitkisel yağ çeşitleri verilmektedir.



Şekil 8. Bitkisel Yağ Çeşitleri

Pamuk yağı

Pamuk yağı (Şekil-7); pamuk tohumundan elde edilen özgün tadı ve kokusu olan, oldukça kırmızı-kahverengi renkli bir yağ çeşididir. Yerli pamuk tohumlarında %30-40 arasında yağ bulunmaktadır. Pamuk tohumlarından (çiğit) ya sıkma yoluyla ya da karbon sülfür kullanılarak ekstraksiyonla pamuk yağı elde edilir. Çekirdekler oldukları gibi veya kabuğundan ayrıldıktan sonra, preslenerek ham yağ çıkarılır, (Köse,1999).

Pamuk yağı yüksek sıcaklığa duyarlı bir renk maddesi olan gossipol (CH_{100}s) içermektedir. Yüksek sıcaklıklarda gossipol, koyu renkli ürünlere dönüşerek, açık renkli pamuk yağı üretimini güçleştirmektedir. Yağ oranı tür, çeşit ve lokasyonlara göre (kabuklu olarak) havlı tohumlarda %17-24, havsız tohumlarda %20-30; iç olarak ise %33-42 arasında değişmektedir. Tohumun protein içeriği ise; tür, çeşit ve çevre koşullarına göre kabuklu olarak % 20-40, iç olarak %40-50 arasında değişebilmektedir. Tohum embriyosunda ortalama %38 yağ ve %39 protein bulunmaktadır,(Saraç, 2011).



Şekil 9. Pamuk yağı (Anonim,2022)

Türkiye için önemli bir potansiyele sahip pamuk yağının üretim miktarı yüksektir ve kendine özgü özelliklere sahiptir. Pamuk tohumu yağı yüksek konsantrasyonlarda esansiyel yağ asitleri içerir. Yağ asidi kombinasyonuna baktığımızda yüksek oranda çoklu doymamış yağ asidi, orta düzeyde tekli doymamış yağ asidi ve çok düşük seviyede doymuş yağ asidi içerir. Güçlü karakteristik özelliklere sahip pamuk yağı diğer bitkisel yağlara göre daha yüksek oksidasyon derecesine sahiptir,(Ballı,2018). Tablo 4’te pamuk yağının bazı özellikleri verilmektedir.

Tablo 2. Pamuk Yağının Bazı Karakteristik Özellikleri

Pamuk yağının özellikleri	
Yoğunluk(kg/m^3)	0,918-0,926
Özgül ağırlığı(g/cm^3)	0,9147-0,9320
İyot sayısı	100-123
Kırılma indisi (25 C)	1,4636

Kanola Yağı

Ayçiçek, soya, pamuk ve yer fıstığı gibi yağlı tohumlu bitkiler arasında bulunan Kanola yağı (Şekil-8) ağırlıklı olarak Amerika, Kanada ve Avrupa’da yetiştirilen bir yağ bitkisidir. Dünya çapında en önemli yağlı tohum bitkilerinden bir olan kanola, Brassicaceae ailesinden olup, parlak ve sarı çiçeklidir. Kanola bitkisinden elde edilen kanola yağı ise; düşük erüsic asit (%22-60)ve düşük glukozinotlar içermektedir. Önemli yağ bitkilerinden biri olan kolzanın genetik modifikasyonları sonucunda elde edilmektedir. Günümüzde kanola yağı, hurma ve soya fasulyesi yağından sonra hacimce en büyük üçüncü bitkisel yağdır, (Lin vd. 2015).



Şekil 10. Kanola yağı (Anonim, 2022)

Brassica campestris L. ve *Brassica napus* L. türlerinin aşılınması ile oluşan kanola bitkisinin tohumlarından elde edilen kanola yağı katı, sıvı ve ham yağ olarak kullanılabilir. Kanola bitkisinin tohumun da %40-45 oranında yağ bulunmaktadır ve kaynama sıcaklığı 238°C’dir. Kanola yağı mono doymamış hidrokarbon (oleik asit) ve yaklaşık %95 oranında triağılglicerol içeriğine de sahiptir. Yanma karakteristikleri yüksek olan bu bitkisel yağın oksidasyon kararlılığı ve soğuk akış özellikleri iyidir.

Yapılan çalışmalarda, donma noktası ve iyot miktarı ideal seviyede olduğu tespit edilmiştir. Kokusuz ve parlak renkte olan bu yağın içeriğinde 114 iyot sayısına sahip olması depolama ömrü açısından avantaj sağlamaktadır. Kanola yağı düşük sıcaklıklara duyarlı olması, uçuculuğunun az olması, düşük vizkozite değeri ve biyolojik bozunabilirlik sebebiyle

boya ve kaplama sanayinde hammadde olarak tercih edilmektedir Ayrıca vizkozitesinin düşük olması ve oksidatif stabilite özelliği nedeniyle makine yağı olarak da kullanılmaktadır, (Elibal, 2009).

Kanola yağının kullanım alanlarını şu şekilde sıralamak mümkündür,(İşler, 2007):

- Yemeklik yağ sanayi
- Hayvan yemi
- Kimya sanayi hammaddesi
- Biyodizel hammaddesi
- Boya ve kaplama sanayisi

Başlıca Özellikleri (İşler, 2007);

- Yoğunluğu 0,920 civarındadır
- Yüksek yağ içermesiyle ürün başına daha fazla yağ elde edilmesini sağlar.
- Düşük doymuş yağ içeriği
- Isıya karşı dayanıklılık
- Düşük maliyet
- 114 civarında bulunan iyot sayısı gelmektedir.
- Birçok yağ bitkisine göre yüksek tohum ve yağ vermesi
- Kabuk ayırma işlemine tabi tutulmadan direkt olarak öğütülmesi

Epoksi Reçine

İlk kez 1930 yılında sentezlenen epoksi reçine, birçok endüstriyel uygulamada kullanılmıştır. Yapı malzemeleri, kaplamalar, kompozit malzemeler, denizcilik, otomotiv, havacılık ve uzay sanayisi, laminantlar, yapıştırıcı olarak, elektrik-elektronik gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar. Epoksi reçinesinin; mekanik özellikleri, elektriksel ve kimyasal direnç, iyi ısı yalıtımı ve iyi yapışma özellikleri iyi olan bir polimer çeşididir. Epoksi reçineler, diğer polimer matrislere göre pahalı olmasına rağmen, kompozit üretiminde çok tercih edilen termoset matristir,(Kocaman, 2019).

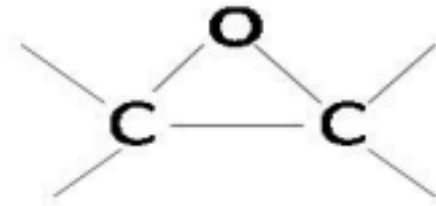
Epoksilerin en çok kullanılan polimer matris olmasının başlıca sebepleri,(Kocaman, 2019):

- Çekme ve darbe dayanımları oldukça yüksektir
- Aşınmaya karşı dayanıklıdır

- Yüksek sıcaklıkta iyi mekanik ve fiziksel performans göstermektedir
- Hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun, herhangi bir yüzey yapıştırabilir
- Oda sıcaklığında katılaşabilirler
- Düşük viskozite ve düşük akış hızına sahiptir
- Kürleşme süresince uçuculuğun düşüktür
- Yüksek yapıştırma gücüne sahiptir
- Yüksek elektriksel direnç gösterir
- Yüksek kimyasal direnç sahiptir

Biyobazlı veya bozunur malzemelerin gelişmesiyle polimer ürünlerin üretimindeki zorlukları azalmış ve bunlar yenilenebilir kaynaklardan sentezlenebilmeleriyle çevre dostu malzemeler haline gelmişlerdir. Biyobozunur polimerler düşük maliyet, kolay işlenebilirlik, sertlik, esneklik, geri dönüştürülebilirlik ve toksik madde içermeme gibi üstün özelliklere sahiptirler. Neme duyarlı olmadıklarını, zayıf termal direnç ve mekanik özelliklerin düşük olması gibi zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla genellikle çeşitli takviye malzemeleri matris faza dâhil edilebilir, (Stemmelen, 2015).

Epoksi reçineleri adını yapısında bulunan epoksi fonksiyonel gruplarından almaktadır. Epoksi reçinelerinin her bir molekülünde birden fazla epoksi grubu vardır. Şekil 9'da epoksi reçinesinin bağ yapısı görülmektedir, (Şeker,2010).



Şekil 11. Epoksi fonksiyonel grubu (Şeker, 2010)

Epoksilerin fiyatları yüksektir ve pişirme süreleri uzundur. Pişirme zamanını azaltmak amacıyla hızlandırıcılar kullanılarak kullanım sıcaklığı 150°C ye kadar çıkartılır ve çapraz bağlanma tepkimeleri hızlandırılır. Epoksiler, epoksi gruplarının kendi aralarında homopolimerizasyonu veya anhidrid, amin, novalak gibi maddelerle reaksiyona girmesiyle

elde edilirler. Bunun sonucunda elde edilen epoksi reçineler de dayanıklılık, sertlik ve yükseltilmiş ısı performansı, eter bağları ile kimyasal dayanım ve çok değişik kimyasal sertleştirici ile tepkimeye girebilme özelliklerine rastlanıldığından endüstriyel alanlarda sıkça kullanılmaktadır, (Şeker,2010).

Epoksi reçine kullanım alanları aşağıda verilmektedir, (Anonim, 2022):

- Zemin Kaplama
- Endüstriyel Kaplamalar
- Fiber Takviyeli Plastikler
- Kaymaz Kaplamalar
- Sert Köpükler
- Genel Amaçlı Yapıştırıcılar
- Elektrik İzolatörleri
- Müzik Aletleri Üretimi
- Kumaş, Ahşap Ve Cam Gibi Malzemelerde
- Uçay ve Havacılık Sanayisi
- Otomotiv Sanayisi
- Elektronik ve Elektrikli Bileşenler
- Elyaf Takviyeli Polimerler, Elyafı Yerde Tutmak İçin Reçine Matrisi

Epoksitlenmiş Bitkisel Yağlar

Epoksitlenmiş bitkisel yağlar, ekonomik, kullanılabilir, çevre dostu, zararsız ve yenilenebilir olduklarından dolayı polimer endüstrisinde son yıllarda dikkat çekmektedir. Biyo bazlı epoksi reçineleri ve kompozitleri üretmek için doğrudan sentez yöntemi veya epoksinin doğal-sentetik liflerle birleştirilme yöntemi kullanılmaktadır. Bitkisel yağların asidik iyon değişim reçinesi kullanılarak katalitik epoksidasyon, kemo-enzimatik epoksidasyon veya metal katalizli-epoksidasyon yöntemlerinin kullanılmasıyla polimize edilmiş oksijenli monomerlere dönüştürülmektedir. Böylece epoksidasyon yöntemlerinden kemo-enzimatik epoksidasyon yöntemiyle güvenli, çevre dostu olması ve epoksidasyonun dönüşüm oranıyla günümüzde büyük ilgi görmüştür, (Şeker, 2010).

Benzer Çalışmalar

Yapılan çalışmaları incelediğimiz de pamuk elyaf takviyeli biyokompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerinde yapılan çalışmada (Ayan, 2021) vakum infüzyon yöntemi kullanılarak biyo kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Aynı ağırlığa sahip cam elyaf takviyeli, karbon elyaf takviyeli, yarı mamul biyo kompozit ve kumaş halinde olan biyo kompozit malzemelerden olmak üzere 4 tip kompozit malzeme üretimi vakum infüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve mekanik özellikleri kıyaslanılmıştır. Çalışma sonucun da doğal lif takviyeli kompozit malzemeler kullanım yerine göre klasik kullanılan kompozit malzemelere tercih edilebileceği gözlenmiştir. Pamuk üretiminin yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğun da düşük maliyete, çevreye dostu ve geri dönüştürülebilir pamuk takviyeli kompozit malzemeler üzerinde araştırma ve geliştirme çalışması yapılmalı ve endüstriyel kullanıma kazandırılması gerektiği kanısına varılmıştır.

Bir diğer çalışma da ise (Genç ve Özdemir, 2019), bitkisel lifler kullanılarak üretilen biyo-kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini karşılaştırması ve geliştirilmesine yönelik çalışılmıştır. Biyo-kompozit numunelerin üretiminde takviye elemanı olarak kabak lifi ve jüt lifi kullanılmıştır. Buradaki en önemli amaç farklı türdeki malzemelerin sahip oldukları üstün özellikleri bir araya getirerek uygulama alanına göre daha uygun malzemelerin geliştirilmesidir. Elde edilen sonuçların gösterdiği kadarıyla jüt lifinin sahip olduğu mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının kabak lifi ile bir araya getirilerek arttırılabileceği görülmüştür. Takviye malzemesi olarak kullanılan bütün bitkisel liflerin bu yöntemle bir araya getirilerek daha uygun maliyet ve optimum mekanik özelliklerle malzeme geliştirilerek cam lif malzemelere alternatif oluşturulabileceği kanısına varılmıştır. Aynı zaman da cam lif takviyeli malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı havacılık, otomotiv sanayisi gibi uygulama alanlarında biyo-kompozit malzemelerin kullanımının mümkün olduğu dolayısı ile bitkisel liflerin önemli bir alternatif olabileceği öngörülmüştür.

Miselyum esaslı biyokompozit panel üretimi yapılarak performans özelliklerinin incelemek üzeri yapılan çalışma da (Elbasdı ve Alaçam, 2019), lignoselülozik atıklar ile mantar miselyumunu birleştirerek ambalajlama endüstrisinde kullanılan petrol esaslı (polistiren) koruyucu panellere alternatif doğal, inovatif malzemeler üretilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, biyo-kompozit malzeme üretimi için reishi mantarı(*G. lucidum*) miselyumu, lignoselülozik atık olarak ise meşe, çam ve kavak talaşları kullanılmıştır. Elde edilen biyokompozit panellerin yoğunluk, rutubet, basınç direncini, kalınlığını, şişme direnci gibi bazı fiziksel, mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan testlere göre elde edilen basınç direnci değerlerinin polistiren köpüklerle yakın değerlere sahip olduğu ve üretilen

biyokompozit malzemelerin “rijit köpük malzeme” karakterine sahip olduğu bulunmuştur. Bu tür malzemeler geliştirilerek sektörde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmalara benzer olarak kil ilavesiyle bambara fındık kabuğu partikülü takviyeli polyester kompozitin özelliklerini geliştirmenin fizibilitesi yapılmıştır, (Okonkwo vd., 2020). Çalışma sonucun da bambara somununun polimer kompozitler için potansiyel olarak düşük maliyetli bir dolgu malzemesi olduğunu ve orta mukavemetli ancak hafif malzemeler gerektiren alanlarda kullanılabileceğini gözlemlenmiştir.

Biyo polietilen esaslı biyokompozitler üzerine yapılan çalışmada ise (Çelik ve Kılıç, 2020), yenilenebilir kaynaklardan elde edilen Biyo polietilen (BiyoPE)’nin çevre dostu, toksik madde içermeyen biyokompozitlerin ve polimer karışımlarının üretiminde kullanımı ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Kullanım alanına, üretim yöntemine ve kullanılan polimer türüne göre polimer esaslı ürünlerden istenen performans özellikleri çok çeşitlilik gösterdiğine rastlanılmıştır. BiyoPE esaslı biyo kompozitlerin mekanik özellikleri değerlendirildiğinde ise saf BiyoPE’nin mekanik özelliklerine benzer veya daha iyi mekanik özellik gösterdiği gözlenmiştir.

Bir diğer çalışmada ise (Liminana, vd., 2018), poli bütlen süksinat (PBS) matrisi ve ağırlıkça %30 badem kabuğu unu (ASF) içeren ahşap plastik kompozitler kullanılarak ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle çevre dostu kompozitler geliştirilmeye çalışılmıştır. PBS oldukça pahalı ve esnek polyesterler olduğundan buna badem kabuğu unu (ASF) gibi düşük maliyetli lignoselülozik atık ekleyerek farklı bir çözüm kullanılmış olup, polimer/lignoselülozik kompozitlerdeki tipik etkileşimler zayıf olduğu ve zayıf mekanik özelliklere katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Böylece bu çalışmada, uyumlulaştırılmış PBS/ASF kompozitlerinin mekanik, termal, termomekanik ve morfolojik özellikleri açısından farklı bağdaştırıcı ailelerinin epoksitlenmiş bitkisel yağlar ve akrilik asit türevli bileşikler bir arada kullanılması olumlu olarak değerlendirilmiştir.

Farklı bir çalışma konusu olan (Stemmelen, vd., 2015) biyo-bazlı aminlerin türünü genişletmek için yeni lipidik diaminler üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen malzeme, aminli üzüm çekirdeği yağı bazlı malzemeye kıyasla benzer bir davranış gösterirken daha fazla sertlik gösterdiği görülmüştür. Aynı zamanda, iki farklı gevşeme tepe noktası ve artık amin gruplarının varlığı nedeniyle tespit edilen reçine üzerinde oksitlenmiş bir tabakanın varlığı görülmüştür. Çalışma sonucun da ise bu oksidasyonun, kürlenmiş malzemenin termomekanik performanslarını arttırdığını göstermiştir.

Yapılan diğ er bir çalışma da ise (Das ve Karak, 2009), tohum yağı monoglis rid , bisfenol-A ve tetrabromobisfenol-A bazlı epoksi re enesi kullanılarak XRD, TEM, SEM, FTIR ve reolojik çalışmalar yapılmıştır ve kısmen pul pul d   lm ş nanokompozit oluşumu görülmüştür. Çalışma,  ekme mukavemetinde ve çizilme sertliğinde iki kat, yapışma mukavemetinde üç kat artış olduğu görülmüştür. Çalışma sonucun da nanokompozitlerin kendi kendini söndürme özelliğini gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Bir diğ er çalışmayı incelediğimiz de (Geim, 2009), bağlayıcı olarak magnezyum fosfat  imentosu ve biyo-agrega olarak mısır sapı kullanılarak yenilikçi, sürdürülebilir ve enerji verimli bir biyo-kompozit malzeme üretilmek istenilmiştir. Bunu sağlarken makine kontrollü yüksek sıkıştırma kuvveti kullanılmıştır. Mısır sapının karakterizasyonu, su absorpsiyonu incelemek üzeri taramalı elektron mikroskobu (SEM), x-ışını kırınımı (XRD) ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) gibi çalışmalar yapışmıştır. Biyokompozitlerin mekanik, higrotermal, yaşlanma ve mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarında basınç dayanımı makine tarafından sıkıştırılan biyo-kompozitlerin sayısı, elle sıkıştırılan biyo-kompozitlerden çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Sıkıştırmadaki artış, mısır sapı biyo-kompozitlerinin yoğunluğunu ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür. Aynı zamanda formüle edilmiş biyobeton, daha düşük karbon ayak izi ile daha az enerji girdisi gerektirdiğinden diğ er biyo-kompozitlere ve geleneksel yapı malzemelerine kıyasla üstün mekanik, higrik ve termal özellikler sergilemiştir. Yapılan  alışmalar neticesinde yeni bir sürdürülebilir biyo-kompozit malzeme üretilmiş ve bu malzemenin eğilme performansı, boşluk içeriği analizi, dayanıklılık ve geçirgenlik gibi özellikler gösterdiği görülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Yeni bir malzeme üretimi yapılırken, katkı maddeleri ilave edilmesiyle malzemenin daha mukavemetli malzemeler elde edildiği yapılan çalışmalar da görülmüştür. Kompozit malzemelerde iki farklı amaçla dolgu veya katkı malzemesi kullanılabileceği bilinmektedir. Bunlardan biri mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılan takviye edici nitelikte olan dolgu maddeleridir. Diğerisi ise ticari alanda yaygın olarak kullanılan ve maliyet düşürücü nitelikte olan dolgu veya katkı maddeleridir.

Materyaller

Deneysel çalışmalarda kullanılan sülfürik asit, hidrojen peroksit, etil alkol ve asetik asit Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Polisan firmasından Epoksi A ve Epoksi B bileşenleri satın alınmıştır. Grafen, silisyum karbür ve çok duvarlı karbon nanotüp Nanografi firmasından temin edilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan Malzemeler Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 12. Kanola yağı



Şekil 13. Sülfirik asit



Şekil 14. Etil alkol



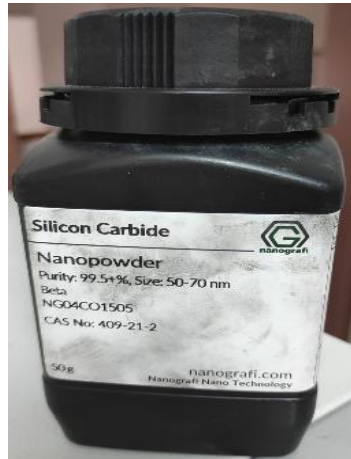
Şekil 15. Hidrojen peroksit



Şekil 16. Epoksi A-B reçine



Şekil 17. Grafen



Şekil 18. Silisyum karbür



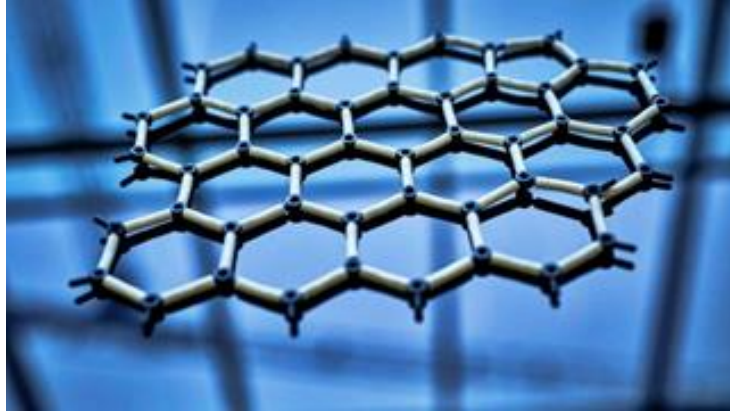
Şekil 19. Çok duvarlı karbür nanotüp



Şekil 20. Asetik asit

Grafen

Grafen, A. Geim ve K. Novoselov tarafından keşfedilmiş olup sadece bir atom kalınlığındadır. Keşfinden bu yana üzerinde yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu olağanüstü malzeme (Şekil 19) mekanik, optik, elektrik gibi çok çeşitli özelliklere sahiptir. Evrendeki bilinen en ince malzeme ve şimdiye kadar ölçülen en güçlü malzemedir. Yük taşıyıcıları devasa içsel hareketlilik sergiler, sıfır etkili kütleye sahiptir ve oda sıcaklığında dağılmadan mikrometreler boyunca hareket edebilir. Grafen, yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Oldukça sert bir malzemedir ve gazlara karşı geçirimsizdir, (Geim, 2009).



Şekil 21. Grafen yapısı (Anonim, 2022)

Son yıllarda, seri üretimine geçilen bu karbon kumaşı, gösterdiği olağanüstü özellikler ile birçok uygulamada tercih edilmektedir. Mükemmel mekanik mukavemeti, yüksek elektronik ve termal iletkenlikleri ve diğer birçok üstün özelliği bunlardan sadece birkaçıdır. Bu özellikler, grafenin (Şekil 20) mevcut uygulamalarda kullanılan diğer malzemelerin yerini alabileceğini de göstermektedir. Bununla birlikte, tüm bu kaliteli özelliklerin tek bir malzeme de birleştirilmesi, grafenin birkaç yıkıcı teknolojiyi de mümkün kılabileceğini göstermektedir, (Geim, 2009).



Şekil 22. Grafen toz hali (Anonim, 2022)

Grafenin özellikleri aşağıda özetlenmiştir;

- Dünyada ki en ince malzemelerden biridir.
- Yüksek elektronik ve termal iletkenliğe sahiptir.
- Bir karbon atomu kalınlığındadır.
- Serttir.
- Gazlara karşı geçirimsizdir.
- Yüksek mukavemete sahiptir

Grafenin kullanım alanları ,(Novoselov,2012);

- Kompozit malzemeler
- Aküler
- Hızlı şarj gerektiren bataryalar
- Küçük ve verimli biyosensörlü cihazlar
- İletken boyalar
- Su filtreleri

Grafen bileşinin malzemeye sağlayacağı güçlü yönleri detaylı olarak verilmiştir. Üretilen kompozitte grafen eklenerek grafenin sahip olduğu yüksek mekanik ve termal özellikler biyokompozite kazandırılmak istenmiştir.

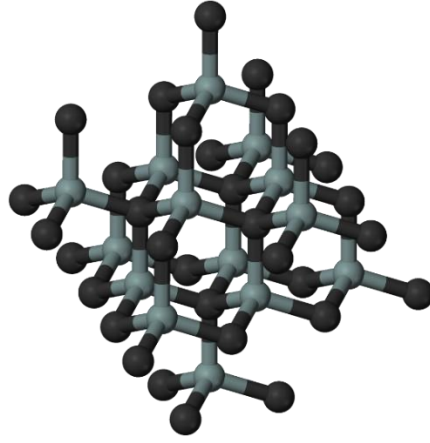
Silisyum karbür

1891 yıllarında E.G. Acheson tarafından silisyum dioksitin (SiO_2) ve grafitin elektrikli bir fırında indirgenmesiyle, olması gerekenden fazla karbon kullanılmış ve silisyum karbür (SiC) bileşiği elde edilmiştir, (Anonim,2022) . Silisyum karbür (Şekil 21) , kristal yapısının ve izotropik oluşundan dolayı diğer birçok malzemeye kıyasla avantaj sağlamaktadır. Genellikle aşınmayı önleyici olarak kullanılır. Bu malzemenin elmasa yakın özellikleri bulunmaktadır. Hafif ve sert olmasından dolayı mükemmel bir termal iletkenliğe sahipken aynı zamanda düşük termal genleşme özelliği de göstermektedir. Asit ve alkali çözeltilere de çok dayanıklıdır, (Otman, 2021). SiC malzemeleri yüksek sıcaklık kararlılığı, yüksek ısı iletkenliği gibi olağanüstü yarı iletken özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda kimyasal ve radyasyon direncine sahiptir. Bu özellikler nedeniyle, SiC güçlü, yüksek frekanslı, yüksek sıcaklığa ve radyasyona dayanıklı cihazlar için umut verici bir malzeme olarak görülmektedir,(Kelez, 2021).



Şekil 23. Silisyum karbür taneleri ve toz hali (Anonim, 2022)

Silisyum karbürün ticarileşmesini sağlayan en önemli özelliklerinden birisi sertliğidir. Silisyum karbürün sertliğini keşfeden Acheson, elması dahi kesebilecek bir yetenekte olduğundan bahsetmiştir. Şekil 22’de yapısı gösterilen SiC, bor karbür kadar sert değildir ancak malzeme sıyırma işlemlerinde daha etkili olduğu görülmüştür. En etkili aşındırıcılar arasında da yer alan silisyum karbür, çeşitli uygulamalarda toz olarak, bazılarının da şekillendirilmiş parçalar halinde ve bazılarında da kaplama şeklinde kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre yapısıda değişkenlik göstermektedir. Toz silisyum karbür, çelik üretiminde ve diğer metalürjik çalışmalarda, zımparalama ve kumlama proseslerinde aşındırıcı olarak ve refrakter çimentolarında katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şekillendirilmiş silisyum karbür ise, refrakter ürünlerde, tuğlalar, tüpler ve diğer şekillerde, elektrikli ısıtıcı elemanlarında ve dirençlerde, yarı iletken olarak çeşitli uygulamalarda, seramik kompozitlerde, radyasyon ölçümlerinde sensör malzemesi olarak (amorfi SiC), sıcaklık ölçümü yapan termokaplarda kılıf malzemesi olarak ve hafif zırh uygulamalarında zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Silisyum karbür kaplamalar ise nükleer atık depolarında, füzyon reaktörü uygulamalarında ve mavi LED’lerde kullanılmaktadır, (Akarsu, 2009).



Şekil 24. Silisyum karbür yapısı (Anonim, 2022)

Silisyum karbürün özellikleri şunlardır, (Kelez, 2021, Anonim,2022):

- Düşük termal iletkenlik
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Yüksek ısı iletkenliği
- Yüksek termal şok dayanımı
- Aşınabilirlik
- Düşük yoğunluk
- Yüksek sertlik
- Yüksek Mukavemet
- Yüksek elastisite modülü
- İyi kayma özelliği
- Yüksek kırılma tokluğu
- Elmaştan daha büyük reaktif indeks

Tablo 3. Silisyum Karbüre Ait Değerler

Ortalama yoğunluk	3.07-3,15 g/cm ³
Isı iletkenliği	120-200 W/m·K
Vickers Sertlik	2000-2600 MPa
Elastisite Modülü	380-430 MPa
Eğme dayanımı	350 MPa
Termal şok direnci	ΔT 1100 K
Max. Çalışma sıcaklığı	1800 °C
Doğrusal genleşme katsayısı	(3,6-4,1·10 ⁻⁶ /K 20-400 °C)

Çalışmalarda silisyum karbür kullanılarak biyokompozitin sertliğinin, aşınma direncinin ve yüzey morfolojisinde iyileştirme yapılmak istenmiştir. %0,5, %1, %1,5, %2 gibi ufak miktarlarda kullanılarak diğer nanopartiküller ile karşılaştırma yapılmıştır.

Çok duvarlı karbon nanotüp

1991 yılında S. Iijima' nın Japonya da yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu kullanarak ilk kez karbon nanotüp görsellerini elde etmiştir [41]. Karbon nanotüp (Şekil 23), grafen olarak adlandırılan iki boyutlu (2D) örülü karbon yapının silindir şeklinde sarılmış halidir. Eşsiz kimyasal, fiziksel, optik ve manyetik özelliklerinden dolayı karbon nanotüpler, endüstriyel ürünlerde ve nanotüp da dahil olmak üzere nanoteknoloji alanında birçok kullanım alanı bulmuştur. Bir karbon nanotüpün yapısı grafitinkine benzer. Her ne kadar kimyasal bileşimleri grafit benzese de, karbon nanotüpler çok izotropiktirler ve nanotüpleri diğer karbon yapılardan ayırt eden ve onlara eşsiz özelliklerini veren ağ yapılarıdır. Bu malzemeler genellikle toz halinde bulunmaktadır, (Bottini,2016).



Şekil 25. (a) Tek duvarlı (b) Çok duvarlı karbon nanotüpler

Karbon nanotüpler, hafif ve boşluklu yapıları, kimyasal kararlılıkları, elektrik iletkenlikleri, yüksek esneklik modülüne sahip olmaları ve bilinen en dayanıklı malzemelerden biri olmaları nedeniyle büyük ilgi çekmiştirler, (Anonim,2022). Grafenin tek katlı olarak sarılmasıyla elde edilen malzeme tek duvarlı karbon nanotüp olarak adlandırılırken, birden fazla sarım yapılarak elde edilen çift katlı yapısı çok duvarlı karbon nanotüpler olarak kullanılmaktadır. Tek duvarlı karbon nanotüp bilinen en basit nanotüp yapısıdır ve çapı 0.4-3 nm arasında değişkenlik gösterir. Çok duvarlı karbon nanotüplerin çapı ise duvar sayısına bağlı olarak 100 nm'ye kadar çıkmaktadır. En az iki tek duvarlı karbon nanotüpün iç içe geçmesiyle oluşan çok duvarlı karbon nanotüpler, tek duvarlı karbon nanotüpe göre termal, iletkenlik, sertlik, çekme kuvveti gibi yönlerden çok farklı özellikler gösterir. Çok karbonlu nanotüpler büyük yarıçaplarından dolayı tek duvarlı karbon nanotüplere oranla daha az eğilebilir. Ve en büyük avantajları üretim maliyeti tek duvarlılara göre daha ucuzdur. Ayrıca çok duvarlı karbon nanotüpler mekanik dayanıklılık konusunda tek duvarlı karbon nanotüplere kıyasla düşük performans göstermektedir, (Anonim,2022).

Çok duvarlı nanotüpün genel özelliklerini incelediğimiz de (Pektürk,2022):

- Yüksek gerilme mukavemeti (10-63 GPa)
- Dayanıklılık
- Maksimum çekme mukavemeti (30 GPa)
- Hafif ve boşluklu yapı
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği
- Yüksek termal iletkenlik (3000 W/K)
- Kimyasal kararlılık
- Düşük yoğunluk

- Gerilme direnci açısından en sert malzeme
- Esneklik modülü yüksek

Kullanım Alanları;

- Mikroskop propları,
- Elektronik cihazlar,
- Kimyasal ve biyo sensörler,
- Biyoteknoloji,
- Güneş enerji teknolojileri,
- Katalizörler ve kapasitörler,
- Kompozit ve nanokompozitler,
- Gaz ve hidrojen depolama teknolojileri ,
- Elektrotlar,
- Nano sistemler,
- Uzay ve havacılık teknolojileri

Çok duvarlı karbon nanotüp takviyesi, biyokompozite mekanik dayanım, sertlik ve elektriksel ve termal iletkenlik gibi üstün özellikler eklenmek istenmiştir. Diğer takviyelerde olduğu gibi buda cüzi miktarda kullanılarak malzemeye sağladığı mekanik ve termal özellikler kıyaslanmıştır.

Epoksi Reçine ve Sertleştirici

Polieposit olarak da adlandırılan epoksi reçinesi plastik bir malzemedir. Yüksek yapıştırma gücü ve kimyasal direnciyle birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu reçine, kimyasal-termal direnç, uzun raf ömrü, güçlü ve sağlam yapışma özelliği ve yüksek mukavemet gibi yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Epoksi reçinesi suya, alkaliye ve aside de yüksek direnç göstermektedir, (Anonim,2022). Epoksi reçinesi Şekil 24’de görüldüğü gibi A ve B olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Reçinenin istenilen özelliklere sahip olması için bileşenlerin uygun oranlarda karıştırılması gerekmektedir, (Anonim,2022).



Şekil 26. Epoksi reçine bileşenleri A-B (Anonim, 2022)

A bileşeni epoksi, B bileşeni sertleştirici olup, tez çalışmasında bu bileşenler kullanım talimatlarına uygun olarak karıştırılmıştır. Karışım içindeki malzemelerin iyice karıştırılması gerekmektedir. Tam karıştırma sağlanmadığında, bağlanma mukavemeti, kimyasal direnç azalabilirken, reaksiyona girmemiş epoksi bileşenleri nedeniyle gaz çıkışı artmaktadır. Karışıma eklenen epoksi ısı üretir ve kürleşmeyi hızlandırır buda elde edilen kürün daha hızlı ve daha sıcak olmasını sağlar.

METOT

Kompozit Üretimi

Bu çalışmada modifiye edilmiş kanola yağ kullanılarak biyo-epoksi sentezi yapılmış ve daha sonra elde edilen karışıma grafen, karbür, nanotüp gibi malzemeler eklenerek üç farklı formda biyokompozit üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda ilk olarak Şekil 25’de görülen kanola yağı, etil alkol, hidrojen peroksit ve asetik asit kullanılarak kanola yağının modifiye işlemi yapılmıştır. 250 mL kanola yağı, 50 mL asetik asit ve 250 mL hidrojen peroksit yaklaşık olarak 5 saat 57 °C’de karıştırılmıştır. 57 °C’nin tercih edilmesinin sebebi literatürde kürleşme sıcaklığı olarak 40-80 °C arası tercih edilmesidir (Zhang, vd., 2013). Hidrojen peroksit yavaş yavaş damlatılarak kanola yağının modifikasyonu yapılmış ve epoksi kanola yağı elde edilmiştir. 150 mL etil alkol, 5 mL sülfirik asit ve 25 ml saf su 4 saat 59 °C’de karıştırılmıştır. Daha sonra ortalama 500 dev/dak (rpm) karıştırma hızıyla birbirine karıştırılarak kürleşmesi için 1 gün bekletilmiştir. Kürleşme işlemi tamamlandıktan sonra gerekli test ve analizler yapılmıştır. Şekil 26’da modifiye işlemine ait görseller verilmiştir.



Şekil 27. Modifiye işleminde kullanılan malzemeler



Şekil 28. Modifiye edilmiş kanola yağı

Modifiye edilen kanola yağından sonra grafen, çok duvarlı karbon nanotüp ve silisyum karbür kullanılarak farklı formlarda karışımlar elde edilmiştir. Çalışmada modifiye edilmiş kanola yağı, epoksi A-B bileşenleri, grafen, silisyum karbür ve çok duvarlı karbon nanotüp kullanılmıştır. Şekil 27’de kompozit üretimi için kullanılan malzemeler görülmektedir.



Şekil 29. Kompozit üretiminde kullanılan malzemeler

Şekil 28’de gösterildiği gibi 4 farklı formda elde edilen karışımlar ayrı ayrı kalıplara dökülerek katılaşması için 1-2 gün bekletilmiş ve kompozit üretimi (Şekil 29) gerçekleştirilmiştir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 30. Biyokompozitlerin kalıplarda bekletilmesi **a)** GF takviyeli biyokompozit **b)** SİC takviyeli biyokompozit **c)** Modifiye edilmiş kanola yağ takviyeli biyokompozit **d)** CNT takviyeli biyokompozit



Şekil 31. Üretilen biyokompozitler

Üretilen biyokompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini belirlemek üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda kompozitlerin yoğunluğu yani kütle/hacim oranı hesaplanmış, kompozitlerin sertliği Shore D cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Biyokompozitlerin ölçülen yoğunlukları yardımıyla gözenekliliği yüzde olarak hesaplanmıştır. Isıl iletkenlik cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı ölçülmüştür. Çekme deneyi ile üretilen biyokompozit malzemelerin elastisite (Young) modülü ölçülmüştür. Termogravimetrik (TGA) ölçüm cihazı kullanılarak üretilen biyokompozit malzemelerin termal kararlılığı incelenmiştir. Üretilen numunelerin yüzey morfolojisini mikroskopik olarak incelemek üzeri SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) cihazı kullanılmıştır. Kimyasal bağ yapısını belirlemek için FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) cihazı ile çalışılmıştır.

Shore D Sertlik Cihazı

Malzemelerinin sertliğini ölçmek için Shore D sertlik cihazı (Şekil 30) kullanılmaktadır. Bu cihaz ile dalma ucu, uluslararası standartlarca tanımlanmış niteliklere sahip yaylı bir mekanizmayla kullanılmaktadır. Ucu malzemeye ne kadar nüfuz ettiği ölçülerek uğrattığı deformasyon üzerinden hesaplama yapılır. Nüfuz az ise malzemenin sertliği yüksektir, fazla ise sertliğinin düşük olduğunu gösterir, (Anonim,2022). Cihazın dalma ucu, içindeki yaylı sistem tarafından hareket ettirilerek malzemeye nüfuz ettirilmiş ve malzeme üzerinde aldığı yol ile sertlik belirlenmiştir.



Şekil 32. Shore D sertlik cihazı

Isıl İletkenlik Katsayısının Ölçülmesi

İletkenlik katsayısı ölçümlerinde, toprak, beton ve polimerler, kompozitler dâhil olmak üzere çeşitli numunelerin termal direncini ve termal iletkenliğini ölçmek için kullanılan taşınabilir bir ölçüm cihazı olan Thermtest Instruments marka TLS-100 model ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 31). Cihaz sensör iğnesi, ince bir ısıtma teli ve 50, 100, 150 mm’lik bir çelik boruya kapatılmış sıcaklık sensöründen oluşmaktadır, (Anonim,2022).

0-10 W/mK⁻¹ aralığında ısı iletkenliğe sahip malzemelerin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Malzemenin ısı iletkenlik ölçümü yapılırken düz ve pürüzsüz yüzeye yerleştirilen numuneye cihazın sensörü temas ettirilmiştir. Sabit bir akım iletilerek sıcaklık artışı belirli bir süre boyunca kaydedilmiştir. Numune ile cihaz sensör arasındaki sıcaklık etkileşiminden yola çıkarak malzemenin ısı iletkenlik katsayısını W/mK⁻¹ cinsinden belirlemiştir.



Şekil 33. Isıl iletkenlik katsayı ölçme cihazı

Çekme Testi

Hazırlanan çekme numuneleri UTEST marka çekme cihazında DIN EN ISO 527-2 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Ön yük 0,1 MPa, çekme hızı 1 mm/min, test hızı 20 mm/min ve başlangıç konumunda çeneler arası mesafe 115 mm dir.

Şekil 32’de görülen çekme deneyi cihazı temel bir ölçüm yöntemi olan çekme deneyinde kullanılır. Malzemenin gerilme özelliklerini belirlemek üzerine kullanılan cihaz ile numune kopuncaya kadar aksenal çekme kuvveti uygulanarak uygulanır. Çekme deneyinde; çekme mukavemeti, elastisite modülü, maksimum uzama ve kesit daralması gibi mekanik özellikler belirlenir. (Ayan,2021).

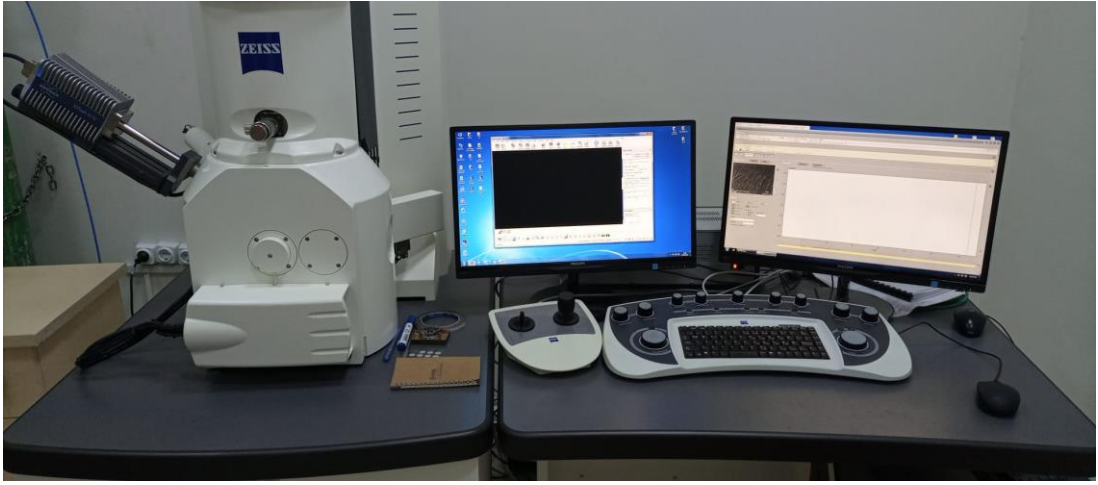
Çekme deneyinde numune çekme test cihazının çeneleri arasına yerleştirildikten sonra kopuncaya kadar çekme kuvveti artırılmıştır. Deney esnasında uygulanan kuvvet ve çekme numunesinin uzaması ve kesitindeki daralma kaydedilmiştir. Numuneler ayrı ayrı test edilmiş ve testler sonucunda elde edilen gerilme-gerinim grafikleri çizilmiştir.



Şekil 34. Çekme test cihazı

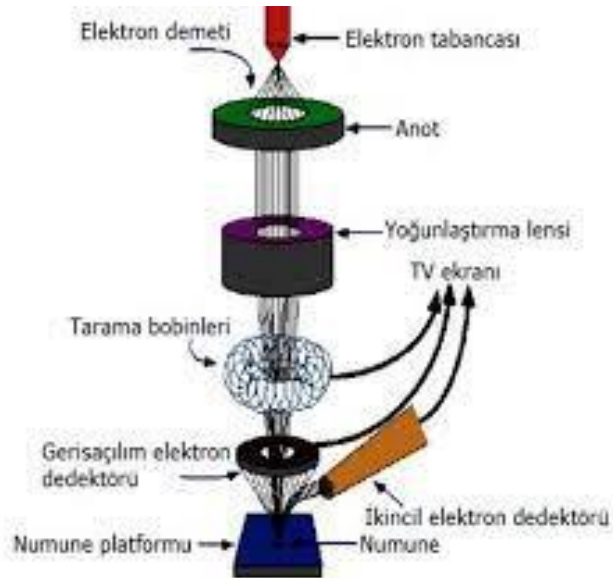
SEM (Scanning Electron Microscope) Cihazı

SEM (scanning electron microscope) cihazı (Şekil 33), odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobudur. Bu cihaz ile incelenen malzemelerin mikro ve nano boyutta görüntülenmesine olanak sağlar. Elektronlar numunedeki atomları tarayarak numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir ve görüntü oluşturmuş olur. SEM cihazlarının en önemli avantajı, yüksek ayırım gücüne sahip olması ve numune hazırlama işleminin çok kolay olmasıdır, (Tuncer, C., 2018).



Şekil 35. SEM (Scanning electron microscope) cihazı

Biyokompozitlerin SEM'de görüntüsünü elde etmek için malzeme numune hücrelerine yerleştirilmektedir. Şekil 34'de SEM prosesi verilmiştir. Çalışmada numune içerisindeki elektronlara yüksek voltaj vererek numune üzerine toplanılması sağlanmış ve elektron demeti tarafından uyarılan numune atomlarının yaydığı ikincil elektronlardan faydalanılmıştır. Numunenin farklı bölgelerinden kopan ikincil elektronların sayısındaki değişim öncelikle demetin yüzeyle buluşma açısına, yani yüzeyin topografisine bağlıdır. Elde edilen sonuçlarla ilgili grafikler elde edilmiştir.



Şekil 36. Sem cihazı şematik görünümü

TGA (Termogravimetrik Analiz Cihazı)

TGA (termogravimetrik analiz) cihazı (Şekil 35) ile yapılan deneylerde, test numunelerinin kütleleri sıcaklık veya zamanın fonksiyonu olarak incelenmektedir. Başka bir ifade ile bir malzeme ısıtıldığında ağırlığının arttığı veya azaldığını gösteren bir yöntemdir. Bu yöntemde bir malzeme bir fırında ısıtılırken veya soğutulurken numunenin ağırlığı ölçülmektedir. Bu cihazlar su kaybını, çözücü kaybını, plastikleştirici kaybını, dekarboksilasyon (bir amino asitten karbondioksitin uzaklaştırılması), piroliz (oksijensiz ortamda yakma), oksidasyon, ayrışma, dolgu maddesi yüzdesi ve ağırlıkça kül oranı ölçebilir. Bu analizlerde iki tür grafik elde edilmektedir; sıcaklığa karşılık numunenin ağırlığının değişim grafiği (termogravimetrik analiz eğrisi) ve sıcaklıktaki artışa karşılık kütle kaybı oranıdır. Genel olarak analiz edilen malzemeler, polimerler, organik malzemeler, yapıştırıcılar, gıda, kaplamalar, reçeteli ilaçlar, kauçuk, kompozitler, laminatlar, petrol, kimyasallar, patlayıcı plastikler ve biyolojik numuneleri içermektedir, (Anonim,2022).

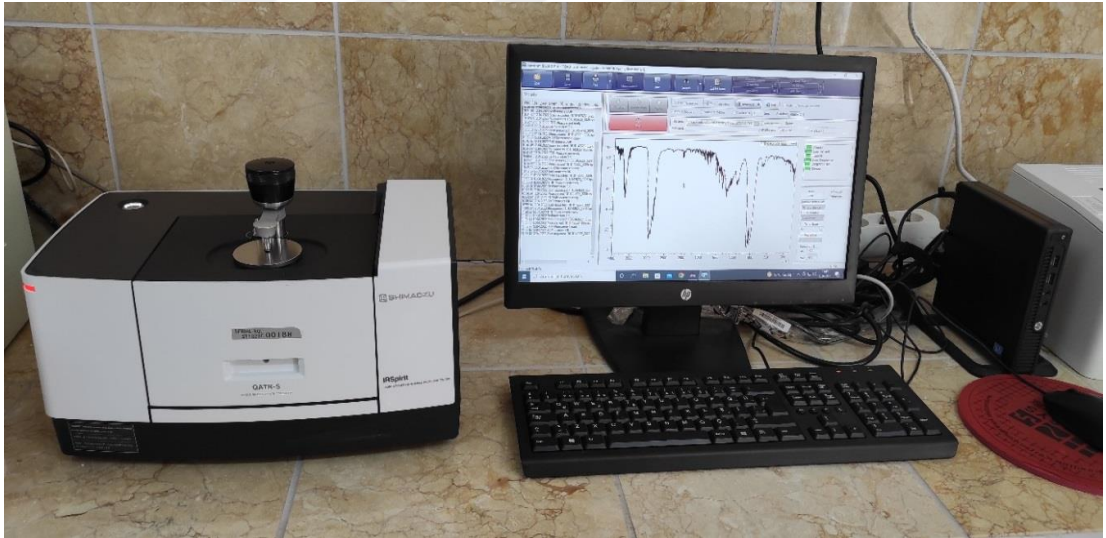


Şekil 37. TGA (Termogravimetrik analiz) cihazı

Çalışmada TGA yöntemi ile biyokompozitlerin termal ilişkisi incelenmiş olup, epoksi kompozitlerin termal bozunma davranışları 25 °C'den 600 °C'ye kadar 10 °C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Epoksi kompozitlerin termal özellikleri de optimum oranda (kütlece % 1,5 nanopartikül ilaveli kompozitler) termogravimetrik analiz (TGA) cihazı ile incelenmiştir. Numuneler önceden belirlenmiş ısıtma hızı ve sıcaklık koşulları altında ısıya tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda sıcaklığa bağlı olarak numunedeki kütle kaybı incelenmiş ve elde edilen sonuçlarla ilgili grafikler çizilmiştir.

FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)

Bir tür titreşim cihazı olan Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), ışığın yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen bir kimyasal analiz yöntemidir. FTIR (Şekil 36) malzeme karakterizasyonu için en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu cihaz ile ışıma şiddeti, zamanın bir fonksiyonu olarak alınarak her boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilmesi sağlanmaktadır. Böylece moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı incelenebilir. FTIR spektroskopisi her türlü organik ve inorganik maddeler, plastikler, polimerler, dolgu maddeleri, boyalar, kauçuklar, kaplamalar, reçineler ve yapışkanlar gibi bileşikleri hızla ve kesin olarak tespit etmek için kullanılmaktadır. Tasarım, imalat ve arıza analizi dâhil olmak üzere ürün ömrünün her aşamasında uygulanabilir. Analiz süresinin kısa olması, elde edilen detaylı bilgiler, düşük maliyetli olması yöntemi oldukça avantajlı kılmaktadır, (Anonim,2022).



Şekil 38. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) cihazı

Çalışma kapsamında FTIR cihazıyla biyokompozitlerin bağ yapısı incelenmiştir. Shimadzu QATR-S Irsipit (S1102SC) cihazı kullanılarak 3450 cm^{-1} ile 3500 cm^{-1} dalga boyu aralığında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneyde, numunelerden küçük bir kesit alınmış ve tablaya yerleştirilmiştir. Numune üzerine belirli ışık, akım gibi uyarıcılar yansıtılarak kimyasal bağ yapısı incelenmiş ve elde edilen sonuçlarla ilgili grafikler çizilerek analiz edilmiştir.



ARAŞTIRMA BULGULARI

Modifiye işlemi yapılmış kanola yağının içerisine grafen, silisyum karbür, çok duvarlı karbon nanotüp partiküller eklenerek biyokompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Elde edilen farklı formdaki biyokompozitlerin bazı mekanik ve termal özellikleri karakterize edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu grafik sonuçlarına göre elde edilen biyokompozitin yoğunluğu, sertliği, mekanik özellikleri, yüzey morfolojisi, kimyasal bağ yapısı incelenmiştir. Tablo 6’da deneysel çalışmalarda kullanılan epoksi yağ ve diğer bileşenlerin miktarı verilmektedir.

Tablo 4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Epoksi-Yağ Miktarı

Deneyler	Epoksi-yağ (g)	Epoksi-A (g)	Epoksi-B (g)
1	0.0	10	5
2	1.0	10	5
3	1.5	10	5
4	2.0	10	5
5	2.5	10	5
6	3.0	10	5

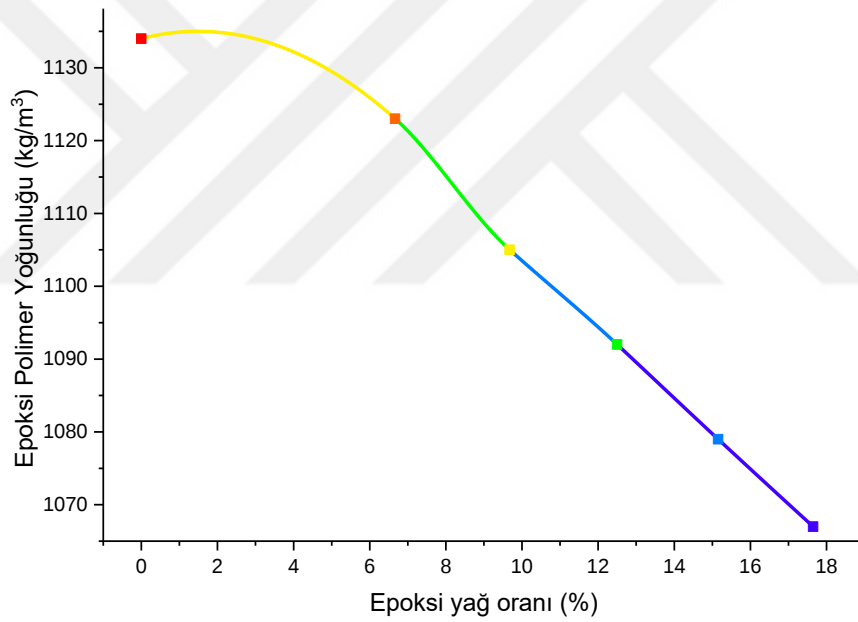
Epoksi kompozitlerin yoğunlukları

Elde edilen farklı formlardaki biyokompozitlerin yoğunlukları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarla ilgili grafikler çizilmiştir. Şekil 37’de üretilen polimer kompozitin içindeki yağ oranı arttıkça yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda biyokompozite % 13 üzerinde modifiye yağ eklenmesi, malzemenin mekanik özelliklerini zayıflattığına rastlanılmıştır (Aydoğmuş, vd., 2022). Tablo 7’ de % 13 ün altındaki epoksi-yağ oranları ile üretilen biyokompozitlere ait çekme dayanım ve Shore-D sertlik değerleri görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde epoksi-yağ oranı düştükçe dayanım azalmakta ve sertlik artmaktadır. Malzemenin dayanım değerinin düşmesi ve sertliğin artması istenen bir durum değildir. Ayrıca maksimum oranda epoksi-yağ kullanılması malzemenin maliyetini düşüreceğinden dolayı modifiye yağ optimum değeri % 12 olarak alınmış ve çalışmalarda bu değer kullanılmıştır.

Tablo 5. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Epoksi-Yağ Oranları

Deneyler	Epoksi-yağ oranı	Çekme Dayanımı (MPa)	Shore-D Sertliği
1	0.0	49,60	78
2	4.0	49,85	77,5
3	8.0	50,05	77
4	12.0	50,20	76

Kompozitin içerisindeki epoksi yağ oranı % 18'e kadar arttırılmış ve bu sayede biyokompozitin yoğunluğu 1,130 kg/m³ seviyelerinden 1,070 kg/m³ seviyelerine kadar azaldığı görülmüştür. Bu durum, katkı oranının artışıyla birlikte yoğunluğu daha düşük dolayısıyla daha hafif malzeme üretilebileceğini göstermektedir.

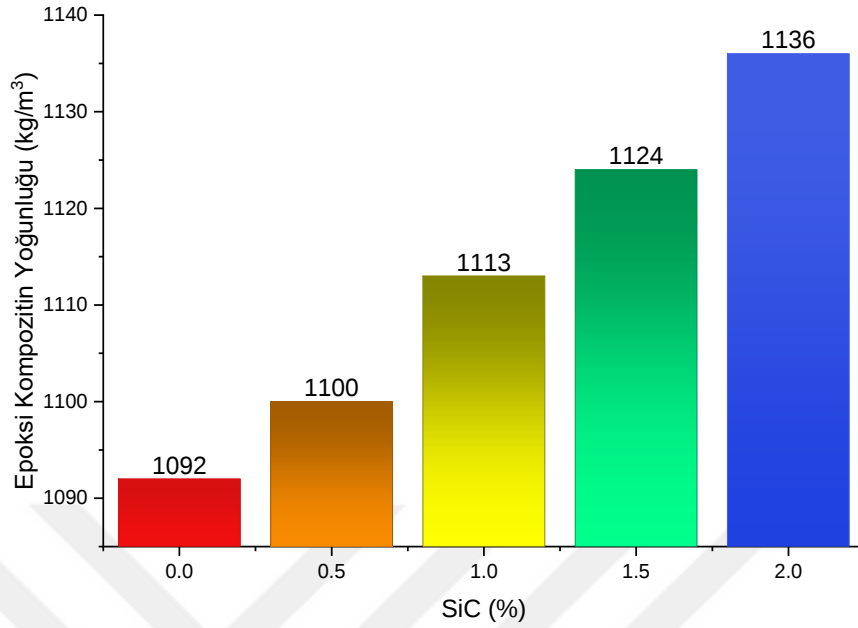
**Şekil 39.** Epoksi yağ oranının epoksi polimerin yoğunluğuna etkisi

Malzeme yoğunluğu, ρ kütlenin hacim büyüklüğüne oranıyla hesaplanır;

$$\rho = m/V \quad (1)$$

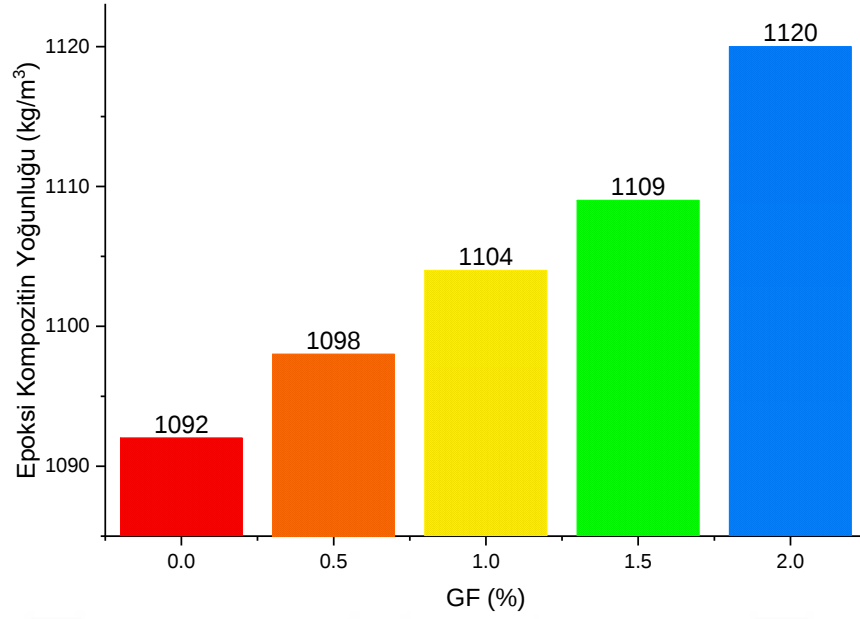
Burada m malzeme kütlesi ve V malzemenin hacmini göstermektedir. Hacmi bilinen kalıplara döküm yapıldıktan sonra elde edilen kompozitlerin kütleleri belirlenmiştir. Eşitlik 1 kullanılarak biyokompozitlerin yığın (matris) yoğunlukları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar grafiğe dökülmüştür. Şekil 38'de silisyum karbür takviyeli biyokompozit, Şekil 39'

da grafen takviyeli kompozit, Şekil 40'da çok duvarlı karbonlu nanotüp takviyeli biyokompozitlerin yoğunluk sonuçları verilmiştir.

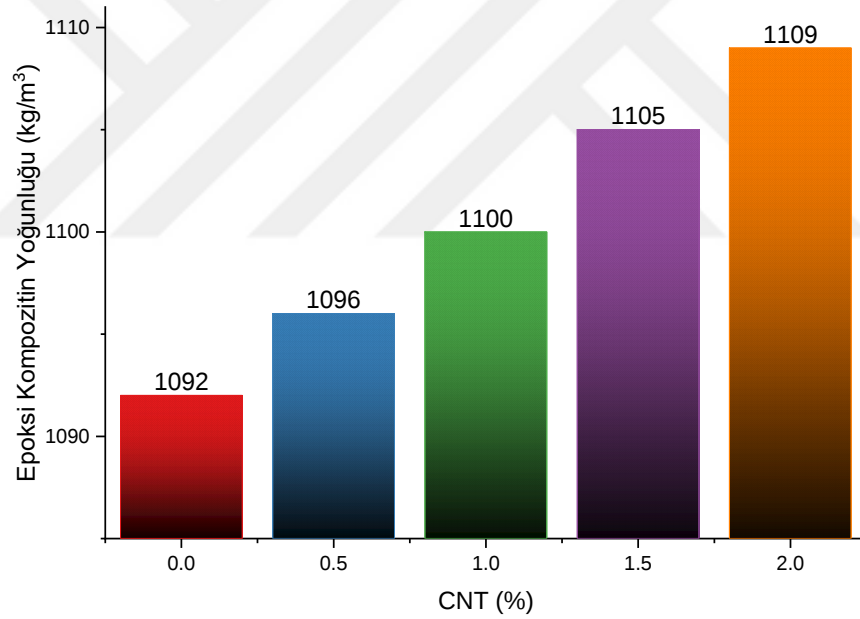


Şekil 40. Silisyum karbür (SiC) oranının epoksi kompozitin yoğunluğuna etkisi

Şekil 38'deki silisyum karbür eklenerek elde edilen biyokompozit yoğunluk değerleri incelendiğinde, silisyum karbür eklenmeden 1092 kg/m^3 olduğu görülmektedir. Silisyum karbür oranı arttırıldıkça biyokompozit yoğunluk değerlerinin yükseldiği gözlemlenmektedir. Benzer şekilde Şekil 39'da grafen oranı arttıkça biyokompozitin yoğunluğu artmaktadır. Aynı şekilde Şekil 40'da çok duvarlı karbon nanotüp oranı ne kadar fazla ise biyokompozitin yoğunluğu o oranda fazla olmaktadır.



Şekil 41. Grafen (GF) oranı ile epoksi kompozitin yoğunluğunun değişimi

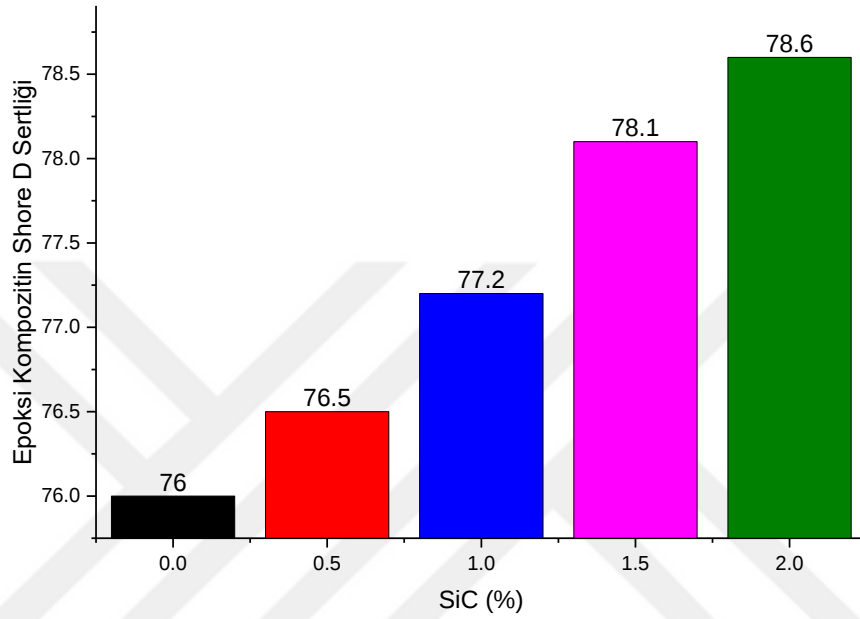


Şekil 42. Çok duvarlı karbon nanotüp (CNT) oranıyla kompozitin yoğunluğunun değişimi

Biyokompozite eklenen bu üç farklı partikül (Silisyum karbür, grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp) kendi arasında kıyaslandıklarında; %2'lik orana bakılacak olursa silisyum karbürdeki yoğunluk değeri 1136 kg/m^3 , grafendeki yoğunluk değeri 1120 kg/m^3 ve çok katmanlı karbon nanotüpteki yoğunluk değeri ise 1109 kg/m^3 seviyesinde kalmıştır. Üç katkı malzemesi arasından yoğunluk değerini en az yükselten CNT olmuştur.

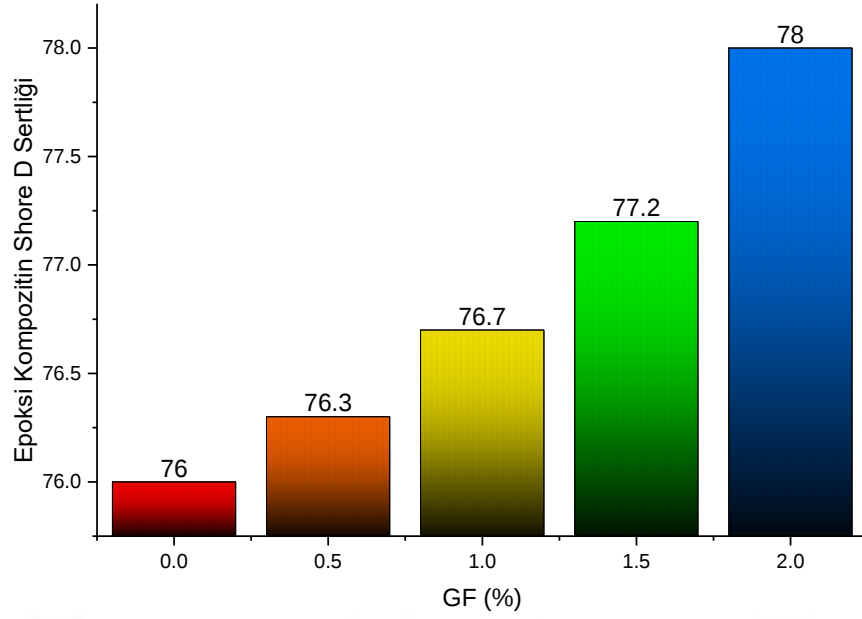
Epoksi Kompozitlerin Shore D sertliği

Silisyum karbür takviyeli kompozitin sertlik deney sonucu elde edilen grafik Şekil 41’ de gösterilmiştir. En etkili aşındırıcılardan biri olan silisyum karbür, malzemelere sertlik, yüksek mukavemet gibi özellikler katmaktadır. Bu nedenle malzemeye eklenme oranı arttıkça kompozitin sertliğinin arttırdığı görölmektedir. %2 oranında silisyum karbür eklenmesiyle sertlik oranının 78,6 gibi bir değere çıktığı görölmektedir.



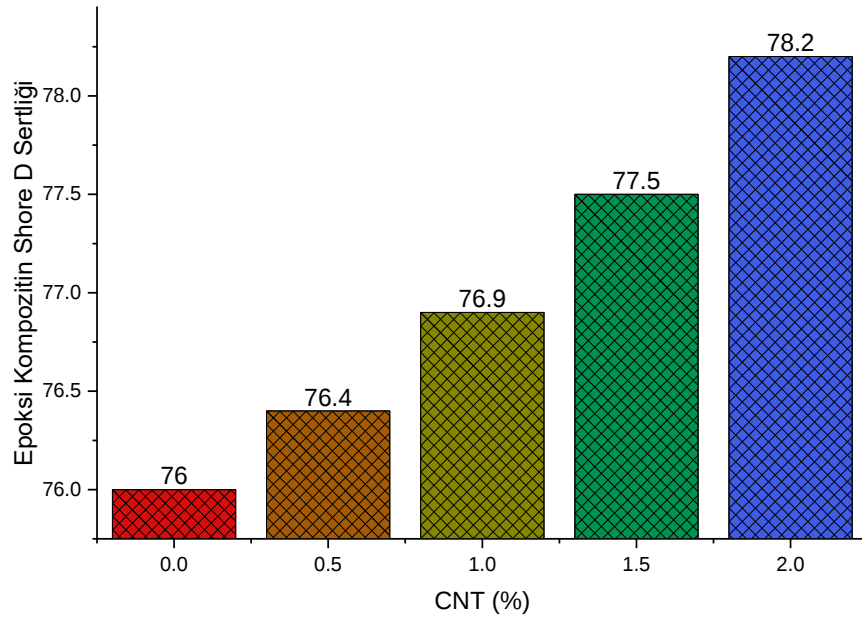
Şekil 43. SiC takviyeli epoksi kompozitin Shore D sertliğinin değışimi

Şekil 42’de farklı oranlarda grafen eklenerek elde edilen biyomkompozitlerin Shore D sertliğiyile ilgili grafiği görölmektedir. Bu grafiğe göre takviye edilen grafen miktarının artmasıyla biyokompozitin sertlik oranının arttığı görölmektedir.



Şekil 44. GF takviyesinin epoksi kompozitin Shore D sertliğine etkisi

Benzer şekilde Şekil 43'te çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli biyokompozitin Shore D sertlik deney sonuçları görülmektedir. Grafik değerlerine göre biyokompozit başlangıç seviyesinde 76,0 iken takviye miktarı arttıkça malzemenin sertliği artmış ve %2 CNT takviyesi ile 78,2 değerine çıkmıştır.

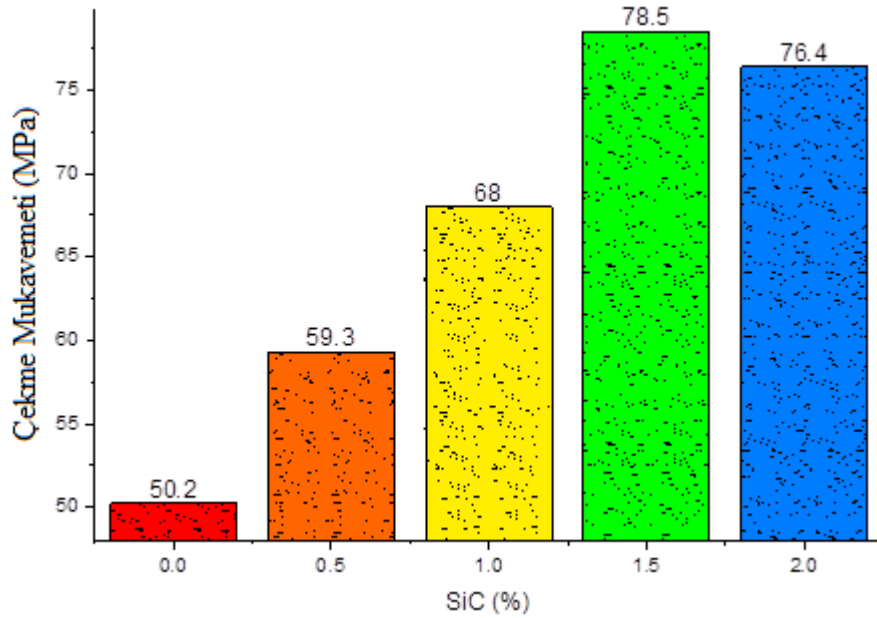


Şekil 45. CNT takviyesinin epoksi kompozitin Shore D sertliğine etkisi

Biyokompozitlere uygulanan Shore D sertliği deneyi sonucunda malzemelere ayrı ayrı eklenen farkı oranlardaki bileşenlerin malzeme sertliğini arttırdığı görölmüştür. Silisyum karbür, grafen, çok duvarlı karbon nanotüp arasında malzemeye en fazla sertlik kazandıran bileşenin silisyum karbür olduğu grafiklerden görölmektedir.

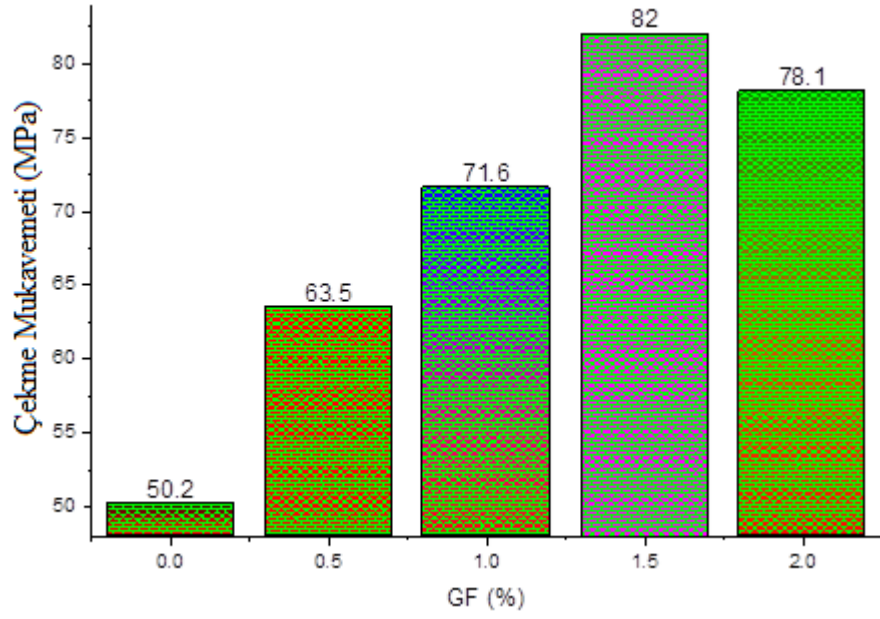
Kompozitlerin Çekme Mukavemeti Sonuçları

Nanopartikül takviyeli epoksi kompozitlerin çekme testlerinde elde edilen sonuçlarla ilgili grafikler çizilmiştir. Şekil 44’de silisyum karbür eklenerek elde edilen biyokompozite ait çekme testi sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde %1,5 oranında silisyum karbür eklenerek elde edilmiş biyokompozit malzemenin çekme mukavemetinin 78.5 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu diğer katkı oranlarına göre en yüksek değerdir.



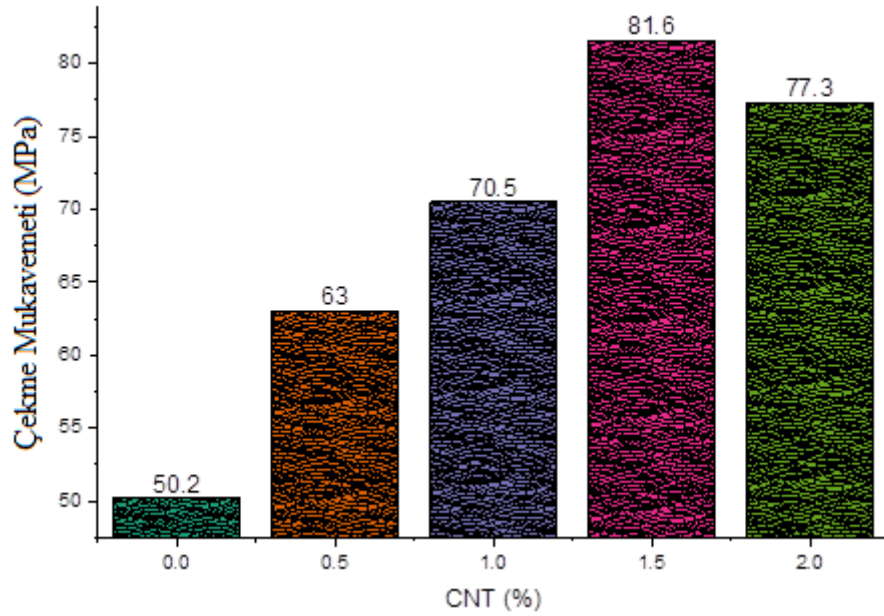
Şekil 46. SiC takviyeli epoksi kompozitin çekme testi sonuçları

Şekil 45’de grafen takviyeli biyokompozit malzemenin çekme testi sonuçları görölmektedir. Benzer şekilde en iyi dayanım değerı %1,5 grafen oranı kullanılarak elde edilen biyokompozitte oluşmuştur.



Şekil 47. GF takviyeli epoksi kompozitin çekme testi sonuçları

Şekil 46'daki grafikte çok katmanlı karbon nanotüp kullanılarak elde edilmiş biyokompozitlere ait çekme testi sonuçları verilmiştir. Diğer katkı malzemelerinde olduğu gibi %1,5 oranda kullanılan çok katmanlı karbon nanotüp ile üretilen biyokompozitin çekme mukavemetinin en yüksek olduğu görülmüştür.

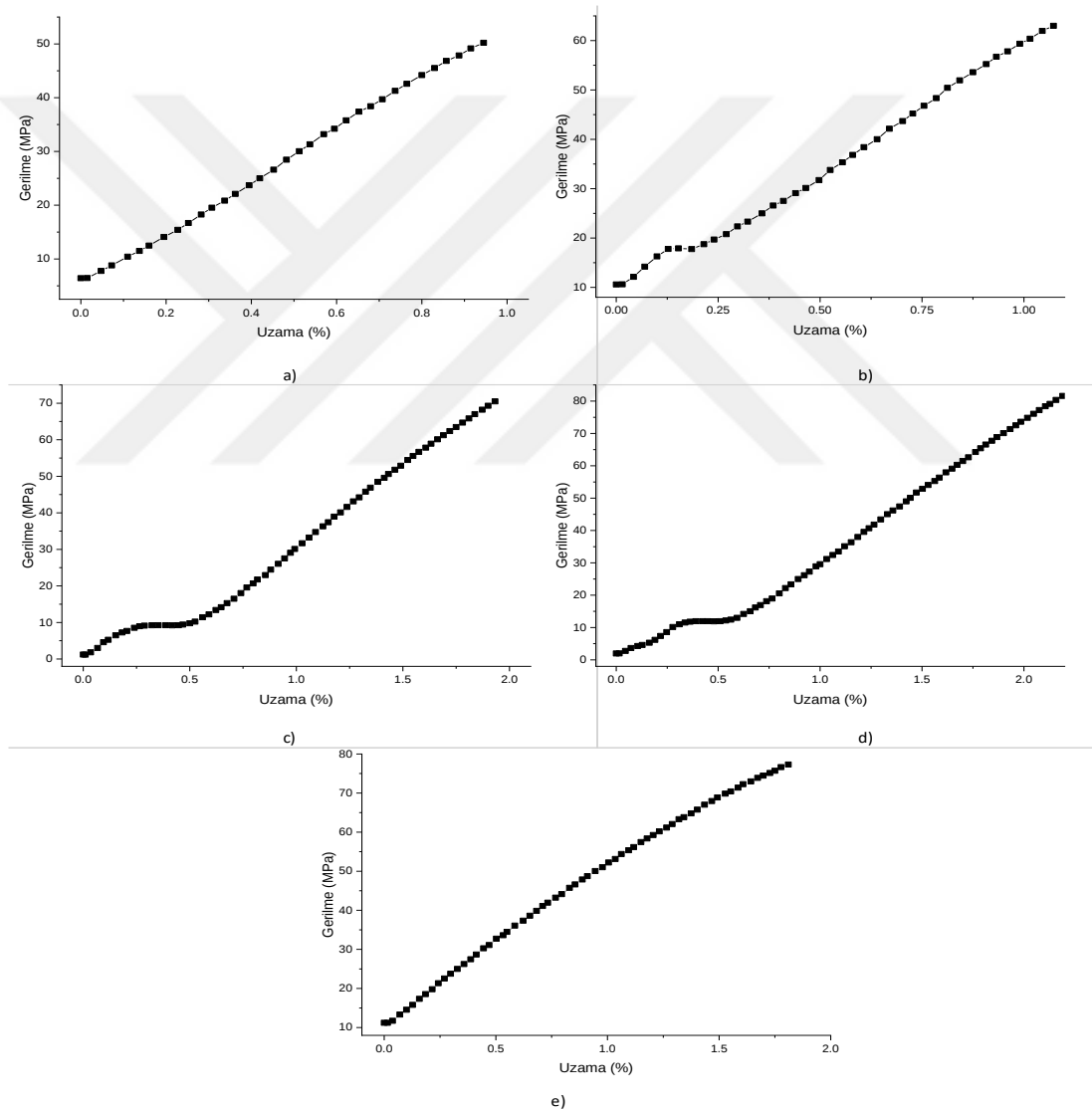


Şekil 48. CNT takviyeli epoksi kompozitin çekme testi sonuçları

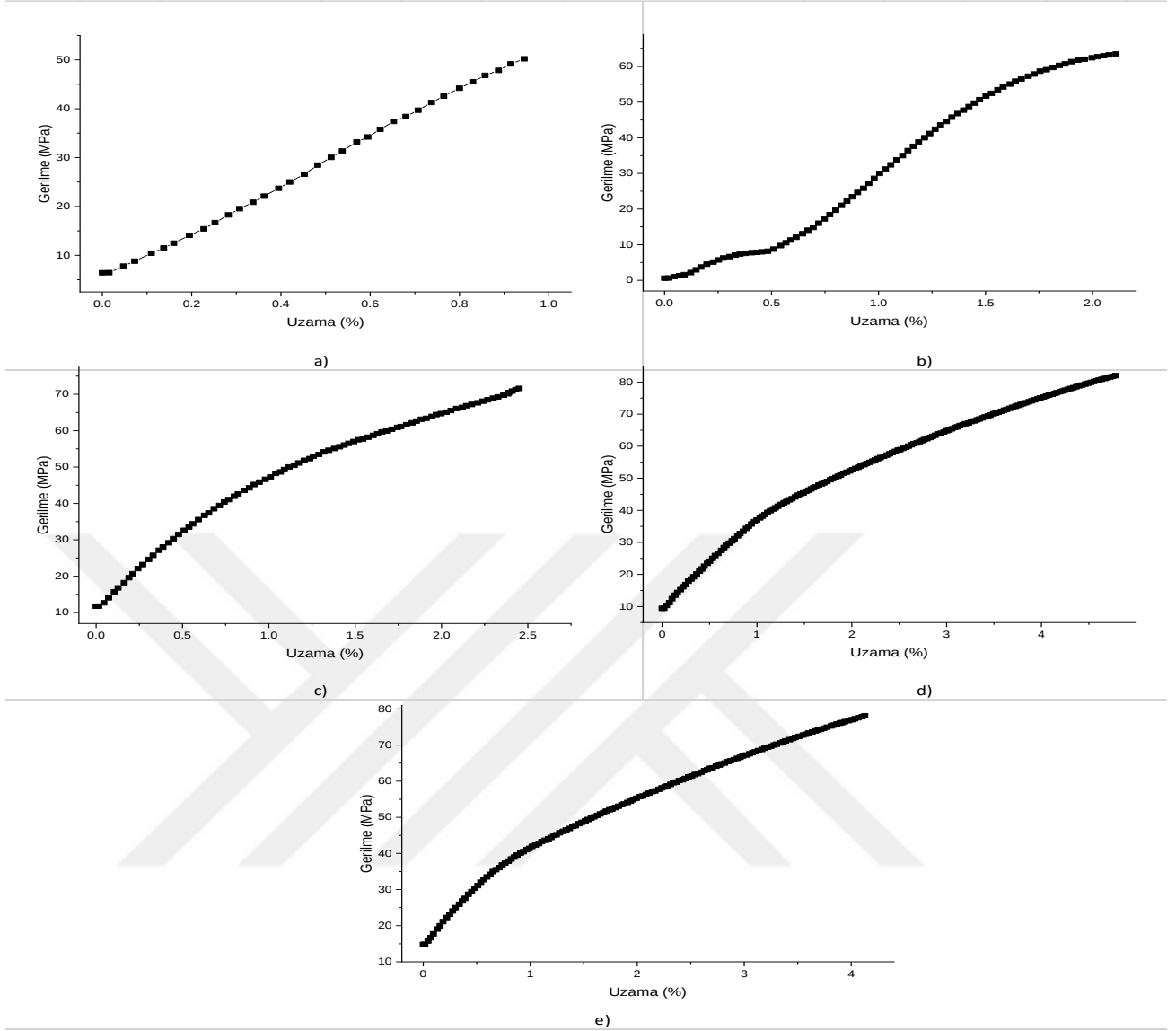
Yukarıdaki üç katkı malzemesi kullanılarak üretilen biyokompozitler içinde en yüksek çekme mukavemet değeri %1,5 grafen katkılı biyokompozit malzemede elde edilmiştir. Maksimum çekme mukavemeti değeri 82 MPa olarak elde edilmiştir. Grafiklerden %1,5 dan fazla oranda katkı malzemesi kullanılması malzeme mukavemetini azalttığı görülmektedir. Bu sebeple %1,5 oranın optimum oran olduğu sonucuna varılabilir.

Kompozitlerin elastisite modülü sonuçları

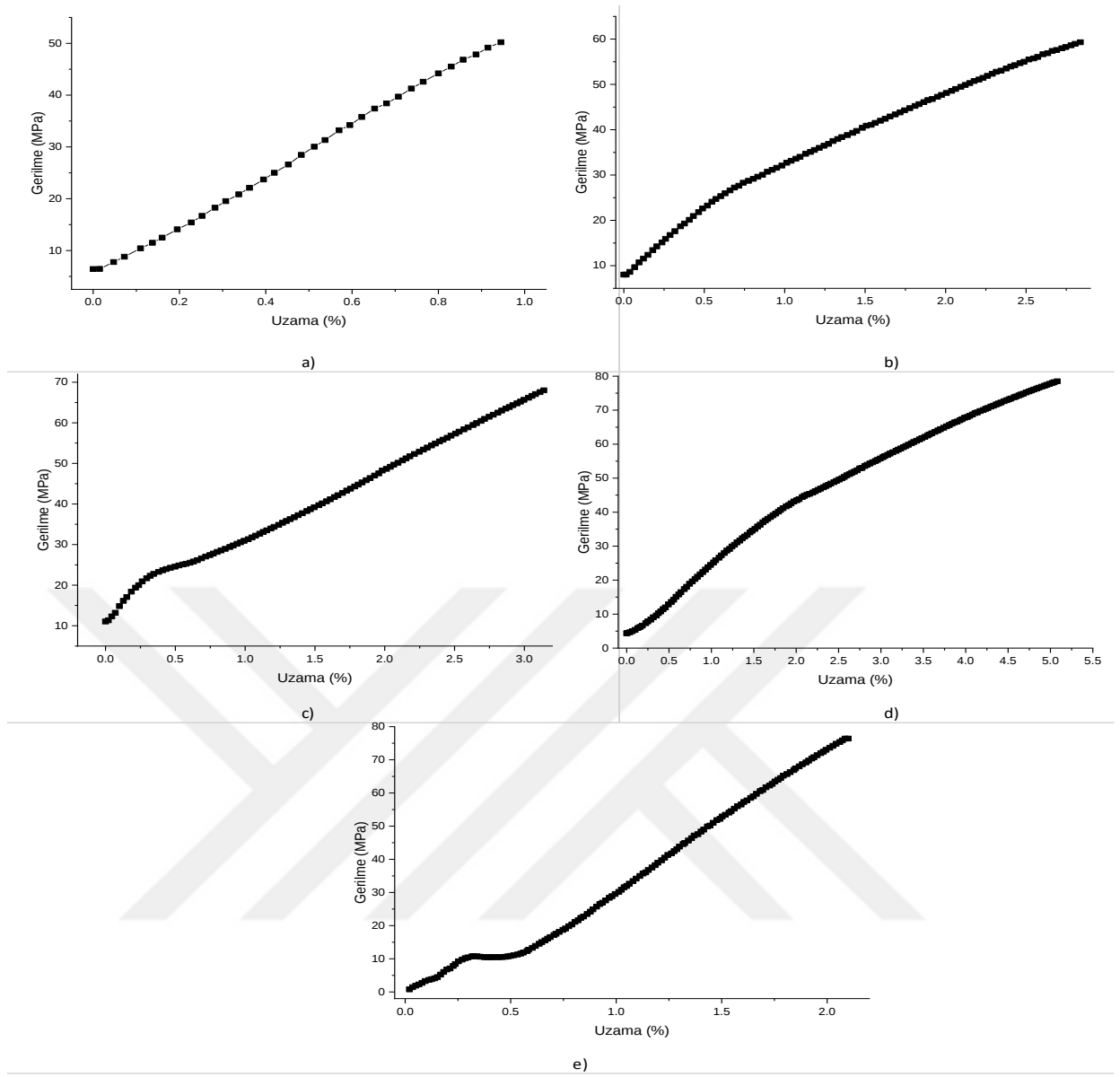
Şekil 47, Şekil 48 ve Şekil 49’ da biyokompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri verilmiştir. Bu grafiklere bağlı olarak malzemenin elastisite modül sonuçları hesaplanmaktadır.



Şekil 47. a) % 0 CNT takviyeli epoksi kompozitin gerilme uzama grafiği b) % 0.5 CNT takviyeli epoksi kompozitin gerilme uzama grafiği c) %1 CNT takviyeli epoksi kompozitin gerilme uzama grafiği d) % 1.5 CNT takviyeli epoksi kompozitin gerilme uzama grafiği e) % 2 CNT takviyeli epoksi kompozitin gerilme uzama grafiği



Şekil 49. a) % 0 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği b) % 0.5 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği c) %1 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği d) % 1.5 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği e) % 2 GF takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği



Şekil 50. a) % 0 SİC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği b) % 0.5 SİC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği c) %1 SİC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği d) % 1.5 SİC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği e) % 2 SİC takviyeli epoksi kompozitin gerilme-gerinim grafiği

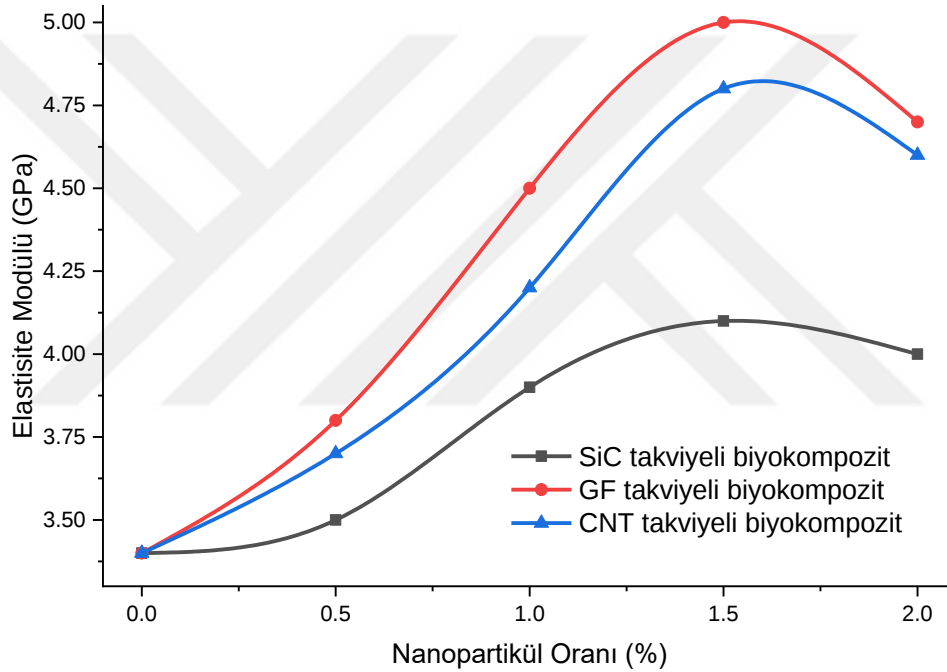
Şekil 50’de nanopartikül katkı oranına bağlı olarak elastisite modülü (E) değerleri belirlenmiştir. Malzemenin elastisite modülü çekme deneyi yapılarak Eşitlik 2 ile belirlenebilir:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Burada σ ve ε sırasıyla elastik bölgede gerilme ve gerinim değerleridir. % 1.5’a kadar eklenen farklı oranlardaki nanopartiküller sonucunda, elde edilen malzemelerin süneklik değerlerinin arttığı gözlemlenmiş ve maksimum elastisite modülü değerine % 1.5 oranında

ulaşılmıştır. Ancak oran % 2'ye çıkartıldığında malzeme şekil değiştirmeye daha fazla direnç göstermiştir. Bu da takviye edilen malzeme miktarının artmasının malzemeye olumsuz yönde etkileyeceğini göstermiştir.

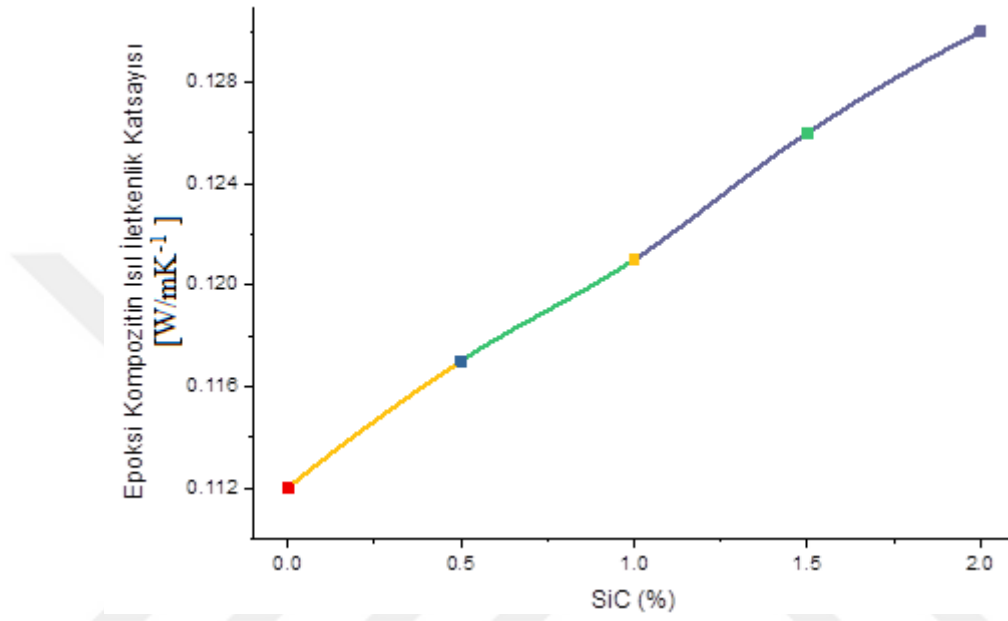
Silisyum karbür, grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp gibi katkı malzemeleri kullanılarak üretilen biyokompozitlerin nanopartikül oranlarına bağlı olarak elde edilmiş elastisite modülü değerleri Şekil 57'de verilmiştir. Şekildeki sonuçlara bakıldığında, % 1.5 katkı oranında en iyi esneklik gösteren malzemeler sırasıyla; 5.00 GPa ile grafen takviyeli biyokompozit, 4.75 GPa ile çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli biyokompozit ve 4.00 GPa ile silisyum karbür takviyeli biyokompozit olmuştur. Yani en iyi esnekliği grafen takviyeli biyokompozit gösterirken, en az esnekliği ise silisyum karbür göstermiştir.



Şekil 51. Nanopartikül takviyeli biyokompozitlerin elastisite modülleri

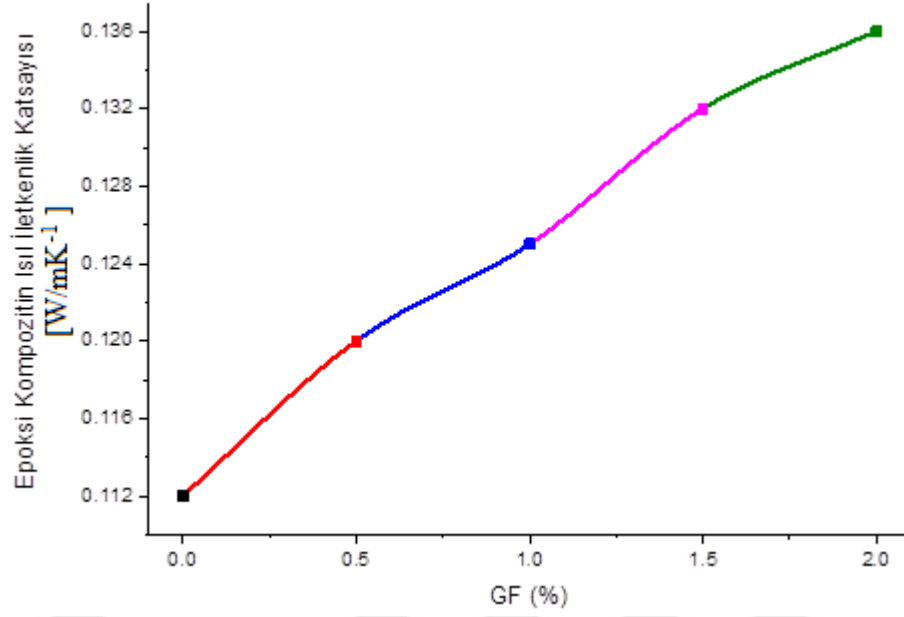
Epoksi kompozitlerin ısı iletkenlik Katsayıları

Üretilen biyokompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı testleri sonuçlarından elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir. Şekil 51’de silisyum karbür takviyeli biyokompozite ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre biyokompozitin içindeki silisyum karbür miktarı arttıkça biyokompozitin ısı iletim katsayısının da arttığı görülmektedir.



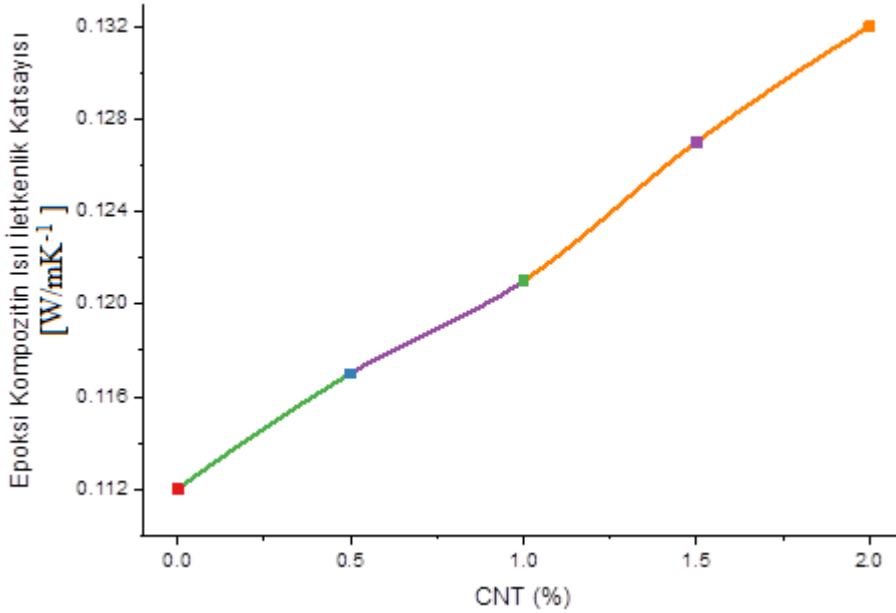
Şekil 51. SiC takviyesinin epoksi kompozitin ısı iletkenlik katsayısına etkisi

Benzer şekilde Şekil 52’de gösterilen grafen katkılı biyokompozit malzemeye eklenen nanopartikül oranının artmasıyla malzemenin ısı iletkenliğinde artış görülmüştür. Başlangıçta 0,112 W/mK⁻¹ seviyesinde olan ısı iletkenlik %2 kadar grafen eklemesiyle 0,136 W/mK⁻¹ seviyesine kadar çıkmıştır.



Şekil 52. GF takviyesinin epoksi kompozitin ısı iletkenlik katsayısına etkisi

Şekil 53’de çok duvarlı karbon nanotüp katkısının biyokompozitin ısı iletkenlik katsayısına etkisiyle ilgili grafik verilmektedir. Grafen miktarının %2 eklenmesiyle ısı iletkenlik katsayısı 0,136 W/mK⁻¹ değerine kadar yükselmiştir.



Şekil 53. CNT takviyesinin epoksi kompozitin ısı iletkenlik katsayısına etkisi

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, biyokompozitin içerisine eklenen takviye oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısının da yükseldiği görülmüştür. Başka bir ifadeyle üretilen biyokompozitin ısı iletkenliğinin iyileştiği söylenebilir. Elde edilen sonuçlara göre GF, CNT ve SiC biyokompozitin ısı iletkenlik değerlerini $0,112 \text{ W/mK}^{-1}$ den sırasıyla $0,136 \text{ W/mK}^{-1}$, $0,132 \text{ W/mK}^{-1}$ ve $0,130 \text{ W/mK}^{-1}$ değerlerine kadar yükseltmiştir. Burada en etkin ısı iletkenlik katsayısı artışını gerçekleştiren nanopartikülün GF olduğu tespit edilmiştir.

Kompozitlerin SEM Görüntüleri

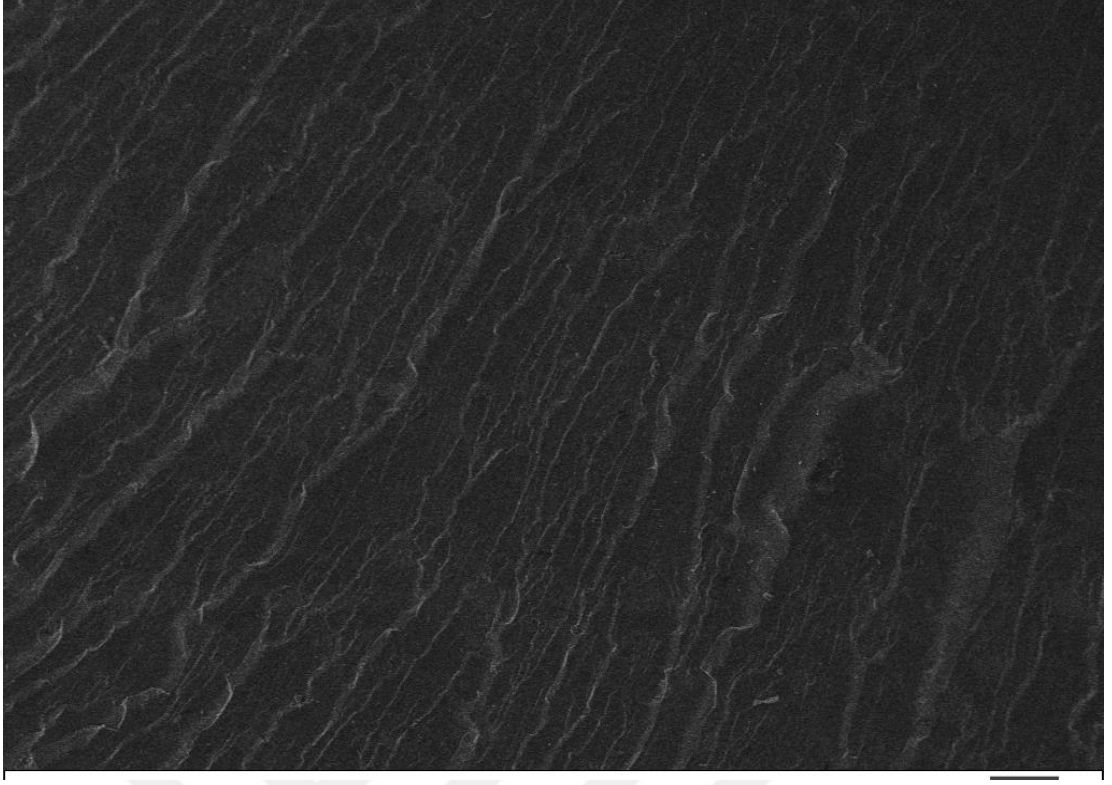
Kütlece farklı oranlarda nanopartikül takviyesi yapılarak epoksi kompozitlerin yüzey morfolojileri incelenmiş ve fiziksel ve kimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Kütlece % 1,5 nanopartikül takviyesinin optimum sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Daha yüksek oranlarda nanopartikül ilavesi epoksi kompozitin yüzey morfolojisini bozduğu gözlemlenmiş ancak daha yüksek oranlarda nanopartikül katkısının epoksi kompozitin yüzey morfolojisini bozduğu görülmüştür. Ayrıca bu tez çalışmasında optimum oranlarda nanopartikül kullanılarak ekonomik epoksi kompozit üretilmesi hedeflenmiştir.

Şekil 54’de silisyum karbür takviyeli biyokompozitin görüntüsü verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre silisyum karbürün karışım içerisine homojen dağıldığı ve bu sebeple üretilen kompozitin yüzey morfolojisine pozitif katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Bu durum, bileşenlerin birbiri ile uyumlu olduğunu ve aralarında boşluk olmadığını göstermektedir.



Şekil 54. Kütlece % 1,5 SiC takviyeli epoksi kompozitin SEM görüntüsü

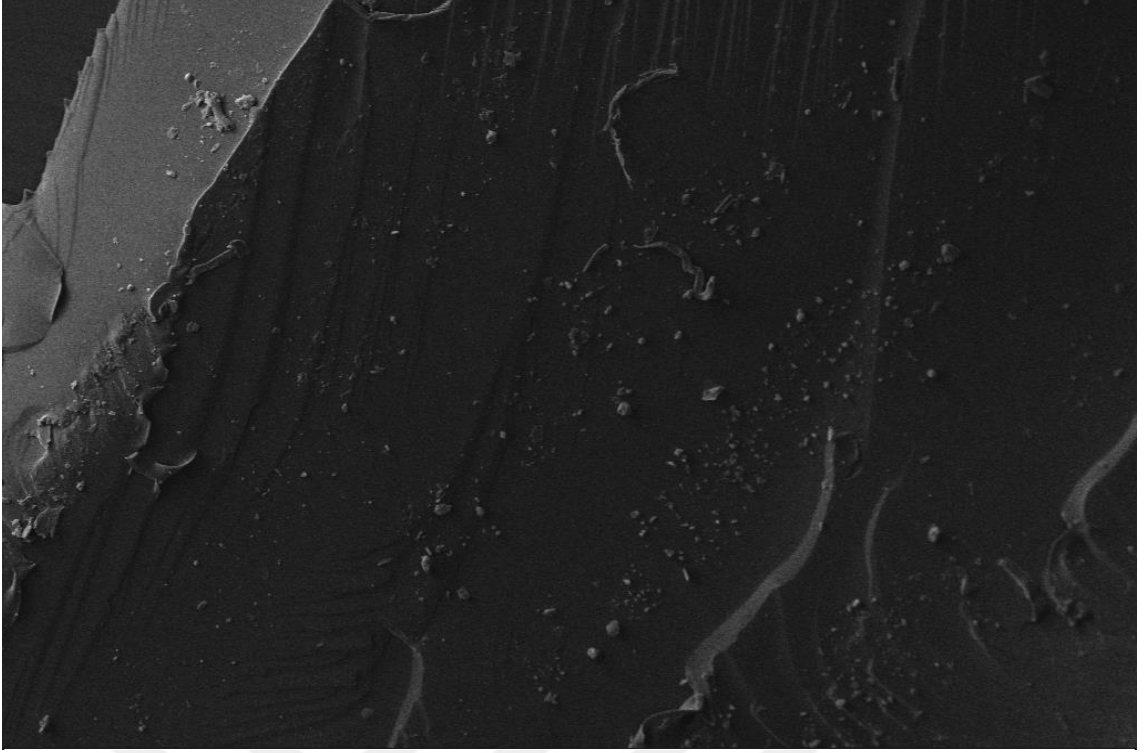
Şekil 55’de ise %1,5 oranında grafen katkılı biyokompozitin SEM görüntüsü verilmiştir. Silisyum karbür takviyeli kompozite kıyasla bu malzemenin yüzeyinde hafif dağılmalar oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 55. Kütlece % 1,5 GF takviyeli epoksi kompozitin SEM görüntüsü

Şekil 56’da çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli kompozite ait SEM görüntüleri verilmiştir. Buna göre bu malzemenin yüzeyinde küçük morfolojik bozukluklar görülmüştür. Bunun sebebinin, hazırlanan karışımın homojen bir karışım olmamasından veya partikül ile polimer kompozit arasında iyi bir etkileşim olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elde edilen diğer SEM görüntülerinden daha farklı bir sonuç çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli kompozitte elde edilmiştir. Görülen sonuca göre bu malzemenin yüzeyinde küçük morfolojik bozukluklar görülmektedir. Bu tür görüntüler hazırlanan karışımın homojen bir karışım olmadığından veya partikül ile polimer kompozit arasında iyi bir etkileşim olmamasından meydana gelebilmektedir.



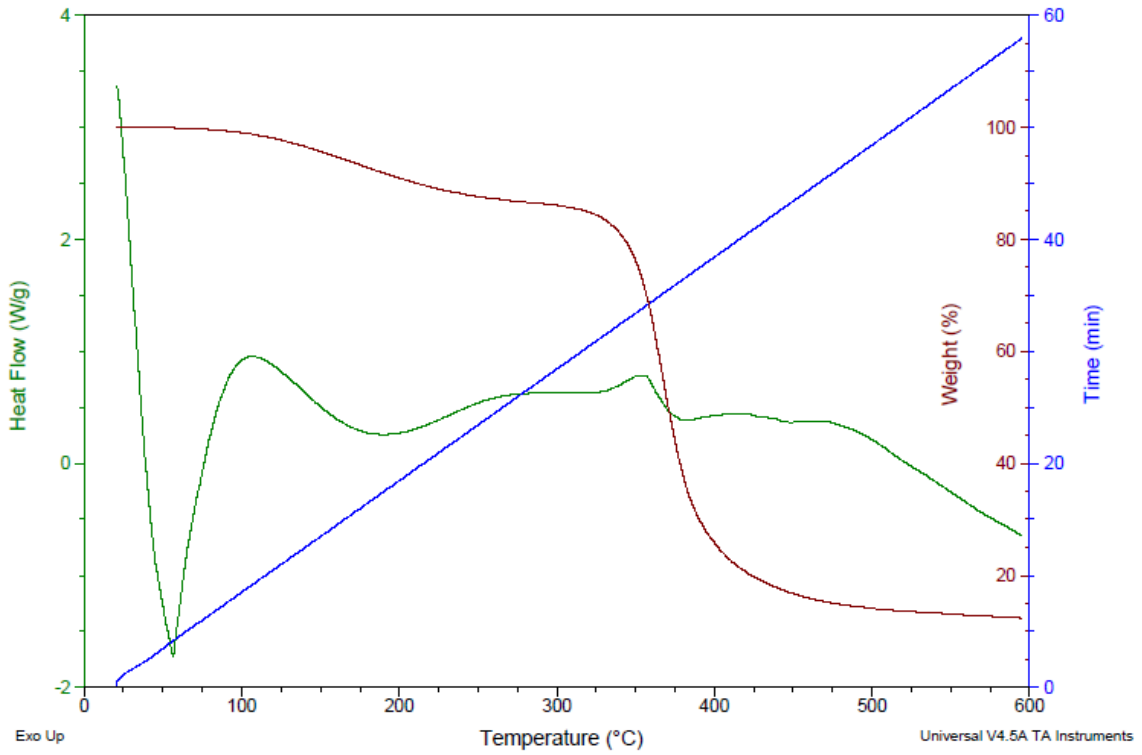
Şekil 56. Kütlece % 1.5 MWCNT takviyeli epoksi kompozitin SEM görüntüsü

Elde edilen SEM görüntüleri sonucunda en iyi yüzey morfolojisine silisyum karbür takviyeli kompozitte elde edilmiştir. Silisyum karbür takviyeli kompozitin yapısında partiküllerin iyi dağıldığı ve elde edilen malzemenin homojen bir dağılım gösterdiği değerlendirilmiştir.

Kompozitlerin TGA Analiz Sonuçları

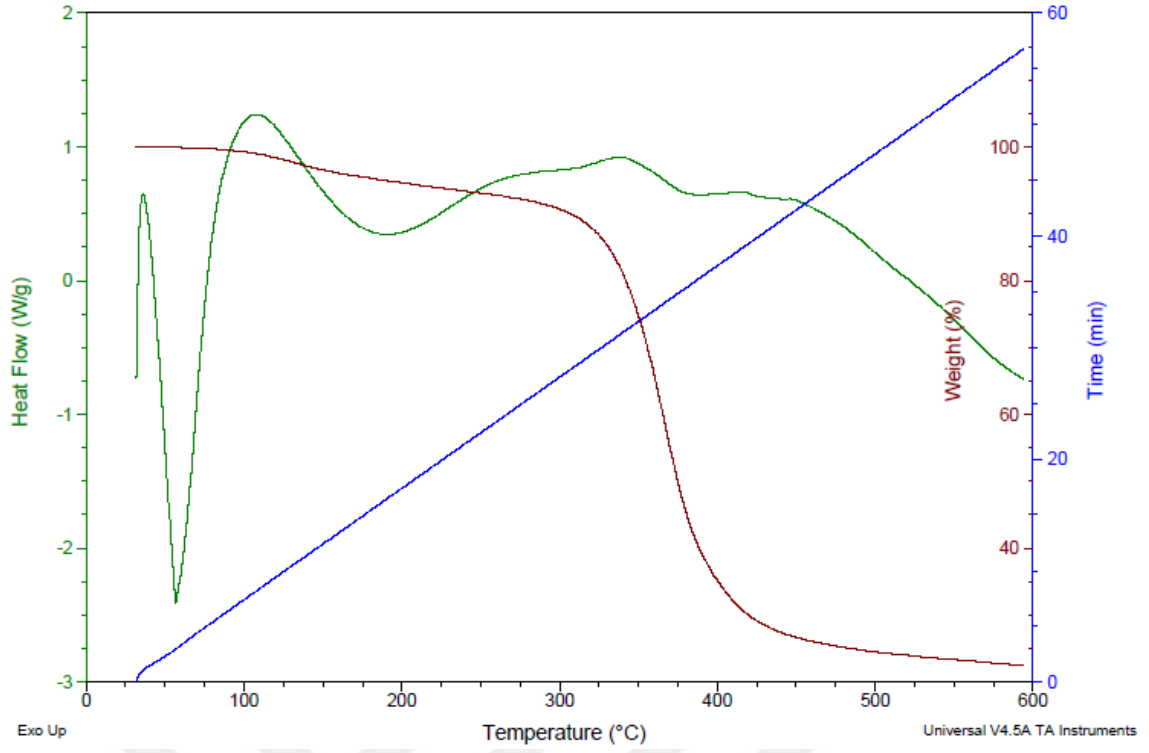
Termogravimetrik Analiz (TGA) ile biyokompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak kütle değişimleri incelenmiştir. Biyokompozitlerin termal bozulma davranışları 25 °C sıcaklıktan 600 °C sıcaklığa kadar 10 °C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. TGA analizlerinden elde edilen sonuçlara göre en iyi sonuçlar GF ve SİC katkılı biyokompozit malzemelerden elde edilmiştir.

Şekil 57’de SİC takviyeli biyokompozitin TGA analiz sonucuna göre elde ettiğimiz grafik verilmiştir. Sonuca göre 150°C’den itibaren kompozitte termal bozunmalar başlamıştır. Yani bu sıcaklığa kadar fiziksel safsızlıklar uzaklaşmış 225 °C sıcaklıkta ise kimyasal bozunmalar başlamıştır. Sıcaklık 325 °C ile 375 °C arasında bir değere ulaştığında hızlı olarak termal bozunmalar gerçekleşmiştir. 425 °C’de tekrar yavaşlayarak en sonda neredeyse bitme seviyesine gelmiştir. Yani bu malzeme kütlesi % 100 iken 500 °C üzerine çıkarken malzeme kütlesi %10 kadar düşmüştür.



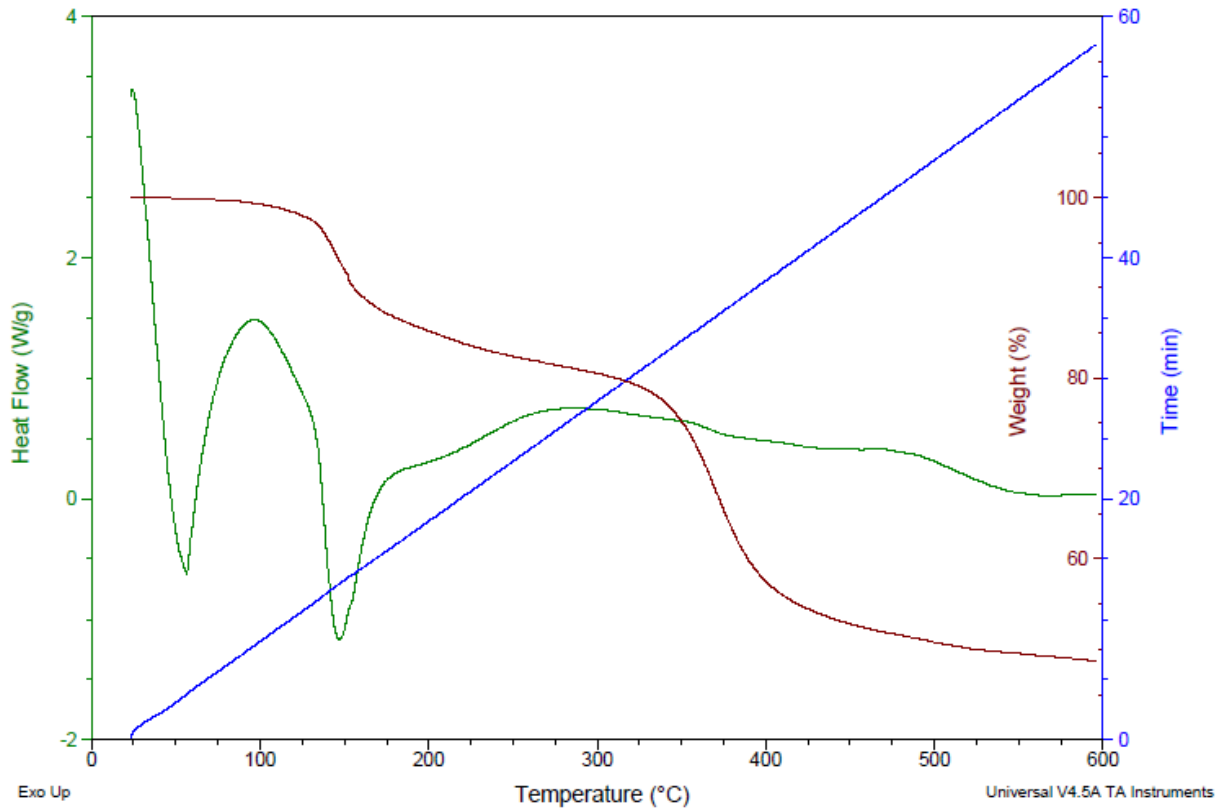
Şekil 57. Kütlece % 1,5 SiC takviyeli epoksi kompozitin TGA eğrisi

Grafen takviyeli biyokompozitin TGA analiz sonucu Şekil 58’de verilmiştir. Burada sıcaklığın artışıyla birlikte malzemede kütle kaybı yaşandığı görülmüştür. Oda sıcaklığından 150 °C sıcaklığa kadar nem ve uçucu bileşenler uzaklaşmış ve 300 °C sıcaklıktan itibaren kimyasal bozunmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Malzemenin kütlesi 300 °C’ye kadar yavaş yavaş düşerken bu sıcaklıktan sonra ani bir düşüş yaşamış ve 500 °C üzerine çıktığında malzeme neredeyse yok olmuştur. %100 olan malzeme kütlesi 600 °C’den sonra %3 e kadar düşmüştür.



Şekil 58. Kütlece % 1,5 GF takviyeli epoksi kompozitin TGA eğrisi

Şekil 59’da çok duvarlı karbon nanotüp takviyesi TGA sonucu verilmiştir. Bu grafik sonucuna göre malzeme 100 °C de fiziksel kayıplara uğrarken 150 °C’den sonra hızla bozunmaya başlamıştır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte kimyasal kayıplar hızla başlamış ve malzemenin kütlesi azalmıştır.



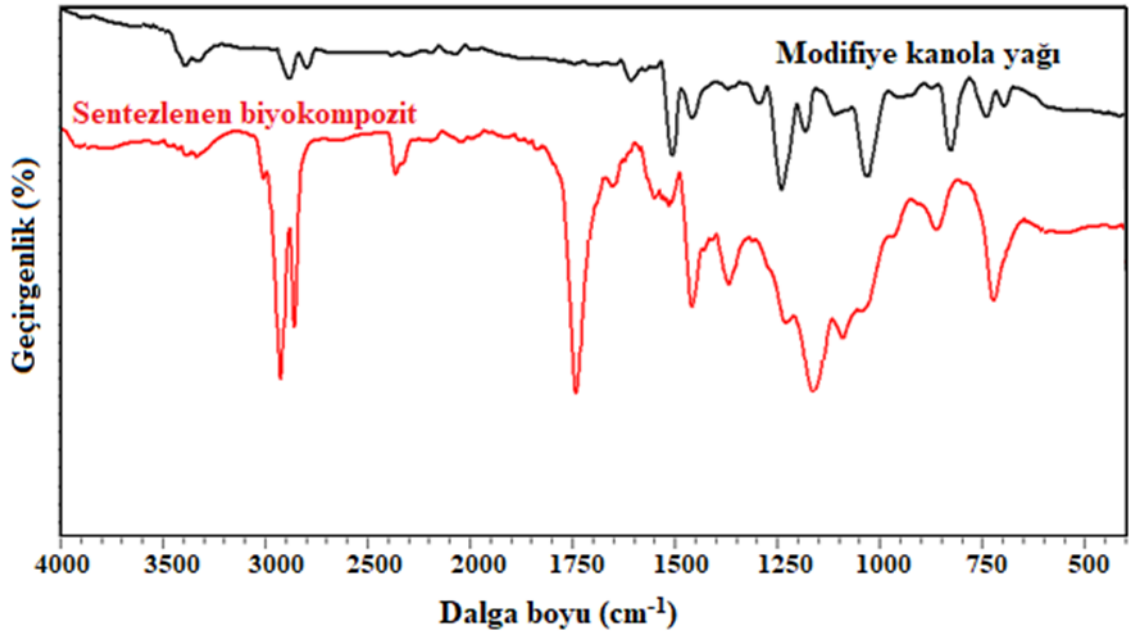
Şekil 59. Kütlece % 1,5 CNT takviyeli epoksi kompozitin TGA eğrisi

Biyokompozitlerin TGA analiz sonuçlarına göre; sıcaklık miktarının artmasıyla birlikte malzemelerde kütle kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Biyokompozitler 150 °C sıcaklığa ulaştığında nem, su buharı gibi fiziksel safsızlıklar uzaklaşmıştır. Yaklaşık 225 °C sıcaklıkta malzemeler yumuşamaya başlamıştır ve 300 °C'den sonra kimyasal bozunmalar hızlanarak malzemenin kütle kayıpları artmıştır. Kıyaslanan malzemeler arasında sıcaklığa en dirençli malzemelerin GF ve SİC takviyeli biyokompozit malzemeler olduğu görülmüştür.

Kompozitlerin FTIR spektrum sonuçları

Şekil 60'daki modifiye kanola yağı ve kanola yağı bazlı epoksi biyokompozitin FTIR analizi sonuçları verilmiştir. Analizler Shimadzu QATR-S spektrofotometre cihazıyla yapılmış olup, modifiye edilmiş kanola yağının 3450 cm^{-1} ile 3500 cm^{-1} dalga boyu aralığında hidroksil bağlarının gerilme titreşimleri görülürken, 2950 cm^{-1} ile 2850 cm^{-1} dalga boylarında CH gruplarının gerilme titreşimleri görülmüştür. Modifiye epoksi kanola yağındaki -C-O-C- gruplarının pikleri ise 800 cm^{-1} dalga boyunda gözlemlenmiştir. Bu tez çalışmasında modifiye kanola yağı takviyeli biyokompozit sentezlenmiş ve spektrumlarda epoksi bağlarının kimyasal reaksiyonla tüketildiği belirlenmiştir. Elde edilen biyokompozitin 1740 cm^{-1} dalga

boyunda güçlü karbonil pikinin olması epoksi kompozitte kürleşmenin gerçekleştiğini göstermektedir.



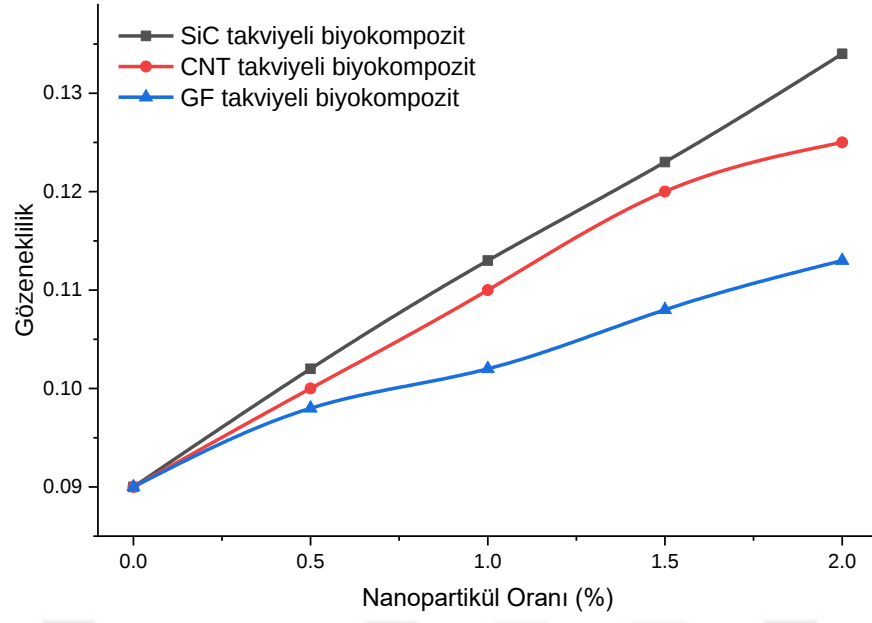
Şekil 52. Modifiye kanola yağı ve sentezlenmiş epoksi biyokompozitin FTIR spektrumları

Kompozitlerin gözeneklilik oranlarının belirlenmesi

Standart kalıplarda üretilen kompozitlerin matris yoğunluğu kütle/hacim oranı ile hesaplanmaktadır. Kompozitlerin partikül yoğunluğu ise polimer taneleri 5 mikron boyutunda öğütüldükten sonra 10 ton'luk bir yük altında basınçla sıkıştırılıp tablet haline getirildikten sonra ölçülmüştür. Hem tanecik boyutu küçültüldüğü hem de basınç altında sıkıştırma yapıldığından dolayı partiküllerin gerçek yoğunluğu hesaplanmıştır. Burada da tabletin kütlesi hassas bir terazi ile ölçülüp tablet hacmine bölünerek bulunmuştur.

$$n = 1 - \frac{\rho_{yığın}}{\rho_{partikül}} \quad (3)$$

Partikül katkılı kompozitlerin gözeneklilik (porozite) oranları (n) Eşitlik 3 kullanılarak belirlenmiştir. Burada ρ yığın ve ρ partikül sırasıyla yığın ve partikül yoğunluklarıdır. Şekil 61'de kompozitlerin gözeneklilik modülü sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 53. Nanopartikül takviyeli biyokompozitlerin gözenekliliği

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada kanola yağından elde edilen epoksi hammaddesi ile biyokompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Kanola yağı çeşitli modifikasyon işlemleri yapılarak epoksi-yağ haline dönüştürülmüştür. Epoksilenmiş kanola yağından epoksi reçine ile fiziksel ve kimyasal olarak uyumlu bir karışım elde edilmiştir. Kanola yağı bitkisel yağ olması, ekonomik olması ve geri dönüştürülebilir olması nedeniyle tercih edilmiştir. Böylelikle atık yağlar değerlendirilerek geri dönüşüme kazandırılabilir. Elde edilen bu karışım kullanılarak üç farklı nanopartikül (SiC, GNP, MWCNT) ayrı ayrı eklenerek üç farklı yapıda biyokompozit malzeme üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen üç farklı yapıdaki biyokompozitlerin yoğunluğu, sertliği, mekanik özellikleri, yüzey morfolojisi, kimyasal bağ yapısı ve ekonomikliği değerlendirilmiştir.

% 12'den daha düşük oranlarda epoksi-yağ kullanımı biyokompozitin özellikle mekanik özelliklerini zayıflattığı gözlemlenmiştir. Düşük oranlarda epoksi-yağ kullanıldığı durumda nanopartikül miktarı artacağından maliyetli ve petrokimyasal maddelerin kullanım oranı yüksek olacaktır. Ayrıca deneysel çalışmalarda silisyum karbür (SiC), grafen (GNP) ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) kullanılmıştır. Biyokompozit malzeme üretiminde hem mekanik dayanımın iyileştirilmesi hem de malzemenin sertliğinin artırılması amacıyla bu tür nanopartiküller tercih edilmiştir. Elde edilen ürünlerin termal kararlılığı, ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluğu da nanopartikül takviyesiyle artmıştır.

Biyokompozit üretiminde, kütlece nanopartikül oranları (% 0.5, % 1, % 1.5 ve % 2) değiştirilerek kontrollü deneyler ile incelenmiştir. Özellikle kompozitin mekanik ve termal özellikleri değerlendirildiğinde kullanılan nanopartikül oranı kütlece % 1,5 olarak tercih edilmiştir. % 1,5'dan daha yüksek oranlarda ekonomik ve verimli biyokompozit üretimi olmamaktadır.

SEM görüntülerinden yüzey morfolojisi en iyi olan sonuç % 1,5 SiC takviyeli biyokompozit ile elde edilmiştir. TGA yöntemi ile termal kararlılığı incelenen üç farklı yapıdaki biyokompozitlerden sıcaklığa en dirençli malzemenin SiC katkılı biyokompozit olduğu ve 350 °C'ye kadar dayandığı, % 12 oranında kütleini koruduğu sonucuna varılmıştır. Katkılı biyokompozitlerin Shore D sertlik değerleri incelendiğinde, en iyi sertlik değerinin 78,6 ile SiC katkılı biyokompozitte gerçekleştiği görülmüştür. Yoğunlukları değerlendirilen bu üç farklı biyokompozitten en düşük yoğunluk değerini sağlayan 1109 kg/m³ ile CNT katkılı malzeme olmuştur. Benzer şekilde gözeneklilik testinin en iyi sonucu 0,135 W/m·K ile SiC katkılı biyokompozitte gerçekleşmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı 0,136 W/m·K ile en

yüksek değer GNP katkılı biyokompozitte elde edilmiştir. Çekme testi sonucunda 82 MPa olarak en iyi dayanım GNP katkılı biyokompozitte görülmüştür. Üç farklı biyokompozitin elastisite modülü değerleri incelendiğinde en iyi elastisite modülünün 5 GPa ile GNP katkılı biyokompozitte gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Sonuçlardan üç farklı nanopartikül kullanılarak üretilen biyokompozit malzemelerden en kullanılabilir yapıda olanın SiC takviyeli biyokompozit olduğu elde edilmiştir. Düşük yoğunluklu kompozit üretiminde ise MWCNT katkılı malzeme tercih edilebilir. Mekanik özellikleri ön planda olan bir malzeme tercih edilecekse GNP katkılı biyokompozit kullanılabilir. Yapı sektöründen otomotiv sektörüne, tekstilden havacılığa, otomotiv, spor malzemeleri, gıda ambalajları, medikal gibi birçok alanda SiC ve GNP takviyeli üretilen biyokompozit malzemeler kullanılabilecektir. Elde edilen bu sonuçlar verilen literatür çalışmalarını desteklemiştir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, M. R., Chen, B., Haque, M. A., & Shah, S. F. A. (2019). Development Of A Sustainable And Innovant Hygrothermal Bio-Composite Featuring The Enhanced Mechanical Properties. *Journal Of Cleaner Production*, 229, 128-143.
- Akarsu, A. C. (2009). Titanyum diborür katkılı sıcak preslenmiş bor karbür-silisyum karbür kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydoğmuş, E., Dağ, M., Yalçın, Z. G., & Arslanoğlu, H. (2022). Synthesis and characterization of EPS reinforced modified castor oil-based epoxy biocomposite. *Journal of Building Engineering*, 47, 103897.
- Ayan, M.Ç., (2019) Pamuk Elyaf Takviyeli Biyo Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .Y.Lisans, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
- Anonim, <https://kompozitkimya.com.tr/kompozit-nedir/>, (10.06.2022)
- Anonim, https://tr.wikipedia.org/wiki/Ye%C5%9Fil_kompozitler, (12.06.2022)
- Anonim, <https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemelerin-avantajlari/>, (15.07.2022)
- Anonim, <https://tolgakaranfil.webnode.com.tr/products/kompozit-malzemelerin-avantaj-ve-dezavantajlari/>, (15.07.2022)
- Anonim, https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Silisyum_Karb%C3%Bcr, (5.10.2022)
- Anonim, https://Shop.Nanografi.Com.Tr/Blogrifi/Karbon-Nanotupler-Ve_Nanoteknoloji-İle-Gelecek/, (10.10.2022)
- Anonim, <https://Www.Ceramtec.Com.Tr/Seramik-Malzemeler/Silisyum-Karbur/>, (5.10.2022)
- Anonim, <https://Www.Epoksibaktim.Com/Epoksi-Recine-Nedir-Nerelerde-Kullanilir/>, (14.10.2022)
- Anonim, <https://Www.Epoksirecine.Com/>, (14.10.2022)
- Anonim, https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Taramal%C4%B1_Elektron_Mikroskobu (8.11.2022)
- Anonim, [https://Www.Laboratuar.Com/Testler/Kimyasal_Testler/Termogravimetrik-Analiz-\(Tga\)-Testleri/](https://Www.Laboratuar.Com/Testler/Kimyasal_Testler/Termogravimetrik-Analiz-(Tga)-Testleri/), (14.10.2022)
- Anonim, <https://kitam.omu.edu.tr/2020/04/30/>, (13.11.2022)
- Anonim, <https://www.teknikurunler.com/shore-sertligi-nedir/>, (18.11.2022)
- Anonim, <https://thermtest.com/tls-100>, (18.11.2022)
- Anonim, <https://www.elektrikde.com/kompozit-malzeme-nedir-kullanimi-ve-ornekleri/>(25.08.2022)
- Anonim, <https://bioplasticsnews.com/2019/10/02/largest-biggest-biocomposites-conference-germany/>, (6.09.2022)
- Anonim, <https://www.herkesebilimteknoloji.com/haberler/teknoyasam/grafenin-oykusu>, (12.10.2022)

- Anonim, <https://www.haberturk.com/kanola-yagi-nedir-faydalari-ve-zararlari-nelerdir-hbirt-2774913>, (08.09.2022)
- Anonim, <https://starkrom.com/18-lt-tantuni-pamuk-yagi>, (08.09.2022)
- Anonim, <https://www.haberturk.com/grafen-nedir-nerelerde-kullanilir-grafen-hakkinda-3023741-ekonomi>, (20.10.2022)
- Ballı J.N., 2018. Bor Bileşikleri Kullanarak Ham Pamuk Yağından Gossipol Uzaklaştırılması. Y.Lisans. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş
- Balo, F., Yücel, H. L., & Böl, F. M. F. M. M., 2008. Bitkisel Yağların Yapı Malzemeleri Üretiminde Değerlendirilmesi. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul
- Bottini, M., Bruckner, S., Nika, K., Bottini, N., Bellucci, S., Magrini, A., ... & Mustelin, T., 2006. Multi-Walled Carbon Nanotubes Induce T Lymphocyte Apoptosis. Toxicology Letters, 160(2), 121-126.
- Bharath, KN ve Basavarajappa, S., 2016. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen doğal liflere dayalı biyokompozit malzemelerin uygulamaları: bir inceleme. Kompozit Malzemelerin Bilimi ve Mühendisliği, 23 (2), 123-133.
- Çelik, M., & KILIÇ, E., 2020. Bitkisel Kaynaklı Biyopolietilenin Biyokompozit Üretiminde ve Polimer Karışımlarında Kullanımı. Tekstil ve Mühendis, 27(119), 197-215.
- Das, G. Ve Karak, N., 2009. Bitkisel Yağ Bazlı Alev Geciktirici Epoksi/Kil Nanokompozitler. Polimer Bozulması Ve Stabilitesi , 94 (11), 1948-1954.
- Elbasdı, G., & ALAÇAM, S., 2014. Miselyumun Yetiştirilmiş ve Esnek bir Malzeme Olarak Kullanımı Üzerine bir Araştırma. Journal of Computational Design, 1(1), 1-10.
- Elibal, B. 2009. Kanola yağından kudret narı yağ asitleri (klna) ile yapılandırılmış yağ üretimi ve reaksiyon koşullarının optimizasyonu. Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Fox, N. J., & Stachowiak, G. W., 2007. Vegetable oil-based lubricants—a review of oxidation. Tribology international, 40(7), 1035-1046.
- Geim, A. K., 2009. Graphene: Status And Prospects. Science, 324(5934), 1530-1534.
- Genc, G.; Ozdemir, Y., 2019. Comparison Of Flexural Properties Of Luffa And Jute Fibers", 4th International Conference On Engineering Technology And Applied Sciences (ICETAS), Kiev, Ukraine, 365-368.
- Harris, P.J., 2004. Karbon Nanotüp Kompozitleri. Uluslararası Malzeme İncelemeleri , 49 (1), 31-43.
- İşler, A., 2007. Canola Oil Ethyl Ester And E-Dizel. İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Karimah, A., Ridho, M. R., Munawar, S. S., Adi, D. S., Damayanti, R., Subiyanto, B., ... & Fudholi, A., 2021. A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: Characteristics, and utilizations. Journal of Materials Research and Technology, 13, 2442-2458.
- Kelez, S. B., 2021. Alüminyum Matrisli Farklı Oranlarda Grafen İçeren B4c Takviyesi İle Üretilen Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi (Doctoral Dissertation). Karabük.
- Köse, Ö., 1999. Pamuk yağı-metanol enzimatik transesterifikasyon reaksiyonunun incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Kocaman, S., 2019. Farklı Kimyasallarla Modifiye Edilen Doğal Atık Takviyeli Epoksi Reçine Matrisli Kompozitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu. *International Journal Of Engineering Research And Development*, 11(1), 77-86.
- Kumar, A., Sharma, A., & C Upadhyaya, K., 2016. Vegetable oil: nutritional and industrial perspective. *Current genomics*, 17(3), 230-240.
- Lin, L., Allemekinders, H., Dansby, A., Campbell, L., Durance-Tod, S., Berger, A., & Jones, P. J., 2013. Evidence of health benefits of canola oil. *Nutrition reviews*, 71(6), 370-385.
- Liminana, P., Garcia-Sanoguera, D., Quiles-Carrillo, L., Balart, R., & Montanes, N., 2018. Development and characterization of environmentally friendly composites from poly (butylene succinate)(PBS) and almond shell flour with different compatibilizers. *Composites Part B: Engineering*, 144, 153-162.
- Miao, S., Wang, P., Su, Z., & Zhang, S., 2014. Vegetable-oil-based polymers as future polymeric biomaterials. *Acta biomaterialia*, 10(4), 1692-1704.
- Novoselov, K. S., Colombo, L., Gellert, P. R., Schwab, M. G., & Kim, K., 2012. A Roadmap For Graphene. *Nature*, 490(7419), 192-200.
- O'Brien, R. D., Jones, L. A., King, C. C., Wakelyn, P. J., & Wan, P. J., 2005. Cottonseed Oil. *Bailey's Industrial Oil And Fat Products*.
- Okonkwo, EG, Anabaraonye, CN, Daniel-Mkpume, CC Ve Diğerleri., 2020. Kil-Bambara Fındık Kabuğu Polyester Biyo-Kompozitinin Mekanik Ve Termomekanik Özellikleri. *Int J Adv Manuf Technol* 108, 2483–2496.
- Otman F.M.A., 2021. Soğuk Preslenmiş Ve Sinterlenmiş Metal Matrisli Silisyum Karbür Takviyeli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilebilirliğini Araştırılması. Y.Lisans. Eski Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kastamonu.
- Özdemir, Y., 2019. Biyo-kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi, Turkey).
- Öztürk. M.C., 2022. Structural, Optical, And Mechanical Properties Of Polyacrylamide Hydrogels Doped With Multiwalled Carbon Nanotubes. *Istanbul Technical University Department Of Physics Engineering Physics Engineering*. İstanbul.
- Pektürk. H.Y., 2022. Karbon Nanotüp Katkılı Karbon Elyaf Epoksi Nanokompozitlerin İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi. İmalat Mühendisliği Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Karabük.
- Saraç M., 2011. Enzimatik Ekstraksiyon Yöntemi İle Pamuk Yağı Eldesi. Y.Lisans. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Shishevan, F.A. vd., 2015. Reçinesine grafen ve karbon nanotüp eklenmesinin karbon elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri ve darbe davranışları üzerindeki etkileri. *Conference: Mühendislikte Yeni Teknolojiler*, Bayburt.
- Stemmelen, M., Lapinte, V., Habas, JP Ve Robin, J.J., 2015. Yağlı Diaminlerden Ve Epoksitlenmiş Bitkisel Yağdan Bitki Yağı Bazlı Epoksi Reçineleri. *Avrupa Polimer Dergisi* , 68 , 536-545.
- Şeker, A., 2010. Epoksi reçine/sepiyolit kompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.

- Tuncer, C., 2018. CaCO_3 , SiO_2 ve grafen nano partikül katkısının tabakalı cam elyaf kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi. Y.Lisans. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Yıldızhan, Ş., Çalık, A., Özcanlı, M., & Serin, H. (2018). Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications. *European Mechanical Science*, 2(3), 83-91.
- Yilmaz, M., 2019. Hibrit Organik-İnorganik Dolgulu Polimer Matrisli Kompozitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu (Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Xie, S., Li, W., Pan, Z., Chang, B., & Sun, L., 2000. Mechanical And Physical Properties On Carbon Nanotube. *Journal Of Physics And Chemistry Of Solids*, 61(7), 1153-1158.
- Zhang, Z., Gu, A., Liang, G., Yuan, L., Zhuo, D., 2013. A Novel Hyperbranched Polysiloxane Containing Epoxy and Phosphaphenanthrene Groups and its Multi-Functional Modification of Cyanate Ester Resin. *Soft Materials*, 11 (3), 346-352.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Elif Sena GÜL
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
E-mail:	
Eğitim	
Lisans:	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Müh.
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mekanik Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
İş Deneyimi	
Uçak Bakım Öğretmeni	Boğaziçi Havacılık Ve Teknoloji Koleji
Satış Mühendisi	Aktaş Group