



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT MALZEMELERİN
ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

OLCAY GÜNEY

**SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. AYŞEGÜL ÜLKÜ METİN

KIRIKKALE-2022



T.C.

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT MALZEMELERİN
ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

OLCAY GÜNEY

**SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. AYŞEGÜL ÜLKÜ METİN

KIRIKKALE-2022

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında OLCAY GÜNEY tarafından hazırlanan “DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ayşegül Ülkü METİN

Fen Edebiyat Fakültesi Kimya, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

İkinci Danışman: Doç. Dr. İbrahim BİLİCİ

Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği, Hitit Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan: Doç. Dr. Erol ALVER

Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği, Hitit Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Şule OCAK ARAZ

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,

Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 23/02/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

OLCAY GÜNEY

04.04.2022

ÖZET

DOĞAL LİF TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ayşegül Ülkü METİN

Ortak Danışman: Doç. Dr. İbrahim BİLİCİ

Şubat 2022, 86 sayfa

Gelişen teknoloji ile endüstrinin birçok dalında sürdürülebilir, alternatif, çevresel etki değeri düşük ürünleri kullanma çabası artmıştır. Bunun bir sonucu olarak kaynak verimliliği, işlenebilirliği, çevresel etkileri değerlendirildiğinde kompozit malzemelerde sıklıkla kullanılan sentetik liflerin yerini doğal lifler almaya başlamıştır.

Bu kapsamda, bu tez çalışmasında doğal lif takviyeli termoset ve termoplastik polimer matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi amaçlanmış ve doğal lif olarak ham kenevir lifleri ve bundan elde edilen selülozik nanolifler kullanılmıştır. Selülozik nanoliflerin polimerler ile etkileşimini arttırmak amacıyla, maleik anhidrit, tiriviniletoksilan ile çevreci yaklaşımlar uygulanarak modifikasyon işlemleri yapıldı. Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde, termoset polimer olarak epoksi reçine, termoplastik polimer olarak geri dönüştürülmüş polietilen kullanıldı.

Takviye oranları, epoksi kompozit malzeme üretiminde, ağırlıkça %0.5-10 arasında değişirken, geri dönüştürülmüş polietilen kompozit malzeme üretiminde ağırlıkça %10-50 arasında değiştirildi. Epoksi kompozit malzemeler, döküm yöntemi ile üretilirken, polietilen matrisli kompozit malzemeler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretildi.

Çalışma kapsamında doğal lif olarak kullanılan kenevir ve elde edilen selülozik nanoliflerin özellikleri ve modifikasyon işlemlerinin kenevir liflerinin yapısındaki etkisi Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), X-Işını Kırınımı (XRD), Termal Analiz ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) yöntemleri kullanılarak

değerlendirildi. Üretilen doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin sertlik ve çekme testleri yapılarak mekanik özellikleri, Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ve Termal Mekanik Analizleri (TMA) yapılarak termal özellikleri, Erime Akış İndeksi (MFI) analizi yapılarak erime akış hızları belirlendi.

Sonuçlar değerlendirildiğinde ham kenevire uygulanan ekstraksiyon işleminden elde edilen liflerin 390 nm olduğu belirlendi. Elde edilen selülozik nanoliflerin hem kristalinitesinin hem de termal kararlılığının ham kenevire göre arttığı belirlendi. Selülozik nanoliflere uygulanan maleik anhidrit ve triviniletoksilan modifikasyonları sonucunda ise liflerin kristalinite indeks değerlerinin ve termal kararlılıklarının azaldığı belirlendi. Ham kenevir lifleri, selülozik nanolifler ve modifiye selüloz nanolifler farklı katkı oranlarında kullanılarak üretilen epoksi ve geri dönüştürülmüş polietilen matrisli polimerik kompozit malzemelere mekanik ve termal testler yapılarak; RC-PE matrisli kompozit malzemelerde her üç katkı türünde de en yüksek dayanıma sahip optimum katkı oranının %30 olduğu belirlendi.

Anahtar kelimeler: Kenevir, Selülozik Nanolif, Geri Dönüştürülmüş Polietilen, Epoksi, Polimer Kompozit

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF NATURAL FIBRES REINFORCED POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defense Technology, Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ayşegül Ülkü METİN

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim BİLİCİ

February 2022, 86 pages

In many industries developing technology has increased the effort to use sustainable, alternative products with low environmental impact value. As a result of this, when the resource efficiency, processability, and environmental effects are evaluated, natural fibers have started to replace the synthetic fibers that are frequently used in composite materials.

In this scope, it was aimed to produce natural-fiber reinforced thermoset and thermoplastic polymer matrix composite obtained from Cannabis in this thesis. Raw cannabis fibers and cellulosic nanofibers were used as natural fibers. Various modification processes were applied to increase the interaction of cellulosic nanofibers with polymers. Cellulosic nanofibers were modified with trivinylethoxylan and maleic anhydride by applying environmental approaches. In the production of polymer based composite materials, epoxy resin was used as the thermoset polymer and recycled polyethylene was used as the thermoplastic polymer.

While the loading ratios were varied between 0.5-10% in the production of epoxy composite materials by casting, it was changed in the range of 10-50% in the production of recycled polyethylene composites by injection molding method.

The properties of raw Cannabis, cellulosic nanofibers obtained from raw Cannabis and the effect of modification processes on the structure of Cannabis fibers were evaluated using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), Thermal analysis and Scanning electron microscope (SEM) methods. The mechanical properties of natural fiber reinforced composites were evaluated using hardness and

tensile tests, and thermal properties of composites were determined by Thermogravimetric analysis (TGA), Differential scanning calorimetry (DSC) and Thermomechanical analysis (TMA).

According to the result, it was determined that the size of fibers after the extraction process was 390 nanometers. It was calculated that both the crystallinity and thermal stability of nanofibers increased compared with raw Cannabis. It was also evaluated that the crystallinity index values and thermal stability of the fibers decreased after the chemical modification. The properties of epoxy and recycled polyethylene based polymeric composites produced by using raw Cannabis fibers, cellulosic nanofibers and modified cellulose nanofibers at different concentraion. It was determined that the optimum reinforcement ratio was 30% in all used reinforcement types in RC-PE composites.

Key Words: Cannabis, Cellulosic Nanofiber, Recycled Polyethylene, Epoxy, Polymer Composite

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimiyle yol gösteren, teşvik eden tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşegül Ülkü METİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca bilimsel bilgi birikimini esirgmeden benimle paylaşan Arş. Görevlisi Deniz DOĞAN'a, kompozit malzemelerin üretilmesi ve karakterizasyonu konusunda bilgi ve tecrübesiyle çok destek olan ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim BİLİCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü'nde görevli uzmanlar Dr. Mustafa Doğan, Dr. Ümit Erdem ve Dr. Ogün Bozkaya'ya ve Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezine ve Arş. Görevlisi Beytullah Öz'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans yapmam konusunda beni destekleyen, bana tüm bu süre zarfında yardımcı olan sevgili eşim Emre GÜNEY'e teşekkür ederim. Hayatımın her döneminde, attığım her adımda yanımda olan anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu tez çalışmasını, 'Doğal Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu-2021/21'başlıklı Yüksek Lisans Tez projesi kapsamında destekleyen Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Projeler birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
Doğal Lifler	2
Kenevir Lifi	3
Selüloz	4
Hemiselüloz	5
Lignin.....	5
1.1. Savunma Uygulamalarında Kullanılan Polimerik Malzemeler	6
Epoksi Reçine	10
Polietilen	11
1.2. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri.....	12
Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi	12
Döküm Yöntemi.....	16
2. MATERYAL ve METOD	18
2.1. Materyaller.....	18
2.1.1. Kimyasallar.....	18
2.1.2. Cihazlar	18
2.2. Metot.....	23
2.2.1. Ham Kenevirden Selüloz Ekstraksiyon.....	23
2.2.2. Selülozik Nanoliflerin Modifikasyonu	23
2.2.3. Selülozik Nanoliflerin Maleik Anhidrit (MA) ile Yüzey Modifikasyonu	23
2.2.4. Triviniletoksilan (TVES) ile Yüzey Modifikasyonu.....	24
2.2.5. Doğal Lif katkılı epoksi kompozit malzemelerin üretilmesi.....	24
2.2.6. Doğal Lif katkılı polietilen matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi	25
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	26
3.1. Ham Kenevir ve Selüloz Nanoliflerin Karakterizasyonu (XRD, FTIR, Boyut dağılımı, TGA, DSC, SEM).....	26
3.1.1. X-Işını Kırınımı:.....	27
3.1.2. FT-IR Spektrumu.....	28
3.1.3. Partikül Boy ve Boyut Dağılımı	29
3.1.4. Ham kenevir ve selülozik nanoliflerin TGA analizi.....	30

3.1.5.	Ham kenevir ve selülozik nanoliflerin SEM görüntüleri.....	32
3.2.	Modifiye Selülozik Nanoliflerin Karakterizasyonu (FTIR, XRD, TGA, DSC, SEM) 33	
3.2.1.	CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin FT-IR Spektrumu.....	33
3.2.2.	CNF-TVES ve CNF-MA nanoliflerin X-ışını Kırınım Desenleri.....	34
3.2.3.	CNF-TVES ve CNF-MA nanoliflerin TGA Analizi.....	34
3.2.4.	CNF-TVES ve CNF-MA nanoliflerin DSC Analizi.....	36
3.2.5.	CNF-MA nanoliflerin SEM görüntüleri	37
3.3.	Kompozit Malzeme Karakterizasyonu.....	38
3.3.1.	Epoksi Matrisli Kompozit Malzemenin Karakterizasyonu	38
3.3.1.1.	Epoksi matrisli kompozit malzemenin TGA analizi	39
3.3.1.2.	Epoksi matrisli kompozit malzemenin DSC analizi	41
3.3.1.3.	Epoksi Kompozitlerin Sertlik Ölçümü	43
3.3.2.	RC-PE Matrisli Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu.....	44
3.3.2.1.	RC-PE matrisli kompozit malzemenin DSC analizi	46
3.3.2.2.	RC-PE kompozit malzemelerin karışım karakterizasyonu.....	47
3.3.2.3.	RC-PE Kompozitlerin Çekme Testleri.....	50
3.3.2.4.	RC-PE matrisli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri	53
3.3.2.5.	RC-PE kompozit malzemelerin sertlik ölçümler	57
3.3.2.6.	RC-PE matrisli kompozit malzemenin TMA analizi.....	58
3.3.2.7.	RC-PE matrisli kompozit malzemenin MFI analizi	64
3.3.2.8.	RC-PE matrisli kompozit malzemenin Su Emme analizi	65
4.	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	67
	KAYNAKLAR.....	71
	EKLER.....	80
	ÖZGEÇMİŞ.....	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1.1. Ülkelerin Kenevir Lifi Ekim Alanı, Üretimi ve Verimi (2019).....	3
Tablo 1.2. Polimer kompozit malzemelerde kullanılan bazı doğal liflerin kimyasal özellikleri	5
Tablo 2.1. Mikser cihazı teknik özellikleri	19
Tablo 2.2. Mini enjeksiyon kalıplama cihazı teknik özellikleri	20
Tablo 3.1. Epoksi matrisli kompozitin karışım oranları.....	38
Tablo 3.2. EP matrisli kompozitlerin termal özellikleri.....	42
Tablo 3.3. RC-PE matrisli kompozitlerin karışım oranları	44
Tablo 3.4. RC-PE matrisli kompozitlerin termal özellikleri	46
Tablo 3.5. Doğal lif takviyeli polietilen matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri	55
Tablo 3.6. RC-PE/NF kompozitlerin termal genleşme katsayısı	60
Tablo 3.7. RC-PE/CNF kompozitlerin termal genleşme katsayısı.....	62
Tablo 3.8. RC-PE/CNF-MA kompozitlerin termal genleşme katsayısı.....	63



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Takviye elamanı olarak kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması	2
Şekil 1.2. Selülozun kimyasal yapısı	4
Şekil 1.3. Epoksi reçine kimyasal yapısı	10
Şekil 1.4. Etilen ve Polietilenin Kimyasal Yapıları	11
Şekil 1.5. Polietilenin Morfolojisi	11
Şekil 1.6. Enjeksiyon Kalıplama Cihazı Şematik Gösterimi	12
Şekil 1.7. Döküm yöntemi şematik gösterimi	16
Şekil 2.1. Mikser cihazı	19
Şekil 2.2. Laboratuvar tipi mini enjeksiyon kalıplama	20
Şekil 2.3. EP matrisli kompozit malzemen üretim yöntemi şematik gösterimi	24
Şekil 2.4. RC-PE matrisli kompozit malzeme üretim yöntemi şematik gösterimi	25
Şekil 3.1. Kenevir liflerinin Dijital Fotoğrafları: NF (a), Öğütülmüş-NF lifi (b) ve (c) CNF	26
Şekil 3.2. (a) NF ve CNF liflere ait X-ışını Kırınım Desenleri; (b) Kristallik İndeks değerine H_2SO_4 derişimin etkisi	27
Şekil 3.3. NF ve CNF liflere ait FTIR spektrumu	29
Şekil 3.4. CNF nanoliflerin (a) boy ve boyut dağılımı ve (b) yüzey yükü dağılımı	30
Şekil 3.5. NF ve CNF nanoliflerin TGA ve DTG eğrileri	31
Şekil 3.6. NF liflerin SEM görüntüleri	32
Şekil 3.7. CNF nanoliflerin SEM görüntüleri	32
Şekil 3.8. CNF, CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerinin FTIR spektrumu	33
Şekil 3.9. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerinin X-ışını kırınım deseni	34
Şekil 3.10. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin (a) TGA ve (b) DTG eğrileri	35
Şekil 3.11. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin DCS termogramı	36
Şekil 3.12. (a) CNF ve (b) CNF-MA nanoliflerin SEM görüntüleri	37
Şekil 3.13. EP matrisli selüloz nanolif takviyeli kompozit numuneler	38
Şekil 3.14. EP/CNF kompozitlerin TGA ve DTG eğrileri	40
Şekil 3.15. (a) EP/CNF ve (b) EP/CNF-TVES kompozitlerin DSC termogramı	41
Şekil 3.16. Epoksi matrisli kompozitlerin sertlik değerleri	43
Şekil 3.17. RC-PE matrisli selüloz nanolif takviyeli kompozit numuneler	45
Şekil 3.18. (a) RC-PE/NF ve (b) RC-PE/CNF-MA kompozitlerin DSC termogramı	46
Şekil 3.19. Lif katkı oranının tork üzerine etkisi	48
Şekil 3.20. RC-PE kompozitine ait karışım grafiği örneği (RC-PE/NF-30)	49
Şekil 3.21. Lif katkı oranının karışım zamanı üzerine etkisi	49
Şekil 3.22. RC-PE kompozitlerine ait Gerilim-Gerinim grafiği örneği (RC-PE/CNF-MA-50)	50
Şekil 3.23. RC-PE kompozitlerinin (a) çekme mukavemeti ve (b) kopma uzaması	51
Şekil 3.24. RC-PE kompozitlerinin Young modülü	52
Şekil 3.25. RC-PE matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri (a) RC-PE/NF-30, (b) RC-PE/CNF-MA-50, (c) RC-PE/CNF-50 ve (d) RC-PE/NF-50	57
Şekil 3.26. RC-PE matrisli kompozitlerin sertlik değerleri	57
Şekil 3.27. (a) RC-PE/NF, (b) RC-PE/CNF ve (c) RC-PE/CNF-MA kompozitlerin TMA grafiği	59
Şekil 3.28. RC-PE ve RC-PE/NF kompozitlerin termal genleşme katsayıları	61
Şekil 3.29. RC-PE ve RC-PE/CNF kompozitlerin termal genleşme katsayıları	62
Şekil 3.30. RC-PE ve RC-PE/CNF-MA kompozitlerin termal genleşme katsayıları	64
Şekil 3.31. RC-PE kompozitlerin erime akış indeksleri	65
Şekil 3.32. RC-PE kompozitlerin su emme yüzdeleri	66

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji, çevre ve ekonomik problemlerin çözümü için yapılan araştırmalarda ülke ekonomisine ve çevreye katkıda bulunmak ve kaynakları verimli kullanmak amacıyla doğal kaynaklar kadar atıkların da etkin bir şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Artan nüfus oranı ile artan tüketim ihtiyacı doğal kaynakların hızla tükenmesini ve sürdürülebilirlik endişelerini beraberinde getirmektedir.

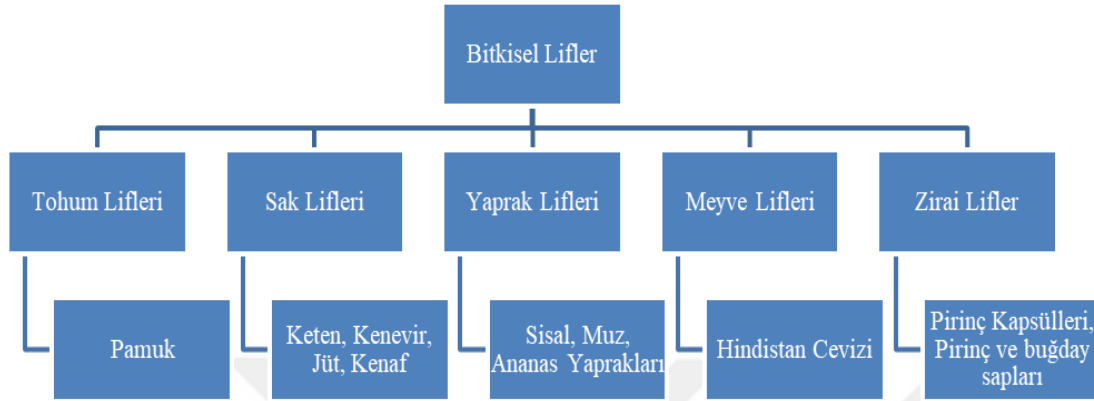
Yeni ve ileri malzemelerin kullanım alanlarının hızla genişleyerek çeşitlendiği çağımız endüstrisinde, küresel ekonomide söz sahibi olmak ve pazar paylarını büyütme isteyen ülkeler malzeme teknolojileri alanında araştırma geliştirme çalışmalarına yönelmiştir. Değişen ve artan insan ihtiyaçları hızlı ve ekonomik üretim, sürdürülebilir ve çevre dostu kompozit malzemelere özellikle de polimer matrisli kompozit malzemelere olan ilgiyi arttırmıştır. Polimer matrisli kompozitlerin düşük yoğunluk, yüksek mekanik ve korozyon dayanımı gibi özelliklere sahip olması bu ilginin artmasının başlıca sebepleridir (Sönmez, 2009).

Kompozit malzemelerde genellikle takviye elemanı olarak yüksek mekanik özelliğe sahip olan cam, karbon ve aramid elyaf gibi sentetik lifler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sentetik lifler geri dönüşüm ve biyodegradasyon zorlukları ve yüksek maliyet gibi dezavantajları sebebi ile yerlerini jüt, keten, kenaf ve kenevir gibi yüksek mukavemet, aşınma ve darbe dayanımı, tokluk, esneklik gibi avantajlara sahip olan biyobozunur, ekonomik ve sürdürülebilir özellikteki doğal liflere bırakmaktadırlar (Çavdar & Boran, 2016; Demirbek & Bulut, 2021).

Bu amaçla bu tez kapsamında savunma sanayii dahil endüstrinin birçok dalında önemli bir yere sahip olan polimer esaslı kompozit malzemelerde, takviye elemanı olarak son yıllarda kullanım alanı artan kenevir lifleri ve bu liflerden elde edilen selülozik nanoliflerin etkisi, termoset ve termoplastik özellikte iki farklı polimer türü kullanılarak belirlenmiştir.

Doğal Lifler

Doğal lifler hayvansal ve bitkisel kökenli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak genellikle bitkisel doğal lifler (Şekil 1.1) kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Takviye elemanı olarak kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması (Bulut & Erdoğan, 2011; Çavdar & Boran, 2016).

Doğal liflerin kullanımı doğal kaynakların tükenmesi ve çevresel sorunların artmasına paralel olarak başlanmış gibi görünse de bu liflerin kullanımı MÖ 8000’li yıllara dayanmaktadır (Kaya & Öner, 2020). Doğal liflerin, polimerik kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak endüstriyel ölçekte kullanılması her geçen gün artmaktadır. Bitkisel kökenli lifler; düşük maliyet ve yoğunluk, yüksek mekanik özellikler, iyi ısı özellikler ve yüksek ses absorplama gibi önemli avantajlara sahipken, yüksek su afinitesi, boyut dağılımındaki farklılıklar ve daha büyük lif çaplarına sahip olmaları gibi dezavantajlı özellikleri de bulunmaktadır. Bu durum üretim parametrelerini ve üretilen nihai malzemeyi etkileyebilmektedir (Bulut & Erdoğan, 2011; Demirbek & Bulut, 2021; Kaya & Öner, 2020).

Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde nihai malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini takviye ve matris malzemesi ile birlikte lif ile polimer arasında bağ oluşumundan ortaya çıkan ara yüzey kavramı belirlemektedir. Kompozit malzemeye uygulanan yükün homojen olarak liflere iletilebilmesi için optimum bir ara yüzey oluşturulması gerekmektedir. Ara yüzey modifikasyonundaki esas amaç yüksek su afinitesine sahip liflerin kimyasal yöntemlerle hidrofobik karakter kazandırarak lif özelliklerinin polimerin özelliklerine yaklaştırmaktır. Bu sayede ara yüzey özellikleri iyileştirilir, nem adsorpsiyonu azaltılır ve takviye malzemenin

özelliklerinden maksimum seviyede faydalanılır. Ancak bu işlemler üretimde maliyet artışına sebep olmaktadır (Bulut & Erdoğan, 2011; Karaduman, 2009).

Kenevir Lifi

Odunsu bir bitki olan Kenevir *Cannabaceae* familyasına ait olup anavatanı Orta Asya ve Hint alt kıtasıdır. *Cannabis Sativa* ve *Cannabis Indica* olarak iki alt türü mevcuttur. Endüstriyel olarak lif üretiminde kullanılan uzun ve güçlü lifleri olan tür *Cannabis Sativa*'dır (Başer & Bozoğlu, 2020). Kenevir liflerinin yapısında %70.2-74.4 selüloz, % 17.9-22.4 hemiselüloz ve % 3.5-5.7 lignin ve % 0.9 pektin bulunur (Bulut & Erdoğan, 2011).

2019 yılında dünyada 69.342 ha alanda 174.027 ton kenevir lifi üretimi gerçekleştirilmiştir. Tablo 1.1, Kenevir lifi üreticisi ülkelerin ekim alanı büyüklüğü, verimi ve üretim miktarlarını göstermektedir.

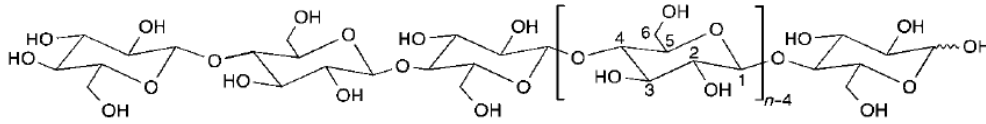
Tablo 1.1. Ülkelerin Kenevir Lifi Ekim Alanı, Üretimi ve Verimi (2019) (Ticaret Borsası, 2021)

Ülkeler	Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/ha)
Avusturya	2.010	8.920	44.378
Şili	4.381	4.165	9.507
Çin	4.015	14.538	36.209
Çekya	400	180	4.500
Fransa	14.550	78.050	53.643
Macaristan	110	130	11.818
İtalya	910	7.710	84.725
Japonya	1	1	10.000
Hollanda	1.880	14.070	78.840
Polonya	1.830	13.960	76.284
Kore Cum.	16	26	16.250
Romanya	1.430	3.160	22.098
Rusya	3.102	1.187	3.827
İspanya	170	290	17.059
Türkiye	28	27	9.643
Ukrayna	1.333	647	4.854

Tablo 1.1'e bakıldığında, Türkiye dünyadaki toplam kenevir lifi üretiminin yalnızca %0.02 sini oluşturmaktadır. Türkiye'de kullanımı uzun yıllardır yasaklı olan kenevir 9 Ocak 2019 tarihinde gerçekleşen "Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sisteminde Yerel Yönetimler Sempozyumunda" tekrar endüstriyel bir tarım ürünü olarak ele alınmış ve bu konuda çalışmalar başlatılmıştır. Kenevirin yerli olarak üretilmesi ve endüstride kullanılması amacıyla Samsun 19 Mayıs Üniversitesinde (2019) ve Yozgat Bozok Üniversitesinde (2020) Kenevir Araştırma Enstitüleri kurulmuştur. Samsun 19 Mayıs Üniversitesi ve Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü iş birliği Tetrahidrokannabinol (THC) oranı düşük, lif ve sap verimi yüksek Narlısaray kenevir çeşidi geliştirilmiştir (Başer & Bozoğlu, 2020).

Selüloz

Selüloz, β -1,4 D-glikopiranoz halkalarından oluşan yüksek molekül ağırlıklı bir polimerdir (Şekil 1.3). Mukavemet ve sertlik sağlayan kristalin bölgeler ve amorf bölgelerden meydana gelir (Olca, 2021). Amorf bölgeler su ve kimyasallar ile reaksiyona girebilirken kristalin bölgeler kolaylıkla kimyasal reaksiyona girmezler (Uçal, 2005).



Şekil 1.2. Selülozun kimyasal yapısı (Klemm vd., 2005)

Doğal liflerin en temel bileşeni olan selüloz life yapısal kararlılık kazandırmakta ve doğal lif yapısındaki selüloz miktarı ise lifin mekanik özelliklerini belirlemektedir (Duran, 2016). Ayrıca selülozun kristalite, nem içeriği, yüzey alanı ve gözeneklilik gibi yapısal özellikleri doğal liflerin takviye malzemesi olarak kullanılması ile doğrudan ilişkilidir (Bulut & Erdoğan, 2011). Tablo 1.2'de endüstriyel uygulamalarda kullanılan doğal lif takviye malzemelerinin kimyasal özellikleri değerlendirildiğinde kenevir lifinin oldukça yüksek selüloz içeriğine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 1. 2. Polimer kompozit malzemelerde kullanılan bazı doğal liflerin kimyasal özellikleri (Bulut & Erdoğan, 2011; Mohanty vd., 2000)

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)
Jüt	61-71.5	12-13	13.6-20.4	0.2
Keten	71	2.2	18.6-20.6	2.3
Kenevir	70.2-74.4	3.7-5.7	17.9-22.4	0.9
Rami	68.6-76.2	0.6-0.7	13.1-16.7	1.9
Kenaf	31-39	15-19	21.5	2
Sisal	67-78	8-11	10-14.2	10
Hindistan Cevizi	36-43	41-45	0.15-0.25	3-4
Pamuk	82.96	0.5-1	2-6	5-7
Abaca	61-64	12	21	0.8
Ananas Yaprığı	80-81	4.6-12	16-19	2-3
Muz Lifi	60-65	5-10	6-19	3-5

Hemiselüloz

Hemiselüloz lignin ve selüloza göre düşük molekül ağırlıklı bir polisakkarittir (Mazumdar & Sarkar, 1953; Sarkar & Mazumdar, 1955). Hemiselüloz birbirine selüloz mikrofiberler ile bağlanmış polimerlerden oluşur. Hemiselüloz, yapısındaki zengin hidroksil ve karboksil grupları nedeniyle hidrofilik bir yapıdadır (Karaduman, 2009). Lignin ve selüloz sodyum hidroksitten etkilenmezken hemiselüloz sodyum hidroksite karşı oldukça hassas yapılıdır (Gassan & Bledzki, 1999).

Lignin

Lignin yüksek doymuşlukta, aromatik yapıda bir polimerdir. Yapısında hidroksil ve metoksi grupları bulunmaktadır. Lignin, selüloz ve hemiselüloza göre hidrofobik bir yapıda olup (Karaduman, 2009). 90 °C de yumuşarken 170 °C de akma davranışı gösterir. (Olesen & Plackett, 1999).

1.1. Savunma Uygulamalarında Kullanılan Polimerik Malzemeler

Son yıllarda polimerler en çok tercih edilen mühendislik malzemeleri haline gelmiştir. Üretim kolaylıkları, hafiflikleri, korozyon dayanımları nedeniyle polimerler, otomotiv endüstrisi, havacılık ve uzay sanayi, savunma sanayi, elektrik ve elektronik sanayi başta olmak üzere birçok alanda kullanım olanağı bulmuştur (Sönmez, 2009).

Polimerler molekül yapılarına, ısıtılma tepkilerine ve bağ türlerine göre termoplastik ve termoset olmak üzere iki gruba ayrılır (Sever, 2009).

Termoset polimerler, yüksek ısıtılma dayanıklılığı, düşük üretim maliyeti ve kullanılacak alana uygun olarak üretilir olması gibi avantajlarının yanında üretim süreçlerinin uzun olması ve yoğun işçilik maliyetleri gibi dezavantaja sahiptir. Ayrıca, termoset polimerler yapılarındaki çapraz bağlar sebebiyle, ısıtılma etkisiyle bozunurlar (Kurnaz, 2019).

Termoplastik polimerler ise, ısıtılma uygulanarak kolaylıkla geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilir malzemelerdir. Termoplastik polimerler, bu özellikleri sayesinde termal ve mekanik işlemler sonucu kolaylıkla yumuşayan, eriyik duruma geçebilen, şekillendirilebilir olan ve soğutulurken sertleşen, geri dönüşümü kolay olan polimerlerdir. Eriyik haldeki termoplastik polimerler, şekillendirilip soğutulduktan sonraki sertleşme sürecinde herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Termoplastik polimerlerin bu özelliği üretim prosesinin daha hızlı olmasını, otomasyona elverişli ve ekonomik olmasını sağlar (Kurnaz, 2019).

Savunma, uzay ve havacılık sanayinde genellikle polieter-eter-keton (PEEK), polifenilen sülfid (PPS), polieterimid (PEI) vb. termoplastik polimerler ile epoksi ve vinilester reçine gibi termoset özellikteki polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır (Özel & Temiz, 2018; Yılmaz vd., 2015).

Üstün mekanik özellikleri ile PEEK matrisli kompozit malzemeler hava araçlarının birincil yapılarında kullanılabilmektedir. PPS ise genellikle ikincil yapılarda (hücum kenarları, J-burun, vb.) tercih edilmektedir. PEI matrisli malzemeler ise mükemmel yanmazlık özelliklerinden dolayı kabin içi yapılarda tercih edilmektedir. Leonard Aerospace (Agusta Westland) firması PEEK kullanımını ilk olarak helikopter yatay stabilizatörlerinde denemiştir (Özel & Temiz, 2018). Günümüzde ise ticari AW169 helikopterlerin yatay stabilizatörlerde yüksek darbe dayanımı ve hafiflik gibi avantajları ile PPS'nin kullanımı arttırılmıştır (Özel & Temiz, 2018). PPS ayrıca Airbus'ın amiral gemisi süper Jumbo A380 ve A340 yolcu uçaklarında ve Gulfstream Aerospace G650 özel jet uçaklarının yön ve irtifa dümeni parçalarında da kullanılmaktadır (Özel & Temiz, 2018).

Şimdiye kadar yapılan doğal lif takviyeli polimer kompozit malzeme üretimi çalışmalarında epoksi ve vinilester reçineler, polyester, plastikleştirilmiş nişasta, polikaprolakton, kitosan, polipropilen ve polietilen gibi polimerlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

Literatürde de hem doğal liflerin hem de selülozik fiberlerin kullanıldığı çok sayıda çalışma rapor edilmiştir. Bu çalışmalardan bir bölümü aşağıda özetlenmiştir;

Takviye malzemesi olarak ham bambu ve cam liflerinin kullanıldığı bir çalışmada, matris malzemesi olarak bisphenol-A epoksi esaslı vinilester reçine kullanılarak elle yatırma yöntemi ile kompozit üretilmiştir. Farklı kombinasyonlarda üretilen kompozit malzemelerin çekme, üç nokta eğme, darbe ve sertlik testleri yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonuçlarına göre bambu lifinin katkı oranının artması ile kompozit malzemenin saf vinilester reçineye göre daha iyi mekanik özellik gösterdiği kaydedilmiştir. Ayrıca bambunun mekanik özelliklerinin yeterli olabileceği alanlarda sentetik lifler ile birlikte kullanılabileceği tespit edilmiştir (Kartal vd., 2019).

Barkoula ve arkadaşları, propilen matris malzemesine keten liflerini takviye ederek kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelere sertlik, çekme ve Charpy darbe testleri uygulanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre çekme dayanımı 35 MPa, elastisite modülü 4.5 GPa ve çarpılma enerjisi 13 kJ/m² olarak kaydedilmiştir. Bu değerler doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin mm² başına yüksek sertlik istenmesi durumunda sentetik lifler ile üretilen kompozit malzemeler ile rekabet edebileceği sonucunu ve düşük maliyet istenen mühendislik uygulamalarında tercih edilebileceğini belirtmiştir (Barkoula vd., 2010).

Siregar ve çalışma arkadaşları şeker bitkisi ve rami lifleri ile epoksi matrisli beş katmanlı hibrit kompozit malzeme üretmiştir. Şeker bitkisi ve rami liflerinin farklı oranlarda hibritleştirici etkisi incelenmiş ve çekme mukavemeti 52.66 MPa, eğilme mukavemeti ise 80.70 MPa bulunmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında şeker bitkisi ile üretilen hibrit kompozitte rami lifinin ilavesi ile mekanik özelliklerin iyileştiği belirlenmiştir. (Siregar vd., 2020).

Yapılan bir başka çalışmada, doğal lif takviyesi olarak ceviz kabukları kullanılmış ve poliester matrisli kompozit malzemeler üretilerek ceviz kabuğu takviyesinin aşınma direnci üzerine etkileri incelenmiştir. Farklı takviye oranlarında üretilen kompozit malzemenin aşınma direncinin saf poliester reçineye göre artış gösterdiği belirlenmiştir (Ersen Balcıoğlu, 2012).

Geri dönüştürülmüş polipropilen matris malzemesine pirinç kabuğu takviye edilerek kompozit üretilen bir çalışmada malzemeye çekme, sertlik, darbe, yoğunluk, ergime akış indeksi, vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl eğilme sıcaklığı, nem, aşınma, sürtünme ve taramalı elektron mikroskobu analizleri yapılarak pirinç kabuğunun etkisi gözlemlenmiştir (Ulutaş, 2019). Üretilen kompozitlerde takviye oranı arttıkça çekme ve kopma mukavemetlerinin, elastisite modülünün ve sertlik değerlerinin arttığı, kopma uzaması ve darbe dayanımlarının ise azaldığı belirlenmiştir. Yapılan erime akış indeksi analizine göre pirinç kabuğu ilavesi ile viskozitesinin arttığı ve akışkanlığının azaldığı görülmüştür.

Jüt ipliklerinin takviye elemanı olarak kullanıldığı bir çalışmada, jüt iplikleri poliester reçine içerisine direkt ve rastgele olarak birlikte yerleştirilmiş ve basınçlı sıcak kalıplama ve vakum infüzyon teknikleri yöntemleri ile üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemenin otomotiv sektöründe iç kapı panellerinde kullanılması amaçlanmıştır (Karaduman, 2009).

Pamuk saplarının takviye elemanı olarak kullanıldığı polietilen matrisli kompozit malzemede, hidrofilik özellikteki pamuk saplarının suksinik, maleik ve krotonik anhidritle yüzey modifikasyonu yapılarak kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Üretilen kompozit malzemenin kopma ve çekme mukavemetleri ve elastikiyet modülü değerleri incelenmiş, saf polietilene göre pamuk sapı takviyesi ile malzemenin çekme mukavemeti ve elastikiyet modülünün arttığı, ancak uzama miktarlarının azaldığı belirlenmiştir (Çaloğlu, 2007).

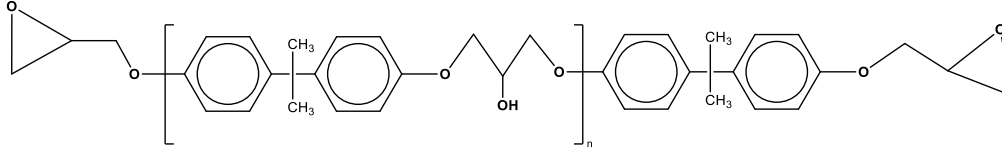
Nagaprasad ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada ise farklı oranlarda (5%-50%) hurma çekirdeği takviyeli vinil ester matrisli kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik (çekme, eğilme, darbe ve sertlik), su emme, termal özellikleri değerlendirilmiş, kompozit malzemelerin ısı eğilme sıcaklığının saf vinil ester reçineye göre 58.49% oranında arttığı, 400.2 °C'ye kadar termal kararlılığa sahip olduğu belirlenmiştir (Nagaraj vd., 2020).

Ali ve arkadaşları *Arenga Pinnata* lif takviyeli epoksi kompozitinin mekanik özellikleri üzerine lif yaşlandırma etkisini incelemiştir. Yaşlandırılmış *Arenga Pinnata* liflerinin orijinal liflere oranla çekme mukavemetini 50.4% arttığı fakat darbe mukavemetinde 6.33% azalmaya sebep olduğu değerlendirilmiştir. Yaşlandırma işleminin malzemenin sünekliğini arttırmasının yanı sıra, mukavemetinde önemli bir düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Ali vd., 2010).

Yukarıda belirtilen ve halihazırda literatürde kaydedilmiş çalışmalar dikkate alındığında doğal liflerin polimer matris içerisine farklı formlarda takviye edilebildiği ve üretilen polimerik kompozit malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin önemli ölçüde iyileştiği görülmektedir.

Epoksi Reçine

Epoksi reçine, en basit hali ile epiklorohidrinin hidroksil ve/veya karboksil gruplarını içeren bileşikler ile kimyasal reaksiyonu sonucu üretilen, yapısında bir veya daha fazla epoksi veya oksiran halkası bulunduran ve ısıyla sertleşen endüstriyel termoset bir polimerdir (Şekil 1.4) (Karaduman, 2009).



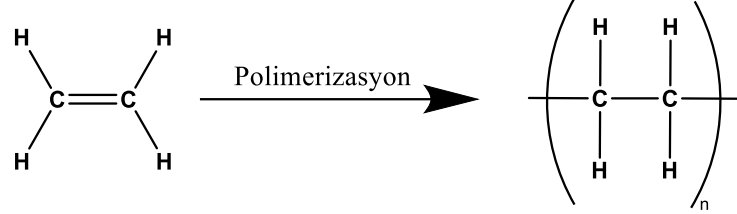
Şekil 1.3. Epoksi reçine kimyasal yapısı (Saeb vd., 2017)

Seçilen sertleştiricinin özelliğine bağlı olarak 5-150 °C sıcaklık aralığında kolay ve hızlı sertleşebilme özelliğine sahiptir. Moleküller arasında çapraz bağlanma sonucunda kimyasal rezonansın az olması, kürlleme esnasında büzüşmenin (%1-5) az olmasına ve buna bağlı olarak da yüksek dayanıma neden olur. Su geçirmezliği, düşük nem emilimi, yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi özellikleri sahip uzun ömürlü malzemelerdir. Bu özelliklerinin yanında, diğer polimerlere göre maliyetinin yüksek ve kürlleme süresinin uzun olması gibi dezavantajlarına rağmen kompozit malzemelere ihtiyaç duyulan uygulamalar için yaygın olarak tercih edilmektedir (Kozdrach, 2020; Yaşaroğlu, 2020).

Epoksi, 1930'lu yıllarda ilk kez sentezlendiğinden beri, boya sanayii, otomotiv, deniz taşıtları, havacılık gibi birçok endüstriyel alanda uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca, sert ve hafif köpük üretiminde, beton yüzey kaplamalarında yapıştırıcı olarak, kompozit ve laminant kaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Binalar da, otoyol konstrüksiyonlarında, yarık doldurulmasında ve yüksek kimyasal direnç istenen alanlarda, rüzgar türbin kanatlarında, uçak parçaları, roket yuvalarının elektronik ve elektrikli bileşenleri ile elektrik izolatörlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Baydemir, 2020).

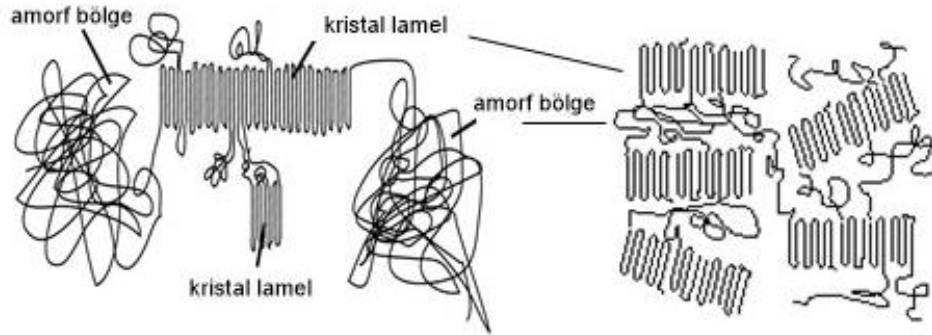
Polietilen

Polietilen, etilen (C_2H_4) monomerinin yüksek sıcaklık ve basınç altında katalizörler yardımı ile polimerizasyonu sonucunda elde edilen yarı kristalin özellikte endüstriyel bir termoplastiktir (Şekil 1.5) (Dere, 2021).



Şekil 1.4. Etilen ve Polietilenin Kimyasal Yapıları (Çetin, 2015)

Polietilen amorf, yarı kristal ve kristal yapılar içermektedir (Şekil 1.6). Polimer zincirindeki dallanmalar kristallığın derecesini göstermektedir. Molekül yapısında dallanma ne kadar az ise kristallik o kadar fazladır. Polimer yapısında kristallik derecesi arttıkça sertlik, mekanik, kimyasal ve termal özellikler artar (Alpaslan, 2016).



Şekil 1. 5. Polietilenin Morfolojisi (Anonim 1)

Polietilen hem kimyasal hem de yüksek aşınma ve darbe direnci gibi mekaniksel kararlılığa sahip olması, neme karşı yüksek direnç sergilemesi gibi üstün özellikleri nedeniyle günümüzde ulaşım, tarım, ilaç, gıda, kimyasallar, tekstil, kâğıt yapımı, havacılık endüstrisi ve askeri savunma teçhizatı vb. alanlarda kullanılmaktadır (Anonim 2).

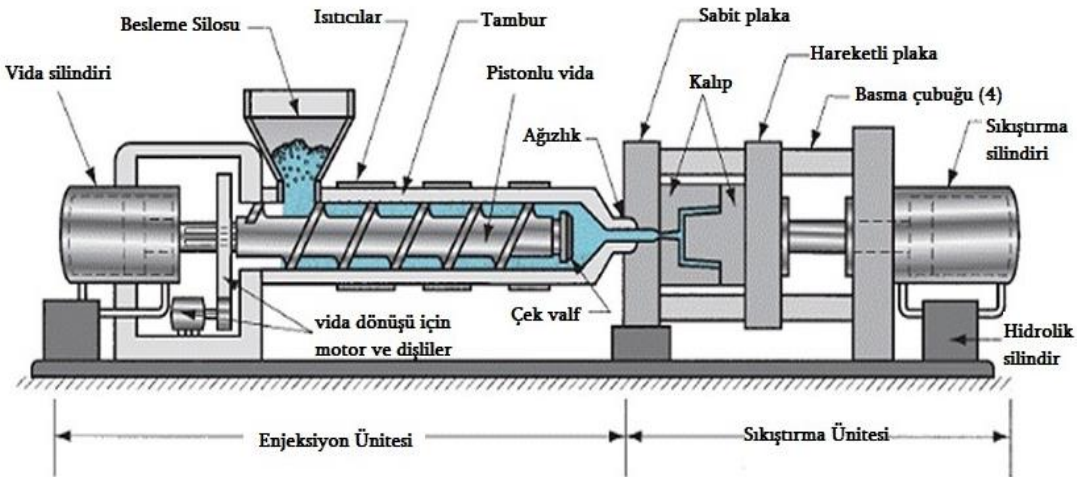
1.2. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri

Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri matris malzemesinin türüne ve son ürünün istenen şekline bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Termoset matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak elle tabakalama yöntemi, püskürtme yöntemi, çekme, iplik sarma, vakum infüzyon / reçine transfer yöntemleri kullanılırken, Termoplastik matrisli kompozitlerin üretiminde ise enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, şişirmeyle kalıplama, termal şekillendirme ve presli kalıplama yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen yöntemler arasında, tez kapsamında epoksi matrisli kompozitlerin üretilmesinde döküm yöntemi, polietilen matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde enjeksiyon ile kalıplama yöntemi tercih edilmiştir.

Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Bu yöntemde, granül veya toz halindeki polimer matris malzemesi eriyik forma kadar ısıtılır. Isıtma süresi ve ısıtma sıcaklığı polimerin türüne göre değişiklik gösterir. Eriyik haldeki polimer, yüksek basınç ile istenilen şekildeki kalıp boşluğuna doldurularak katılaşması sağlanır (Şekil 1.7) (Aslan, 2011).



Şekil 1.6. Enjeksiyon Kalıplama Cihazı Şematik Gösterimi (Anonim 3)

Enjeksiyon yöntemi hızlı ve yüksek hacimlerde parça üretimi, üretilen malzemeye son işlem gerektirmemesi, düşük malzeme kaybı, polimerik matrislere takviye elemanının kolaylıkla yapılabilmesi, farklı geometrik parçaların üretilmesi ve otomasyon sistemleri ile kontrol edilebilir olması gibi avantajlarının yanı sıra ilk yatırım maliyetlerinin, ekipmanlarının ve yedek parçalarının pahalı olması gibi dezavantajlara sahiptir (Aslan, 2011; Şahin, 2018).

Literatür çalışmaları incelendiğinde termoplastik malzemelerin üretiminde genellikle enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanıldığı görülmektedir (Aslan, 2011). Bu malzemeler, sıcaklık ile fiziksel bir değişim göstererek akıcı hale gelir, soğutulduğunda ise katılaşır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir;

Plastik enjeksiyon yöntemi ile matris malzemesi olarak polipropilen ve poliamid 6'nın kullanıldığı, cam elyaf katkılı kompozit malzemeler üretilmiş, kompozit malzemenin çekme ve eğme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özellikleri belirlenmiş ve her iki matris malzemesinin de cam lifi katkı oranlarına göre mekanik özelliklerinin geliştiği rapor edilmiştir (Sabancı, 2005).

Polipropilen ve polietilenin kullanıldığı bir çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplamada soğutma sistemlerinin kompozit malzemenin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Klasik ve modifiye soğutma sisteminde malzeme kalitesinde önemli bir parametre olan çekme ve çarpılma parametreleri değerlendirilmiştir. Her iki soğutma sisteminde de çevrim süresinin ve kalıp sıcaklığının artırılması ile çekme oranları ve çarpılma miktarlarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca ısı akış analizleri yapılarak tasarlanmış modifiye soğutma sisteminde malzemede meydana gelen çekme ve çarpılma miktarlarının iyileştiği ve daha yüksek kalitede ürünler elde edilebileceği görülmüştür (Demirer vd, 2009).

Kaymakçı ve arkadaşları atık alüminyum, polietilen (tetrapak) ve pirinç sapı unları kullanarak plastik enjeksiyon yöntemi ile polimerik kompozit üretilmiş, pirinç sapı unu ve atık alüminyumun farklı takviye oranları kullanılmıştır.

Üretilen kompozit malzemenin çekme ve eğilme gibi mekanik davranışları belirlenmiştir. Pirinç sapı unu miktarının artırılması ile çekme ve eğilme direncinin azaldığı ancak elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir (Kaymakçı vd., 2012).

Başka bir çalışmada, polivinil klorür ve polikarbonat polimerleri için farklı malzemelerle hazırlanmış plastik enjeksiyon kalıplarında üretimi yapılarak kalıp malzemesinin polimer üretime etkisi değerlendirilmiştir. Üretilen malzemelerde çekme ve akma gerilmesi, yüzde uzama, sertlik ve yoğunluk ölçümleri yapılmış ve farklı sonuçlar kaydedilmiştir. Sonuçlardaki bu farklılıkların kalıp çeliklerinin sahip olduğu yüksek direnç, ısı iletim katsayısı ve bileşimlerinde bulunan element oranlarının ve çeşitlerinin farklı olması gibi parametrelerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak her plastik için farklı kalıp çeliklerinin kullanılması gerektiği belirlenmiştir (Döndüren & Serhat, 2015).

Yapılan bir başka çalışmada biyopolietilenin (Biyope) odun unu, kenaf lifi, yarfıstığı kabuğu atığı, mantar tozu, arpa sapı atığı, kekik ve deniz çayırı atığı vb. farklı doğal lif takviyeleri ile kompozit malzeme üretiminde plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin kullanım alanlarına göre performans özellikleri çeşitlilik gösterse de Biyope esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin saf Biyope ile benzer ya da daha üstün özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde atıkların ikincil hammadde olarak üretime dahil edilmesi ile üretilen biyokompozitlerin iyi mekanik özelliklerin istendiği uygulama alanlarında kullanılma potansiyeli olduğu değerlendirilmiştir (Çelik & Kılıç, 2020).

Sun ve arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmada sisal ve jüt lifi takviyeli polipropilen kompozit malzemeler, lif/polimer karışımı çift vidalı ekstrüderde 190 °C sıcaklıkta eriyik forma getirilmiş, peletler halinde üretilmiştir. Lif takviyeli polimer kompozitlerin termal ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Termogravimetrik analizler sisal lifinin jüt lifine göre termal kararlılığı artırdığı ve polipropilen uyumlaştırıcı ajan olarak kullanılan maleik anhidrit ile modifiye edilmiş ve yüzey modifikasyonun mekanik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Sun vd., 2010).

Kısa kolza lif takviyeli (%5-30) yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polistiren (PS) ve polioksimetilen (POM) polimer kompozitler plastik enjeksiyon yönetimi ile üretilmiş, mekanik ve termal özellikleri değerlendirilmiştir. Kolza takviyesinin artması ile PS ve POM ile üretilen kompozit malzemelerin çekme ve darbe mukavemeti azalırken, HDPE kompozitin artmıştır. Üç nokta eğme testlerinde katkı oranının artması ile tüm malzemelerin eğilme mukavemetinde artış görülmüştür. Ayrıca doğal lif takviyesinin yanmayı geciktirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan tüm analiz sonuçlarına bakıldığında kompozit malzeme üretiminde %30 oranlarında takviye malzemesi kullanılmasının önemli bir maliyet avantajı sağladığı görülmüş ve her üç kompozit türünde de mekanik özelliklerin artırılması için ara yüzey iyileştirmelerinin yapılabileceği belirtilmiştir (Kısmet & Doğan, 2021).

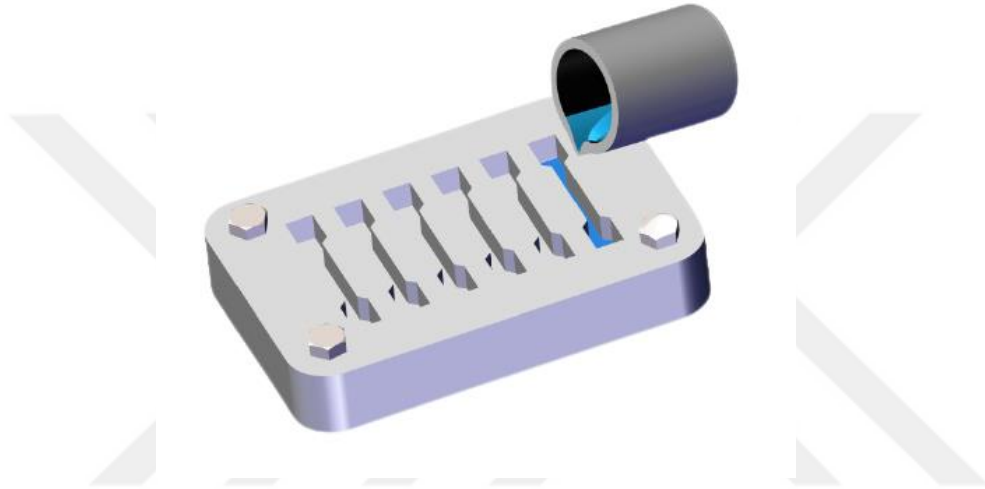
Özen ve arkadaşları, farklı oranlarda (%5-20) keten, kenaf ve kenevirden oluşan doğal lif karışımını takviye elemanı olarak kullanıldığı naylon 6 matrisli kompozit enjeksiyon kalıplama ile üretilmiştir. Doğal elyaf karışımının eklenmesi ile Naylon 6'nın çekme ve eğilme mukavemetinde artış görülmüştür. Izod darbe mukavemetleri doğal lif takviyesi ile azalma göstermiştir. Ayrıca, üretilen kompozit malzemenin erime akış indekslerinin artan katkı oranları ile azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak düşük yoğunluklu ve daha iyi mekanik özellikler sergileyen doğal lif takviyeli kompozitlerin otomotiv ve inşaat endüstrisinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir (Özen vd., 2013).

Yapılan başka bir çalışmada biyolojik temelli yüksek yoğunluklu polietilen (bio-HDPE) ile atık yosunlardan elde edilen doğal lifler kullanılarak bir kompozit malzeme farklı takviye oranlardaki (%5-40) yosun lifleri ve bio-HDPE çift vidalı enjeksiyon ve enjeksiyon kalıplama cihazı ile üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin saf bio-HDPE'ye göre termal özelliklerinde iyileşmeler gözlenmiştir. Yapılan dinamik mekanik analiz testlerinde katkı oranı arttıkça kompozit malzelerin depolama modüllerinde artış görülmüştür. Kompozit malzemenin mekanik performansının arttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, üretilen kompozit malzemenin mekanik ve termal özelliklerinin iyileştiği, su emme kapasitesinin düşük olması sebebi ile boyut stabilitesine sahip olduğu ve bu özellikleri ile zemin kaplaması, döşeme, korkuluk, otomobil iç parçaları

vb. endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek çevre dostu ürünlerin üretilebileceğini ortaya konulmuştur (Ferrero vd., 2015).

Döküm Yöntemi

Bu yöntemde, epoksi reçine uygun sertleştirici ile birlikte, hedeflenen ve kullanılacak amaca uygun olarak karıştırılır. Elde edilen karışım ASTM standartlarında hazırlanan kalıplara dökülür (Şekil 1.8). Kurlenme için optimum reaksiyon sıcaklığı ve süresi belirlenir. Kurlenme sonunda katılaştıran malzeme kalıptan çıkarılır (Anonim 4).



Şekil 1.7. Döküm yöntemi şematik gösterimi

Daha önce yapılmış çalışmaları incelendiğinde, doğal lif takviyeli epoksi kompozit malzemelerin üretiminde döküm yönteminin yaygın olarak tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir;

Takviye elemanı olarak *Jatropha* tohumlarının kullanıldığı döküm yöntemi ile üretilen bir epoksi kompozit hazırlanması sırasında, *Jatropha* tohumlarının homojen olarak dağıtılması için, reçine içinde mekanik olarak karıştırılmış daha sonra ortama sertleştirici ilave edilerek kalıplara dökülmüş ve 48 saat oda sıcaklığında kurlendikten sonra kompozit malzemeler kalıptan çıkarılmıştır (Shivamurthy vd., 2015).

Muz lifinin takviye elemanı olarak kullanıldığı epoksi matrisli kompozit malzeme üretimi, farklı katkı oranlarında (%2.5-7.5) muz lifleri ve epoksi reçinenin yaklaşık 20 dakika karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Karışım oda sıcaklığında ve farklı dönme hızlarında santrifüj döküm yöntemi ile üretilmiştir (Jamian vd., 2016).

Yusuf ve arkadaşları, yağ palmyesinin meyve lifi takviyeli epoksi kompozit malzeme üretmişlerdir. %5'lik lif takviyesinin kullanıldığı karışım ASTM standartlarına göre hazırlanan kalıplara dökülmüş ve 24 saat oda sıcaklığında kürlleme işlemi uygulanmıştır (Yusup vd., 2019).

Hindistan cevizi kabuklarının (200-800 μm aralığında) farklı oranlarda (%20-35) takviye edildiği epoksi kompozit, hindistan cevizi partikülleri ve epoksi reçine ile hazırlanan çözeltinin 2 saat süre ile 90 ± 10 °C sıcaklıkta fırında bekletilmiş ve her yarım saate bir fırından çıkarılarak yüksek hızda mekanik karıştırıcı ile karıştırılması sonucu yüksek viskoziteli bir çözelti elde edilmiştir. Elde edilen çözelti ortamına sertleştirici ilave edilerek döküm yöntemi ile üretilmiştir (Bhaskar & Singh, 2013).

Yukarıdaki çalışmalar ve literatürde kaydedilmiş çalışmalar değerlendirildiğinde, döküm yöntemi ile epoksi matrisli kompozit malzeme üretiminde, kompozit malzemenin üretiminde, takviye elemanlarının homojen olarak dağıtılması için farklı dağıtıcı ortamlar ve kompozitin özelliğini etkileyen farklı kürlleme proseslerinin uygulandığı görülmektedir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Materyaller

2.1.1. Kimyasallar

Epoksi reçine (EP) ve sertleştirici (LR160-260) Dost Kimya, 128 °C erime noktasına ve 4.987 g/10 dakika erime akış indeksine sahip geri dönüştürülmüş polietilen (RC-PE) Guangzhou Lushan Nem Materials Co. Ltd., Maleik Anhidrit (MA) Merck, Triviniletoksilan (TVES) ve 1-Bütül 3-Metil İmidazolyüm Klorür (BMIC) Sigma-Aldrich firmalarından temin edildi. Ayrıca takviye malzemesi olarak kullanılan kenevir lifleri Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi'nden temin edilmiştir.

Kullanılan diğer kimyasallar analitik saflıkta olup, Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

2.1.2. Cihazlar

Wiley Değirmeni

Kenevir lifleri, odun öğütücü wiley değirmen (Fritsch-Pulverisette 19) kullanılarak öğütüldü. Öğütücü çıkışında moleküler elekler kullanılarak, 80 µm elek altı lifler çalışmada kullanıldı. Bu özellikteki lifler ham kenevir olarak isimlendirildi.

Mikser

Doğal liflerin geri kazanılmış polietilen (RC-PE) matris içerisinde homojen olarak dağıtılmasının sağlanması amacıyla Tablo 2.1'de teknik özellikleri verilen mikser (Brabender / W50 EHT + Plastograph EC Plus) kullanıldı.

Tablo 2. 1. Mikser cihazı teknik özellikleri

Maksimum mikser tank hacmi	55 cm ³
Örnek Ağırlığı	40- 70 g
Isıtma/Soğutma	Sıvı, hava ısıtmalı
Maksimum Tork	200 Nm
Numune Boyu WxHxD	700 mm x 200 mm x 450 mm
Yaklaşık Net Ağırlık	18 / 17 kg



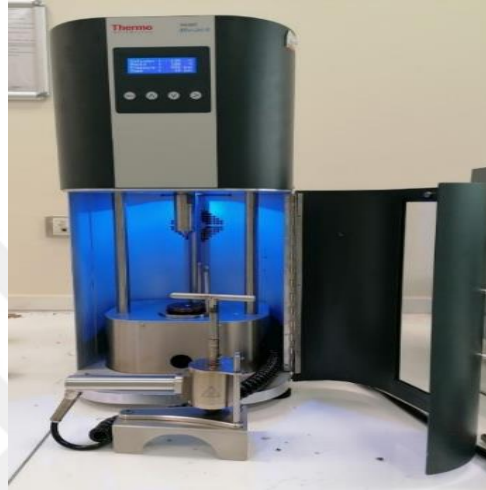
Şekil 2.1. Mikser cihazı

Laboratuvar Tipi Mini Enjeksiyon Kalıp Hazırlama

Mikserde karıştırılan doğal lif ve RC-PE karışımı, laboratuvar tipi plastik enjeksiyon cihazı (Thermo Scientific HAAKE Minijet II) kullanılarak, Tablo 2.2’de verilen koşullarda ASTM standartlarına uygun özellikteki kalıplar kullanılarak numuneler hazırlandı. Bu tez çalışması kapsamında polietilen matrisli kompozit malzemelerin enjeksiyon kalıplama ile üretilmesi Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezi Polimer Analiz Teknikleri Laboratuvarı’nda bulunan Mikser ve Laboratuvar Tipi Mini Enjeksiyon Kalıplama Cihazı ile yapılmıştır.

Tablo 2. 2. Mini enjeksiyon kalıplama cihazı teknik özellikleri

Enjeksiyon Basıncı	Maksimum 1200 bar
Boyutlar	300 mm x 460 mm x 710 mm
Hava Basıncı	Maksimum 10 bar
Kalıp Derecesi	Maksimum 250 °C
Silindir Derecesi	Maksimum 400 °C



Şekil 2.2. Laboratuvar tipi mini enjeksiyon kalıplama

FT-IR Spektrofotometre

Ham kenevir liflerinin, selülozik nanoliflerin ve yapılan yüzey modifikasyonlarına ait değişimler örneklerin 32 cm^{-1} tarama hızında ve $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ tarama bölgesinde FT-IR spektrumları (Bruker Vertex 70V, ABD) alınarak belirlendi.

X-Işını Difraktometresi (XRD)

Ham kenevir lifi ve selülozik nanoliflerin kristalitesi, $0.02\text{ }^{\circ}/\text{dk}$ artış hızında $10^{\circ}\text{-}90^{\circ}$ aralığında X-ışınları difraktometresi (XRD, Rigaku Ultima IV ve Bruker AXS/Discovery D8) cihazı kullanılarak belirlendi.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Ham kenevir liflerinin ve selülozik nanoliflerin morfolojik özellikleri 15 kV gerilim altında altın kaplanarak Taramalı elektron mikroskobu (Carl Zeiss / Gemini 300) kullanılarak belirlendi.

Kompozit malzemelerin morfolojik özellikleri 5-10 kV gerilim altında ve altın kaplama yapılarak Taramalı elektron mikroskobu (JEOL 5060) kullanılarak elde edildi.

Termogravimetrik Analiz Cihazı (TGA)

Kenevir liflerinin termal özellikleri TGA (Perkin Elmer Pyris) cihazı kullanılarak elde edildi. Epoksi kompozit malzemenin termal özellikleri, azot atmosferinde 10 °C/dk artış hızında 30 °C- 900 °C sıcaklık aralığında TGA/DTA (TA/SDT650) cihazı kullanılarak belirlendi.

Termomekanik Analiz Cihazı (TMA)

RC-PE matrisli kompozitlere ait termal özellikleri 0.5 N sabit yük altında ve 10 °C/dk artış hızında 110 °C'ye ısıtılarak TMA (Mettler – Toledo / TMA / SDTA 841) cihazı kullanılarak belirlendi.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

RC-PE ve Epoksi matrisli kompozitlerin ve Kenevir liflerinin ısı özellikleri azot atmosferinde, 10 °C/dk artış hızı ve 25 °C- 600 °C sıcaklık aralığında DSC (Mettler – Toledo / DSC 1 / 700) cihazı kullanılarak belirlendi.

Zetasizer

Ham kenevir lifinden elde edilen selülozik nanoliflerin yüzey yükü ve boyut dağılımı Zetasizer (Malvern- Nano ZS) cihazı kullanılarak belirlendi.

Sertlik (Shore A ve Shore D)

RC-PE ve Epoksi matrisli kompozit malzemelerin sertlik değerleri Mitutoyo Hardmatic Type A/Type D sertlik cihazı kullanılarak belirlendi.

Çekme Mukavemeti

RC-PE matrisli kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri Shimadzu AG-I / 5 kN çekme cihazı kullanılarak belirlendi. ISO 527-2-5a standardına göre 5 adet test numunesi çekme testine tabi tutuldu.

Erime Akış İndeksi (MFI)

RC-PE matrisli kompozit malzemelerin erime akış indeksleri 230 °C sıcaklıkta Instron / Ceast MF20 cihazı kullanılarak belirlendi.

Kullanılan Diğer Cihazlar

pH metre (İnolab WTW, Almanya), çalkalayıcı inkübatör (Heidolph Unimax 1010, Almanya), ısıtıcılı su banyosu (Labcon CPE20, Labcon LTB12140, Güney Afrika), manyetik ısıtıcılı karıştırıcı (Isolab, Almanya).



2.2. Metot

2.2.1. Ham Kenevirden Selüloz Ekstraksiyon

Kenevir lifinden selüloz ekstraksiyon işlemi saf su ile yıkandıktan sonra willey değirmende öğütülmüş 80 µm elek altı lifler kullanılarak gerçekleştirildi. Bu lifler çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde ‘ham kenevir (NF)’ olarak adlandırıldı. NF, ilk olarak H₂O₂ (7% v/v) ve NaOH (4% w/v) (1:1 v/v) çözeltisi ile 60 °C’de 3 saat su banyosunda muamele edilerek ağartıldı (Başaran Kankılıç & Metin, 2020; Nascimento & Rezende, 2018). İkinci aşamada ise farklı derişimlerdeki ((5-30% (v/v), 50 ml) H₂SO₄ çözeltisi ile 60 °C’de 3 saat muamele edildi (Purkait vd., 2011). Elde edilen selülozik lifler, saf su ile yıkandı ve 40 °C’de etüvde kurutuldu. Kimyasal ekstraksiyon işlemine, H₂SO₄ derişiminin etkisi XRD analizleri aracılığı ile belirlendi. Belirlenen optimum koşullarda elde edilen selülozik nanolifler çalışmanın bundan sonraki aşamasında kullanıldı ve CNF olarak kısaltıldı.

2.2.2. Selülozik Nanoliflerin Modifikasyonu

Ham kenevirin yanı sıra, kimyasal ekstraksiyon ile elde edilen ve özellikleri aydınlatılan selülozik nanolifler de epoksi reçine ve geri dönüştürülmüş polietilen matrisli kompozitte takviye elemanı olarak kullanıldı. Bu doğrultuda, polimer/doğal lif arayüzey etkileşimi arttırmak amacıyla, selülozik nanoliflere modifikasyon işlemleri uygulandı.

2.2.3. Selülozik Nanoliflerin Maleik Anhidrit (MA) ile Yüzey Modifikasyonu

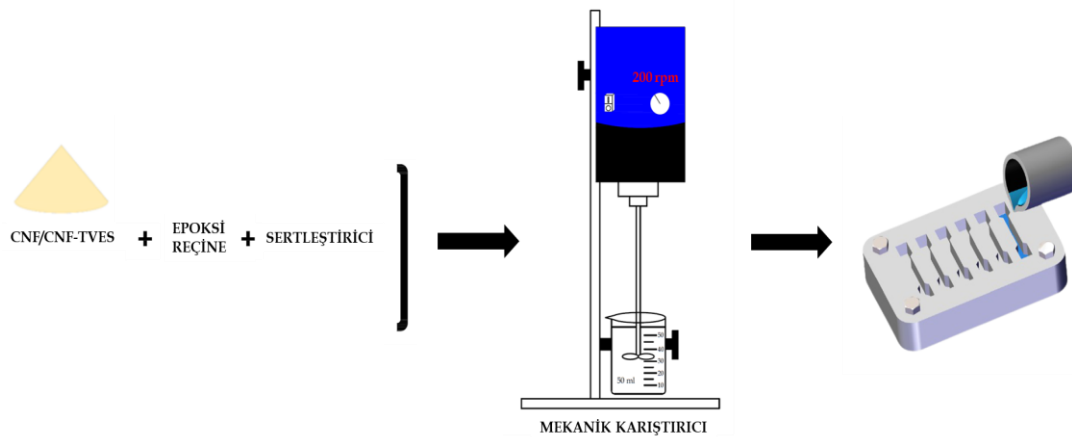
Maleik anhidrit modifikasyonu için kurutulmuş selülozik nanolifler, dimetilsülfoksit ile hazırlanmış 1-bütül 3-metil imidazolyum klorür çözeltisi (5% (w/v)) içerisinde 10 dakika boyunca 110 °C’de geri soğutucu altında muamele edildi (Chen vd., 2013). Daha sonra reaksiyon ortamına maleik anhidrit (CNF:MA = 1:0.5) olacak şekilde propanolde (20 mL) çözülerek ilave edildi. Modifikasyon reaksiyonu, 110 °C’de 10 saat gerçekleştirildi. Reaksiyon sonunda, ortamdan uzaklaştırılan maleik anhidrit modifiyeli selülozik nanolifler (CNF-MA) saf su ile yıkanarak 40 °C’de etüvde kurutuldu.

2.2.4. Triviniletoksilan (TVES) ile Yüzey Modifikasyonu

Triviniletoksilan ile selülozik nano liflerin modifikasyonu, dağıtıcı faz olarak polar bir çözücü olan etil alkol kullanılarak gerçekleştirildi (Sabarinathan vd., 2022). Bu amaçla, CNF lifleri etanol ile hazırlanmış TVES (%4 (v/v)) çözeltisine eklenerek oda sıcaklığında 2 saat muamele edildi. Elde edilen TVES modifiyeli selülozik nanolifler (CNF-TVES) saf su ile yıkanarak 40 °C’de inkübatörde kurutuldu.

2.2.5. Doğal Lif katkılı epoksi kompozit malzemelerin üretilmesi

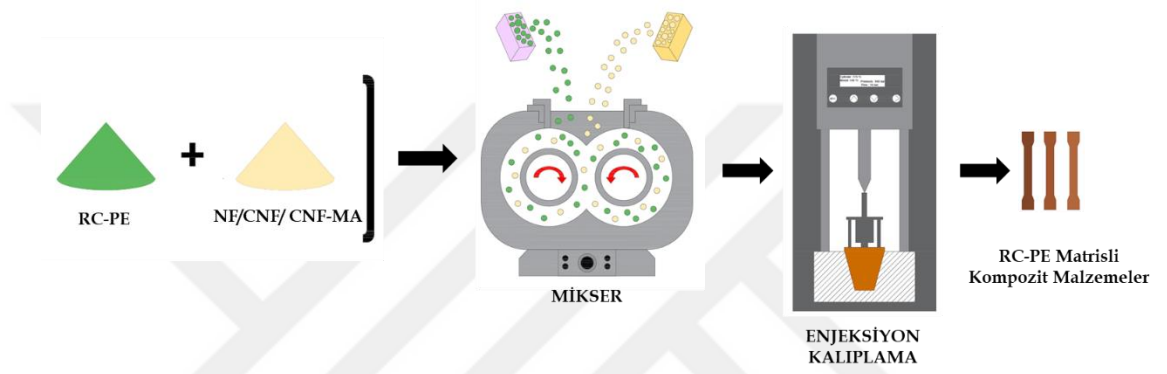
Ham kenevir (NF), selülozik nanolif (CNF) ve TVES modifiye selülozik nanolif (CNF TVES) içeren epoksi kompozit malzemelerin üretilmesinde, takviye elemanı olarak kullanılan doğal liflerin epoksi reçine içerisinde iyi dağılmasını sağlamak amacıyla dağıtıcı faz olarak etil alkol kullanıldı. Tüm lifler, kütsel olarak farklı oranlarda (%0.5-%10 (w/v)) olacak şekilde etil alkol içinde 15 dakika boyunca 10000 rpm de homojenize edildi. Daha sonra bu ortama epoksi reçine (0.625 v/v, 12.5 ml) ve sertleştirici (0.375 v/v, 7.5 ml) eklenerek mekanik karıştırıcıda 10 dakika karıştırıldı. Elde edilen lif takviyeli epoksi reçine, ASTM standardına göre hazırlanmış kalıplara dökülerek 17 saat oda sıcaklığında ve 3 saat 80 °C’de etüvde kürlendi (Imoisili & Jen, 2020).



Şekil 2.3. EP matrisli kompozit malzeme üretim yöntemi şematik gösterimi

2.2.6. Doğal Lif katkılı polietilen matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi

Ham kenevir, selülozik nanolif ve maleik anhidrit modifiyeli selülozik nanolif içeren geri dönüştürülmüş polietilen matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde liflerinin homojen olarak karışmasını sağlamak amacıyla mikser kullanıldı ve takviye elemanlarının kütle oranı % 5-50 aralığında olacak şekilde, lifler RC-PE ile 175 °C sıcaklıkta 30 dk boyunca karıştırıldı. Elde edilen karışım, 6 mm elek boyutlu kırıcıda granül haline getirildi ve mini enjeksiyon kalıplama cihazında 175 °C sıcaklık ve 800 bar basınç ile ASTM standartlarına uygun şekilde kalıplanarak üretildi.



Şekil 2.4. RC-PE matrisli kompozit malzeme üretim yöntemi şematik gösterimi (Park vd., 2016)

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Ham Kenevir ve Selüloz Nanoliflerin Karakterizasyonu (XRD, FTIR, Boyut dağılımı, TGA, DSC, SEM)

Bu çalışmada, kenevir lifleri kenevir bitkisinden soyularak tam boy halinde çıkarılmış şekilde temin edildi. Tam boy halindeki kenevir lifleri yaklaşık 1 cm boyunda olacak şekilde kesildi (Şekil 3.1a). Saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra, wiley değirmende öğütülerek toz haline getirildi. Çalışmada, 80 µm elekten geçirilmiş kullanılan kenevir örnekleri kullanıldı (Şekil 3.1b).



Şekil 3.1. Kenevir liflerinin Dijital Fotoğrafları: NF (a), Öğütülmüş-NF lifi (b) ve (c) CNF

Kenevir lifi, temel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmaktadır. Selüloz kenevir lifinin toplam kütlelerinin yaklaşık olarak %75'ini oluşturmaktadır (Bulut & Erdoğan, 2011; Mohanty vd., 2000). Geri kalan kısım pektinler, lignin, bitkisel mumlar ve yağlar, çeşitli suda çözünür maddeler ve nemdir (Kaya, 2021).

Selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan bitki liflerinin rengi, lignin yapısındaki kromofor gruplarının varlığına bağlı olarak değişir (Capanema vd., 2001). Her kimyasal işlemten sonra lif rengindeki değişiklik, kimyasal yapıdaki değişikliği gösterir (Johar vd., 2012; Martins vd., 2011). Bu çalışmada, kimyasal ekstraksiyon işleminden sonra elde edilen kenevir liflerinin beyaz rengi, yapıdan lignin gibi renkli grupların uzaklaştığını gösterdi (Şekil 3.1c).

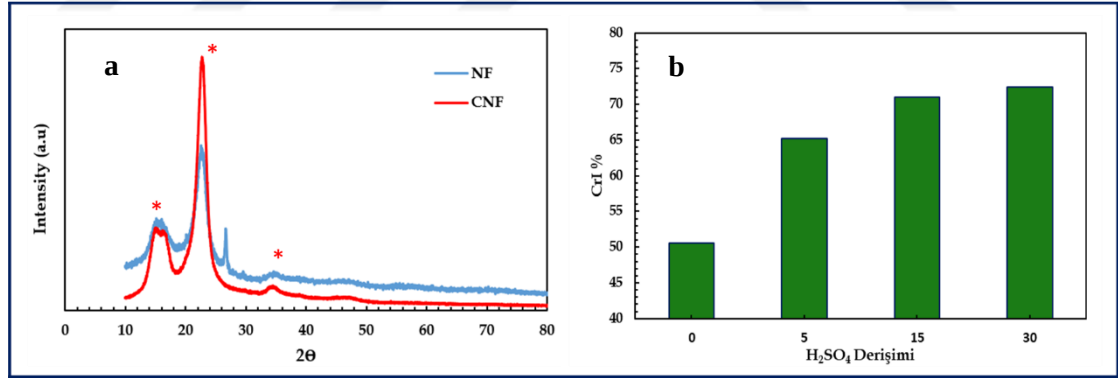
3.1.1. X-Işını Kırınımı:

Ham kenevire uygulanan kimyasal ekstraksiyon işleminin ardından yüksek oranda saflaştırılmış selüloz lifler elde edilmiştir. Uygulanan kimyasal işleminde H₂SO₄ çözelti derişiminin elde edilen selüloz fibrillerin yapısı üzerine etkisi, XRD analizi yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu amaçla, X-ışını kırınımı verileri yardımıyla kristalite indeks değeri (CrI), Segal ve arkadaşları tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı (Nam vd., 2016).

$$\text{CrI (\%)} = (I_{200} - I_{\text{am}} / I_{200}) * 100$$

Burada, I₂₀₀ 2Θ'de 22.6° kristal bölgeyi temsil ederken, ve I_{am} 2Θ = 16.8° amorf bölgeye karşılık gelmektedir (Deepa vd., 2015; J. Li vd., 2012).

Şekil 3.2, Kenevir lifine farklı H₂SO₄ derişimleri (%5-30 v/v) uygulanarak yapılan kimyasal ekstraksiyon sonucunda elde edilen selüloz liflerinin kristalite indeks değerleri ile ham kenevir ve belirlenen optimum koşullarda ekstrakte edilen selüloz liflere ait X-ışınları kırınım desenini göstermektedir.



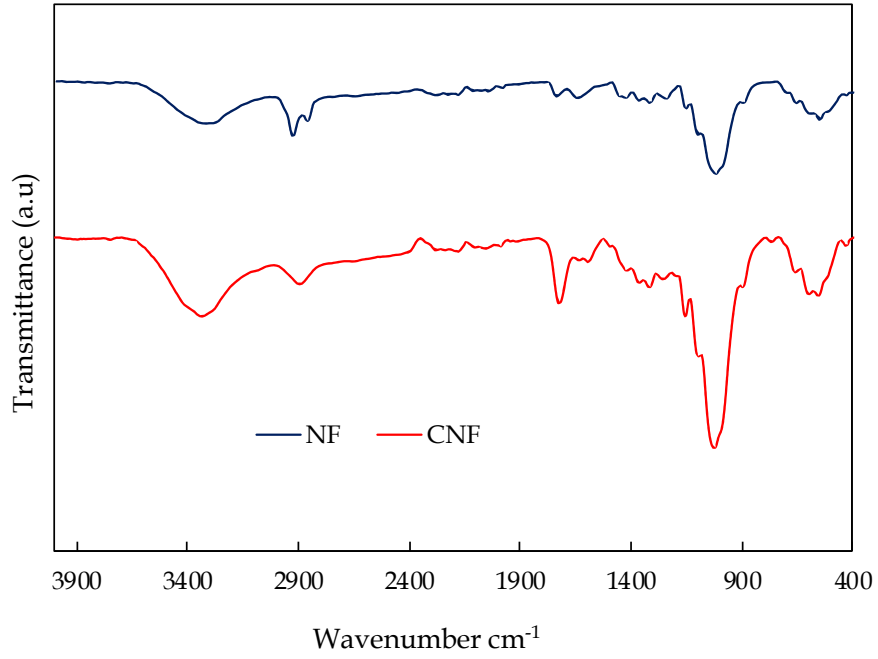
Şekil 3.2. (a) NF ve CNF liflere ait X-ışını Kırınım Desenleri; (b) Kristallik İndeks değerine H₂SO₄ derişimin etkisi

X ışını kırınım desenlerine bakıldığında, ekstraksiyon işlemi ile kenevirin kristalitesinin arttığı görülmektedir (Şekil 3.2a). Ham bitki numunesi için hesaplanan kristalite indeks değeri %50.61 olarak bulunurken, ekstraksiyon işleminden sonra, işlem sırasında kullanılan H₂SO₄ derişimine bağlı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 3.2b). %5'lik H₂SO₄ çözeltisi kullanıldığında CrI değeri yaklaşık %65 iken, %30'luk H₂SO₄ çözeltisi kullanıldığında bu değerin yaklaşık %72.47'ye ulaştığı belirlendi (Şekil 3.2b).

Kristalite indeks değerindeki bu artış, amorf polimerler olan hemiselüloz ve ligninin bitki yapısından uzaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, XRD desenine bakıldığında, tüm numunelerin kırınım modellerinde, tipik Selüloz I yapısını temsil eden ve kristal bütünlüğünü gösteren $2\Theta = 16.8^\circ$ ve 22.86° 'lik piklerin korunduğu görölmektedir. Klemm ve ark., Selüloz I'in tipik olarak iyi tanımlanmış yaklaşık $2\Theta = 16^\circ$, 22° ve 35° 'lik tepe noktalarına sahip olan üç pikli kırınım modeline sahip olduğunu ve yaklaşık $2\Theta = 22^\circ$ 'de hiçbir ikili pikin gözlemlenmediğini belirtmiştir (Klemm vd., 2005). Sonuç olarak, XRD kırınım desenine göre, uygulanan kimyasal işlem ile selüloz lifleri kristal yapısını korurken, kristalite değerinin kimyasal işlemle arttığı belirlenmiştir (Feng vd., 2018).

3.1.2. FT-IR Spektrumu

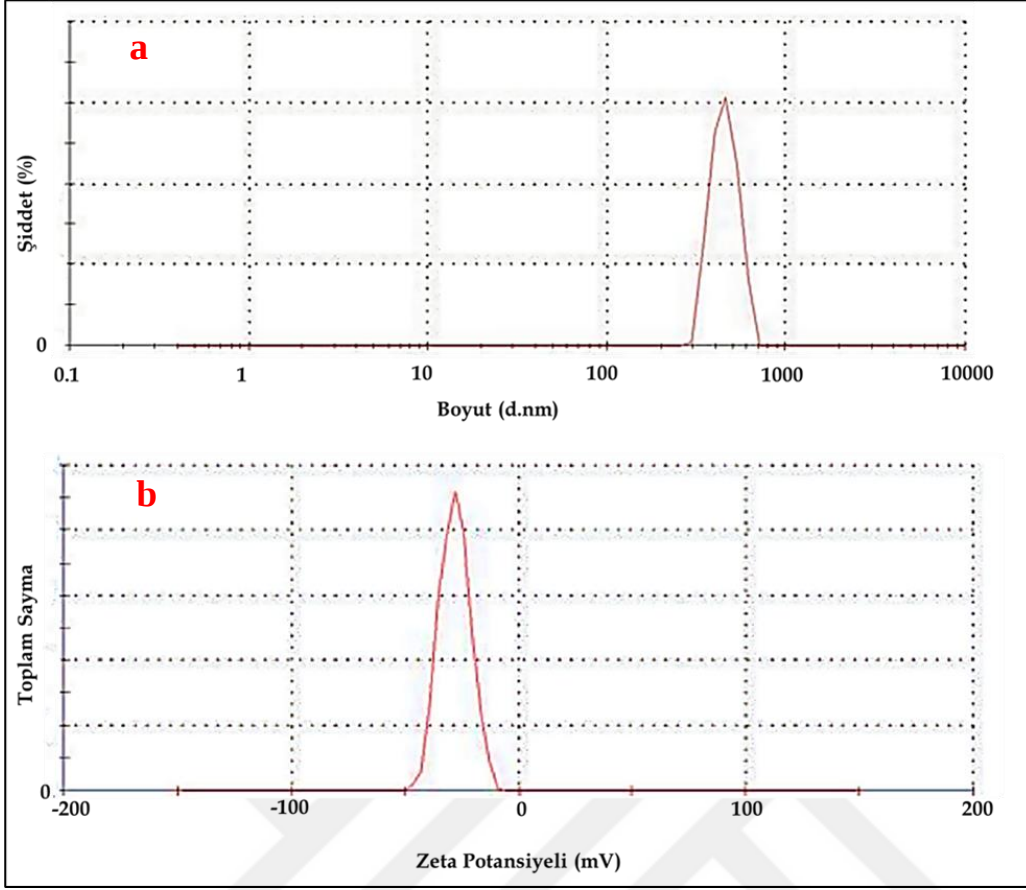
Ekstraksiyon işlemi sırasında kenevir fibrillerinin kimyasal bileşimini ve yapısındaki değişiklikleri gözlemlmek için FTIR spektroskopisi kullanıldı. NF ve CNF liflerin FTIR spektrumları Şekil 3.3'te görölmektedir. Ham kenevir ve CNF'nin FTIR spektrumlarına bakıldığında, $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bant selülozun yapısındaki -OH grubuna ait gerilme titreşimleridir (Güney vd., 2021). Bu bantın şiddetindeki artış, kimyasal işlemler sonrasında kenevirdeki lignin yapısının uzaklaştırılması ve selüloz içeriğinin artmasından kaynaklanmaktadır (Ventura-Cruz & Tecante, 2019). Ekstraksiyon işleminden sonra, bu bölgede gözlenen pikin yoğunluğu ve genişliğindeki artış önemlidir. Selüloz yapısına ait C-O gerilme titreşimi, C-O-C asimetrik gerilme titreşimi ve C-H titreşimi sırasıyla 1022 cm^{-1} , 1124 cm^{-1} ve 1386 cm^{-1} 'de görölmektedir. Ayrıca, 895 cm^{-1} 'de gözlenen band, selülozun karakteristik β -glukozidik bağına aittir (Güney vd., 2021).



Şekil 3.3. NF ve CNF liflere ait FTIR spektrumu

3.1.3. Partikül Boy ve Boyut Dağılımı

Selülozik nanoliflerin partikül boyut dağılımı ve yüzeyindeki yük dağılımı zeta-sizer kullanılarak belirlendi. Dağıtıcı ortam olarak distile su kullanılarak yapılan analiz sonucunda, liflerin boyut dağılımının dar bir aralığa ve 390 nm (PDI:0.381) ortalama hidrodinamik yarıçapıa sahip olduğu belirlendi (Şekil 3.4a). Ayrıca, CNF liflerinin nötral pH değerine yakın su ortamında yüzey yükünün -28.2 mV olduğu belirlendi (Şekil 3.4b) ± 20 –30 mV potansiyele sahip partiküllerin orta düzeyde ± 30 mV’den daha yüksek yüzey potansiyeline sahip partiküllerin ileri düzeyde kararlılığa sahip olduğu bilinmektedir (Çal & Bucurgat, 2019). Buna göre, ekstraksiyon işlemi sonrasında elde edilen liflerin birbirlerini itme güçlerinin oldukça iyi olduğunu ve polimer matris içerisinde yığılma ve çökelme olmadan homojen bir şekilde dağılım göstereceği düşünülmektedir (Tokay, 2007).



Şekil 3.4. CNF nanoliflerin (a) boy ve boyut dağılımı ve (b) yüzey yükü dağılımı

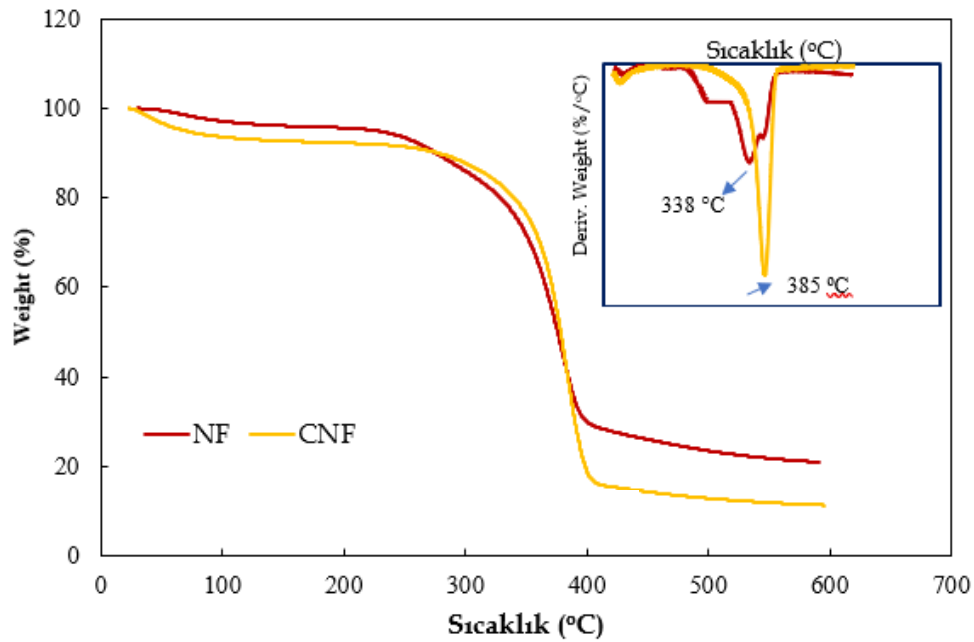
3.1.4. Ham kenevir ve selülozik nanoliflerin TGA analizi

NF ve CNF nanoliflerin termal bozunma (TGA) ve türetilmiş termal bozunma eğrileri (DTG), sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 3.5'te gösterildi. Termal bozunma eğrilerine bakıldığında, 100 °C'ye kadar olan sıcaklık aralığında liflerin yapısındaki nemin ya da uçucu bileşiklerin uzaklaşması sebebi ile %10'luk bir kütle kaybı görülmektedir.

Kimyasal yapılarındaki farklılık nedeniyle hemiselüloz, selüloz ve lignin genellikle farklı sıcaklıklarda ayrışmaktadır (Yang vd., 2007). NF lifler için, yaklaşık 338 °C'de keskin bir ağırlık kaybı olurken, CNF lifler için bu kayıp 385 °C'de gözlemlendi. Bu durumun ham kenevirin yapısındaki lignin ve hemiselüloz gibi amorf bölgelerin ekstraksiyon işlemi sonucunda kenevir lifinden uzaklaştırılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bozunma sıcaklıklarındaki bu değişim DTG eğrilerinden daha kesin olarak görülmektedir. Ham kenevir lifleri için, DTG piki, kimyasal ekstraksiyona

uğramış kenevir liflerine göre daha düşük sıcaklıklarda ortaya çıktığı açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, ham kenevir lifinin DTG eğrisinde düşük sıcaklıkta gözlenen omuz daha erken bozunmaya uğrayan hemiselüloza atfedilmektedir (Morán vd., 2008).

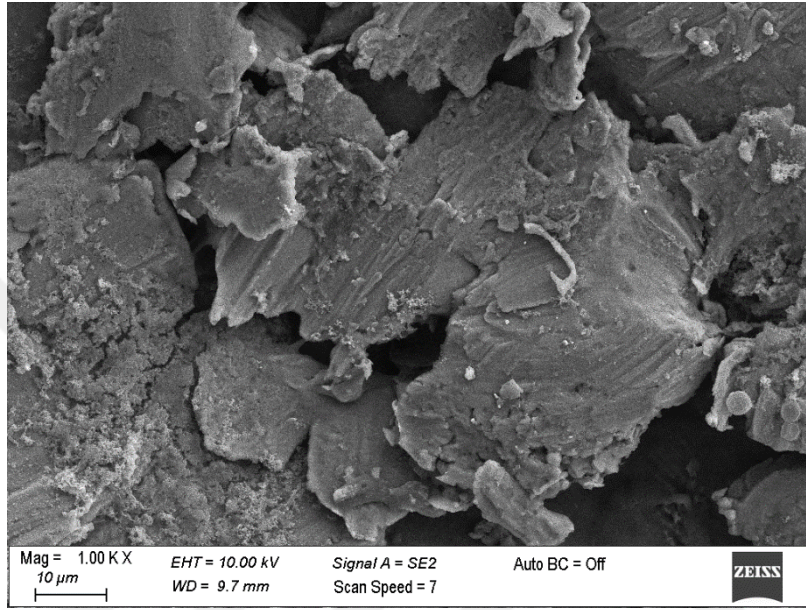
Şimdiye kadar, farklı bitki türlerinden kimyasal ekstraksiyon yoluyla selülozik nanolifler elde edilmiş, yukarıda ulaşılan benzer sonuçlar kaydedilmiştir. Karzadeh ve arkadaşları kenaf lifinden H_2SO_4 asit hidrolizi yoluyla ekstrakte edilen selüloz nanokristallerinin termal davranışını, ham kenaf lifi ile karşılaştırdığında benzer sonuçlara ulaşmıştır. 328 °C olan bozunma sıcaklığının selüloz nanokristaller için 350 °C yükselttiği ve uygulanan işlemin liflerin termal kararlılığını arttığını belirlemiştir (Kargarzadeh vd., 2012). Kankılıç ve Metin, *P.australis* bitkisinden selüloz ekstrakte ettikleri çalışmalarında, ekstraksiyon işlemi ile birlikte *P. australis* bitkisinin degradasyon sıcaklığının artarak 351 °C'ye ulaştığını belirtmişlerdir (Başaran Kankılıç & Metin, 2020).



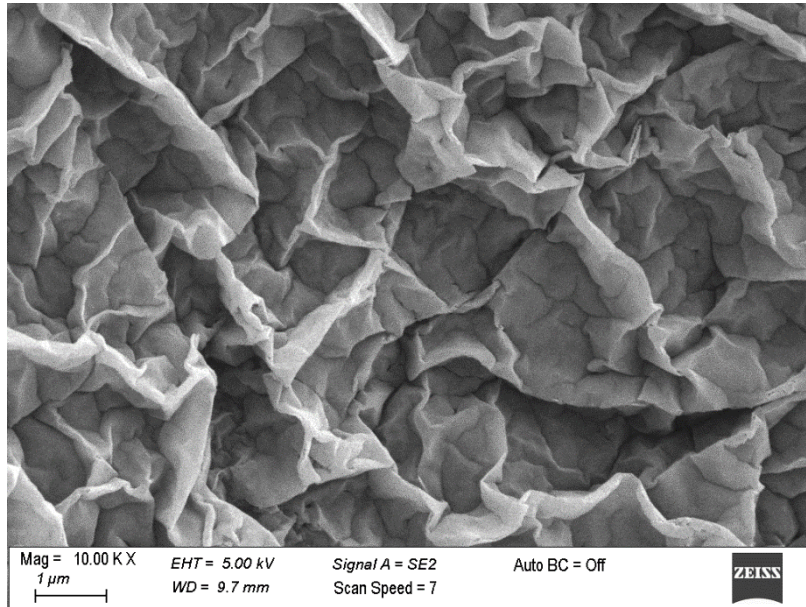
Şekil 3.5. NF ve CNF liflerin TGA ve DTG eğrileri

3.1.5. Ham kenevir ve selülozik nanoliflerin SEM görüntüleri

Ham kenevir ve selülozik nanoliflere ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verildi. Ham kenevir liflerinde asit ile ekstraksiyon işleminden sonra lif demetlerinin açıldığı ve lif yüzeyinde bulunan hemiselüloz, lignin ve diğer safsızlıkların yüzeyden uzaklaştırıldığı Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.6. NF liflerin SEM görüntüsü



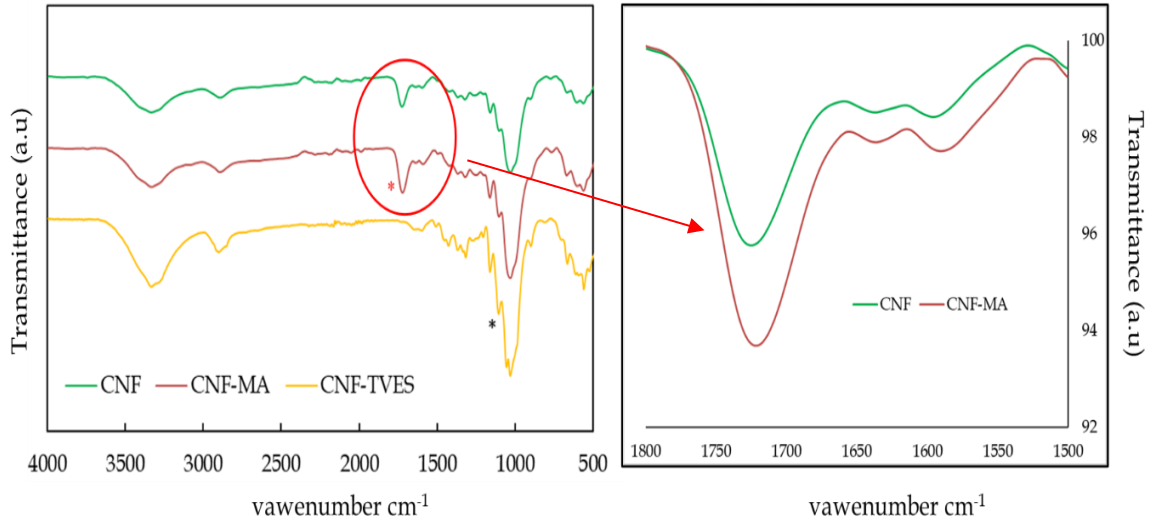
Şekil 3.7. CNF liflerin SEM görüntüsü

3.2. Modifiye Selülozik Nanoliflerin Karakterizasyonu (FTIR, XRD, TGA, DSC, SEM)

Selülozik nanoliflerin polimer matriks ile etkileşimini arttırmak amacıyla, triviniletoksisilan (TVES) ve maleik anhidrit ile modifiye edildi. Modifiye liflerin fizikokimyasal özellikleri, FTIR, TGA ve XRD yöntemleri kullanılarak aydınlatıldı.

3.2.1. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin FT-IR Spektrumu

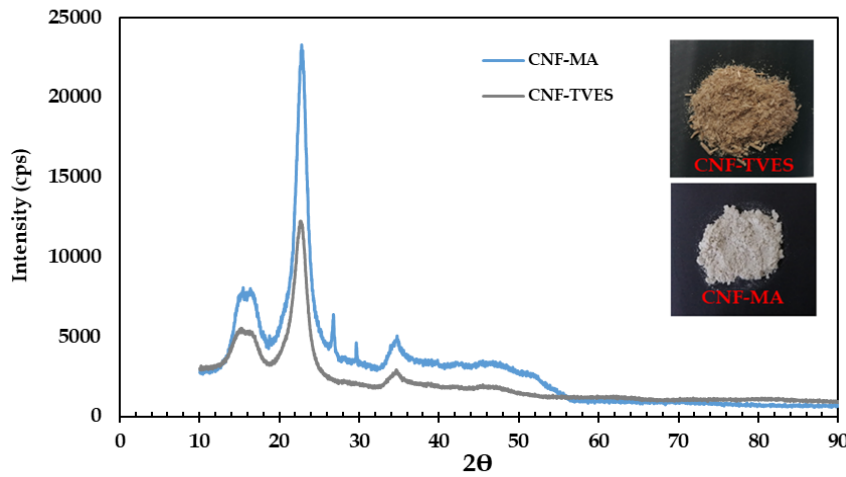
TVES modifiye (CNF- TVES) ve maleik anhidrit modifiye (CNF- MA) nanoliflerin FTIR spektrumu Şekil 3.8’de görülmektedir. Maleik anhidrit modifiye CNF liflerinin FTIR spektrumuna bakıldığında, 1720 cm^{-1} ’deki karboksil gerilme bandında ve 1632 cm^{-1} ‘deki vinil gruplarına (C=C) ait bantlardaki artış maleoil grubunun selülozik nanoliflere bağlandığını ve maleikanhidrit modifikasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir (Chen vd., 2013; Y. Li vd., 2014; Zhou vd., 2012). CNF-TVES liflerine ait FTIR spektrumunda ise, yaklaşık 1100 cm^{-1} ’deki Si-O-Si bağına ait karakteristik titreşime bandı görülmektedir. Modifiye edilmemiş ham kenevir lifinde görülmeyen bu bant, triviniletoksisilan modifikasyonun başarılı bir şekilde yapıldığını göstermektedir (Liu vd., 2019; Siy vd., 2020).



Şekil 3.8. CNF, CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerinin FTIR spektrumu

3.2.2. CNF-TVES ve CNF-MA nanoliflerin X-ışını Kırınım Desenleri

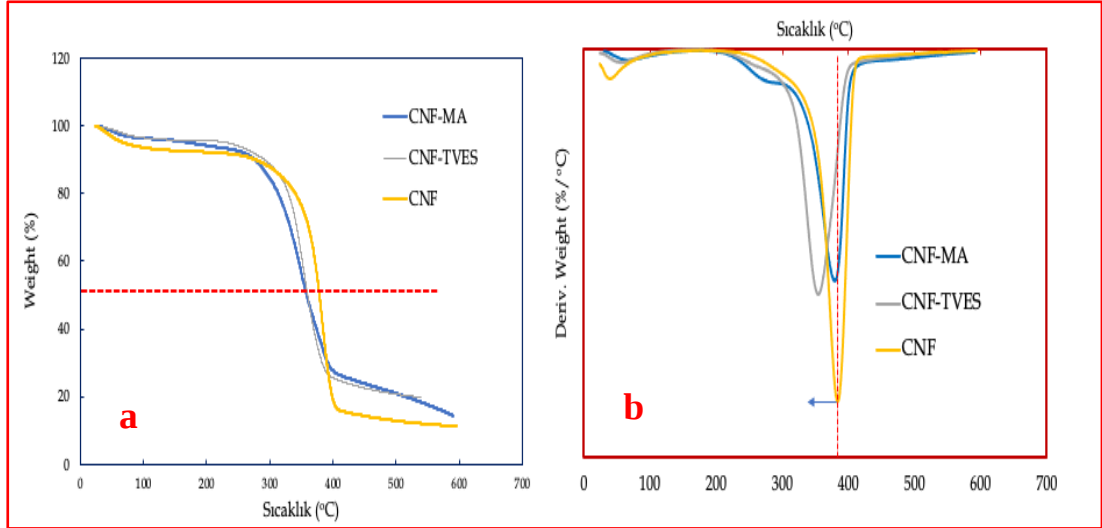
CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerinin X-ışınları kırınım deseni Şekil 3.9'da, verilmektedir. CNF'ye benzer olarak, maleik anhidrit ve trivinil etoksilan modifiye selülozik nanolifler $2\theta=16.94^\circ$, 22.7° ve 35° 'de selülozun tipik piklerini göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 3.9'dan açıkça görülebileceği gibi, maleik anhidrit modifikasyonu sonucu, selülozun kırınım deseninde yaklaşık $2\theta= 26.6^\circ$ ve 29.66° 'de olan belirgin yeni pikler oluşmuştur. Oluşan piklerin maleik anhidrit modifikasyonunda kullanılan 1-bütül 3-metil imidazolyum klorüre ait olduğu düşünüldü (Singh vd., 2015) Ayrıca, Bölüm 3.1.1'de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanan CrI değeri maleik anhidrit için %65.36, trivinil etoksilan modifikasyonu için ise %58.95 olarak hesaplandı ve CNF fiberlerin kristalite indeks değeri ($CrI= \% 72.47$) ile karşılaştırıldığında, bu modifikasyon işleminden doğal selülozik nanoliflerin kristal yapısının az da olsa etkilendiği görülmektedir. Benzer sonuçlar, literatürde de rapor edilmiştir (Zhou vd., 2012).



Şekil 3.9. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerinin X-ışını kırınım deseni

3.2.3. CNF-TVES ve CNF-MA nanoliflerin TGA Analizi

Maleik anhidrit ve Triviniletoksilan yüzey işlemlerinin ardından CNF liflerinin termal davranışındaki değişim, termogravimetrik analiz ile aydınlatıldı. Şekil 3.10, CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin termogramlarını ve türetilmiş termal eğrilerini göstermektedir.

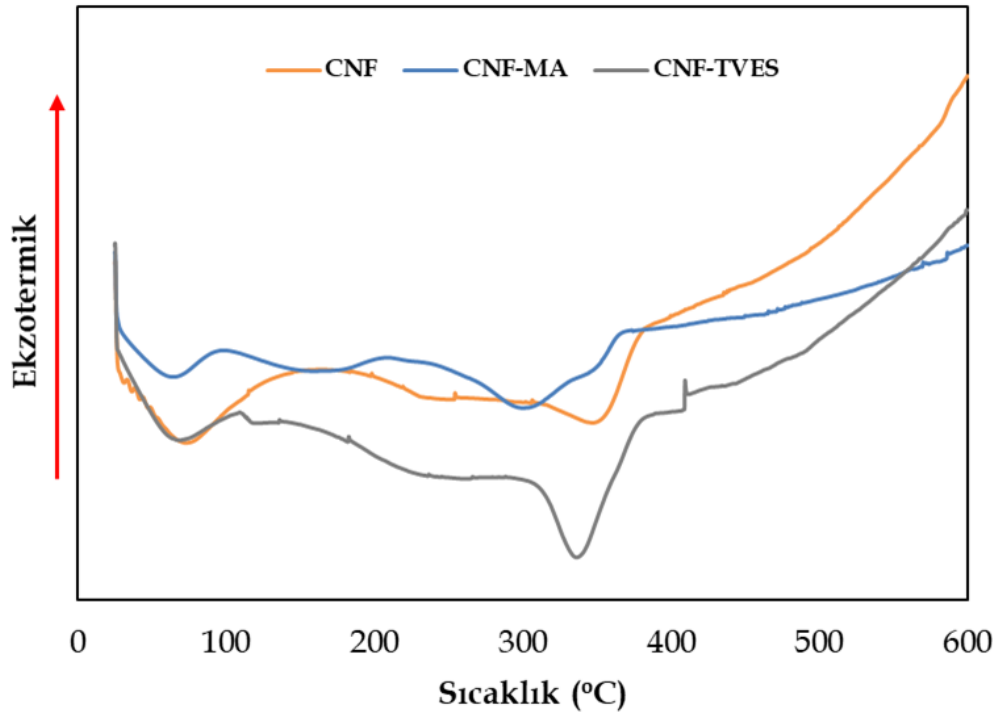


Şekil 3.10. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin (a) TGA ve (b) DTG eğrileri

Şekil 3.10a'ya bakıldığında, CNF fiberlerin kimyasal modifikasyonundan sonra, termal kararlılığının azaldığı görülmektedir. CNF, CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin kütlelerinin % 50'sini kaybettikleri sıcaklıklar sırasıyla, 375.98°C, 358.37 °C ve 359. 86 °C olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre, CNF liflerin termal kararlılığı kimyasal işlemler ile azaldığı ancak, modifikasyon ajan türünün ve işlem koşullarının önemli bir etkisi de olmadığı söylenebilir. Termal kararlılıktaki bu azalma, X-ışınları kırınım desenlerinden hesaplanan CrI indeks değerlerindeki azalmayı desteklemektedir. CNF nanoliflerin MA ya da TVES ile modifikasyonu, nanoliflerin kristalitesini ve dolayısıyla termal kararlılığını azaltmıştır. Buna sebep olarak, modifikasyon ile birlikte, selüloz zincirleri arasında kurulan ve sıkı istiflenmeyi sağlayan güçlü moleküler arası hidrojen bağlarının zayıflaması olarak düşünülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da selüloz yapısının komşu selüloz zincirleri arasındaki hidrojen bağı miktarı arttıkça, zincirler birbirlerine daha fazla yaklaşmakta ve selüloz molekülünün kristalitesini ve termal kararlılığı arttırdığı bildirilmiştir. Bu doğrultuda, farklı bitki türlerinden elde edilen selüloz lifleri karşılaştırıldığı bir çalışmada, *Dipteryx odorata* and *curaua* liflerinin termal kararlılıklarının oldukça yüksek olduğu rapor edilmiştir (Poletto vd., 2014). Ayrıca, CNF, CNF-MA ve CNF-TVES liflerinin türetilmiş termal eğrilerine bakıldığında, termal bozunma sıcaklığının azaldığını, ancak modifikasyon türünün buna önemli bir etkisi olmadığı da görülmektedir (Şekil 3.10b).

3.2.4. CNF-TVES ve CNF-MA nanoliflerin DSC Analizi

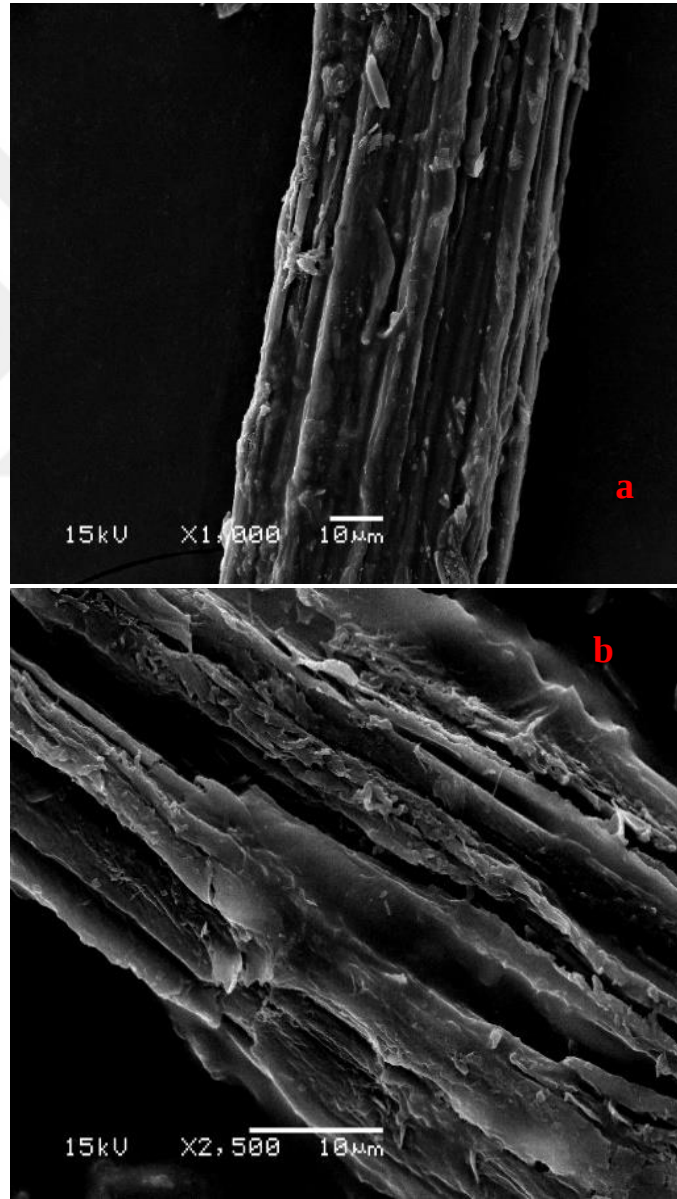
Şekil 3.11’de selüloz nanoliflerin ve modifiye liflerin DSC eğrileri görülmektedir. 60-70 °C aralığındaki ilk endotermik pikler suyun ve uçucu organiklerin yapıdan uzaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıcaklık selüloz nanolifler için 70 °C iken MA ve TVES ile kimyasal modifikasyonu yapılmış lifler için sırasıyla 60.8 ve 65.2 °C’ye kayma göstermiştir. Cichosz ve arkadaşları kağıt ve karton kaplamalar için ultra ince selüloz ile yaptıkları bir çalışmada viniltrimetoksilan ve maleik anhidrit kimyasal modifikasyonu yapmış ve benzer sonuçlar elde etmiştir (Cichosz vd., 2019). Liflerin erime piklerine bakıldığında selüloz nanolifler için 351 °C olan bu değer maleik anhidrit modifikasyonundan sonra 298 °C’lere kadar düşmüştür. Ancak silan modifikasyonunda 2 °C’lik önemsenmeyecek bir düşüş gözlemlendi. Bu değerler TGA analizinde belirlenen veriler ile uyumludur. Modifikasyon işlemlerinden sonra selüloz nanoliflerin termal kararlılığı azalmıştır. Ancak DSC sonuçlarından da açıkça görülebileceği gibi CNF-MA ve CNF-TVES lifleri karşılaştırıldığında maleik anhidrit modifikasyonun termal kararlılığı daha fazla etkilediği söylenebilir (Cichosz vd., 2019).



Şekil 3.11. CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin DCS termogramı

3.2.5. CNF-MA nanoliflerin SEM görüntüleri

Şekil 3.12a'da selülozik nanoliflerin ve Şekil 3.12b'de maleik anhidrit modifikasyonundan sonra nanoliflerin taramalı elektron mikrografları verildi. Maleik anhidrit modifikasyonundan sonra selülozik nanoliflerin demet halininin azaldığı ve filamentlerin açıldığı görüldü. Selülozik nanoliflerin modifikasyondan kaynaklı yüzeyinin daha düzensiz ve pürüzlü olduğu ve bu heterojen yüzey alanının CNF-MA'nın spesifik yüzey alanının artmasına ve polimer ile etkileşimini arttıracakları değerlendirilmektedir (Zhou vd., 2012).



Şekil 3.12. (a) CNF ve (b) CNF-MA nanoliflerin SEM görüntüleri

3.3. Kompozit Malzeme Karakterizasyonu

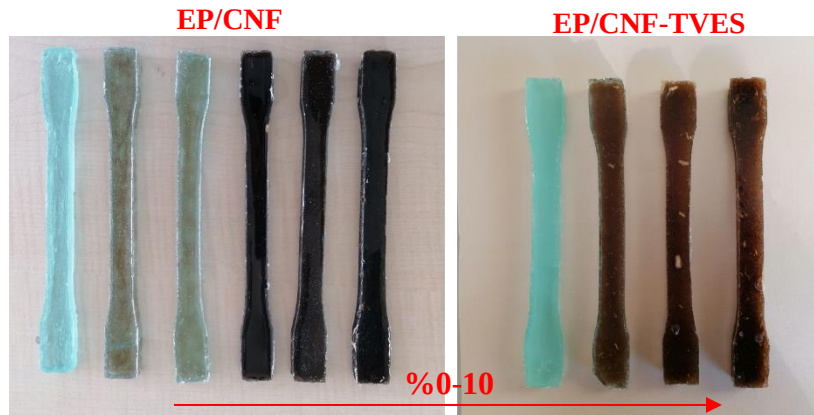
Bu tez çalışmasında, Kenevir lifinden kimyasal yol ile ekstrakte edilen selülozik nanolifler ve modifiye selülozik nanolifler kullanılarak termoset bir polimer olan epoksi reçine ve bir termoplastik olan polietilenin termal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, CNF ve CNF-TVES nanolifleri ile epoksi matrisli kompozit, CNF ve CNF-MA nanolifleri ile geri dönüştürülmüş polietilen (RC-PE) temelli kompozit malzemeler hazırlanmış, termal ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

3.3.1. Epoksi Matrisli Kompozit Malzemenin Karakterizasyonu

Epoksi matrisli polimer kompozitinin karışım yüzdeleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Farklı takviye oranlarında hazırlanan kompozit malzemelere çeşitli mekanik ve termal testler uygulanarak özellikleri incelenmiştir.

Tablo 3.1. Epoksi matrisli kompozitin karışım oranları

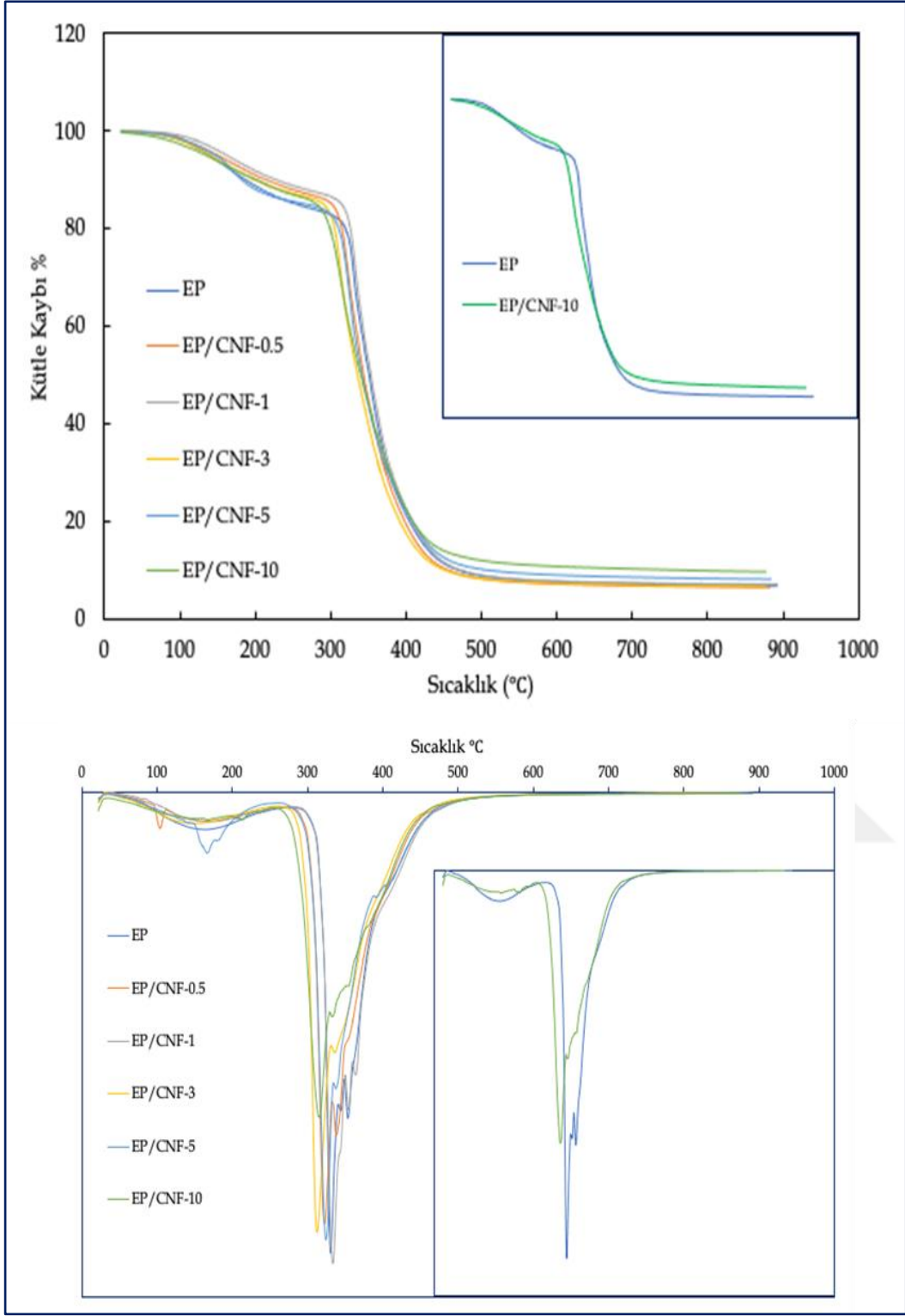
Numune Adı	Epoksi Reçine/Sertleştirici-%	CNF/CNF-TVES-%
EP	100	-
EP/CNF-0.5	99.5	0.5
EP/CNF-1	99.0	1.0
EP/CNF-3	97.0	3.0
EP/CNF-5	95.0	5.0
EP/CNF-10	90.0	10



Şekil 3.13. EP matrisli selüloz nanolif takviyeli kompozit numuneler

3.3.1.1. Epoksi matrisli kompozit malzemenin TGA analizi

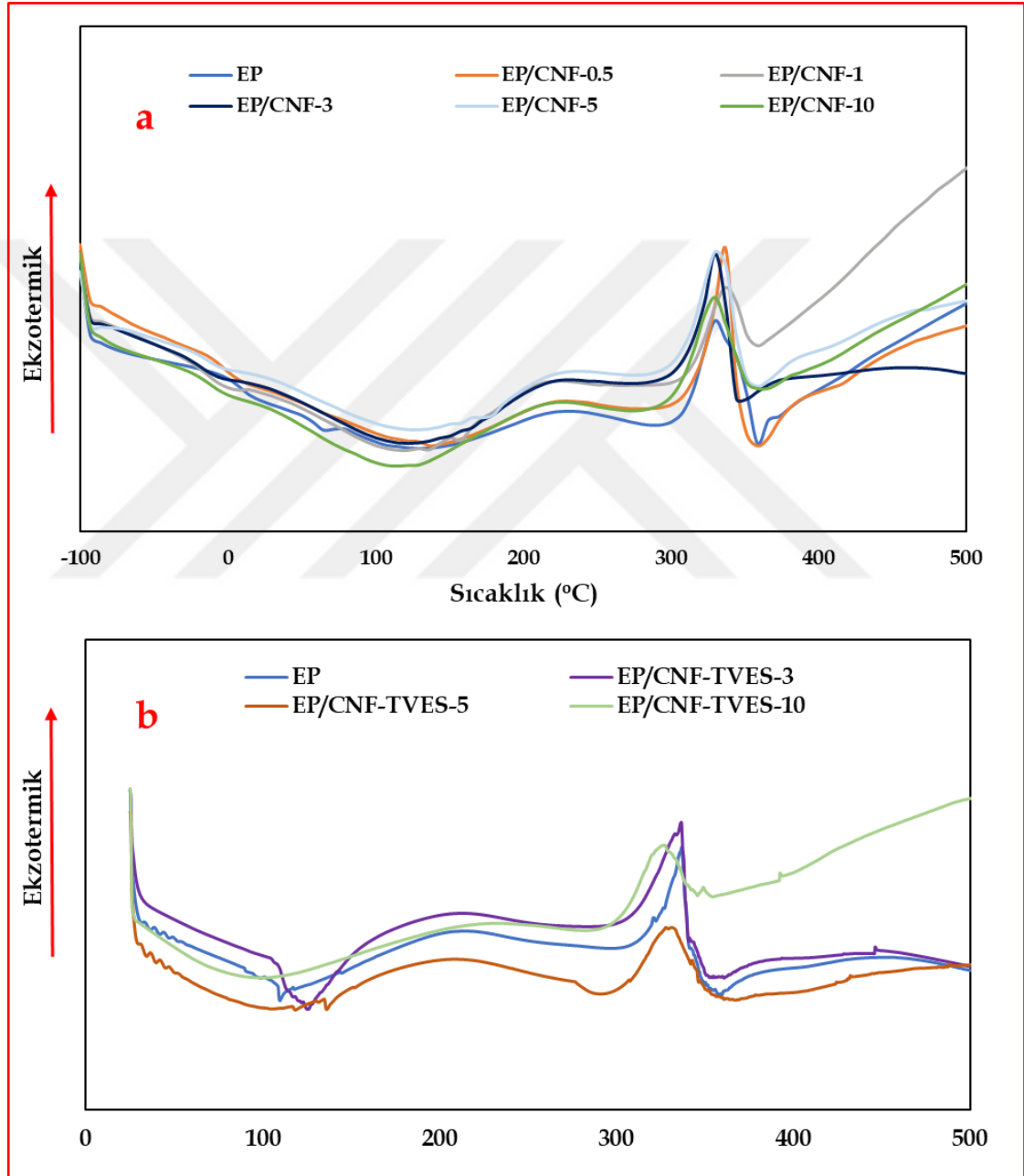
Saf epoksi reçinenin termal davranışı, farklı CNF katkı oranlarında üretilen EP/CNF kompozitleri ile karşılaştırıldı. Şekil 3.14'ten görülebileceği gibi, saf epoksi reçine ve epoksi kompozit malzemeler üç ana bozunma basamağına sahiptir. EP ve EP/CNF kompozitlerin yaklaşık olarak %90'ı 480 °C'de bozunmaktadır. Ayrıca, EP/CNF kompozitlerin bozunma sıcaklığında, saf epoksiye göre %5'lik bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmaya, yüksek sıcaklıklarda bozunmaya başlayan selüloz nedeniyle, ortamda oluşan serbest radikallere sahip selüloz zincirlerinin etken olduğu düşünülmektedir (Kusmono vd., 2020; Poletto vd., 2014) . Epoksi kompozitte ham kenevir yerine kristalinite indeks değeri yüksek CNF nanolifleri kullanıldığından, termal degradasyon sıcaklığındaki bu etkinin düşük seviyelerde kaldığı düşünülmektedir (Kusmono vd., 2020). Bununla birlikte yaklaşık 890 °C sıcaklıkta epoksi reçinedeki kalıntı kütlelerinin kütlece %6.82 iken, %10'luk CNF katkılanmış kompozit malzeme bu kalıntı oranının %9.66 olduğu belirlendi. Kalıntı kütleindeki bu artış, CNF takviyesinin kompozitin termal dayanımını arttırdığının kanıtı olarak değerlendirilebilir (Kocaman, 2019).



Şekil 3.14. EP/CNF kompozitlerin TGA ve DTG eğrileri

3.3.1.2. Epoksi matrisli kompozit malzemenin DSC analizi

Tablo 3.1’de verilen EP/CNF kompozitlerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), erime sıcaklığı (T_m), erime entalpisi (ΔH_m) ve % kristalinite (X_c) değerleri hesaplanarak Tablo 3.2’de verildi. Saf EP ve CNF ve CNF-TVES ile hazırlanan nanofiber takviyeli kompozit malzemelere ait DSC sonuçları Şekil 3.15’te gösterildi.



Şekil 3.15. (a) EP/CNF ve (b) EP/CNF-TVES kompozitlerin DSC termogramı

Tablo 3.2. EP matrisli kompozitlerin termal özellikleri

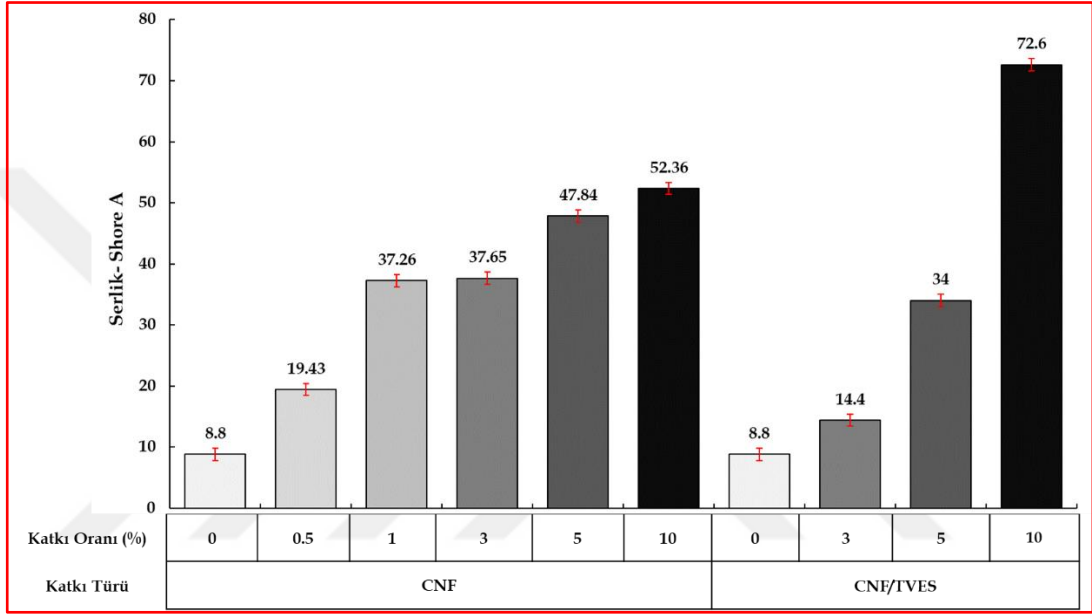
Kompozit Türü	Camsı Geçiş Sıcaklığı (T _g) (°C)	Erime Sıcaklığı (T _m) (°C)	Entalpi (ΔH) (J/g)	Kristalinite (X _c) (%)
EP	6.16	128.10	-83.36	23.82
EP/CNF-3	-12.80	124.01	-151.91	43.40
EP/CNF-5	-11.28	128.22	-141.41	40.4
EP/CNF-10	-11.25	113.15	-151.11	43.17
EP/CNF-TVES-3	-	125.54	-122.01	34.86
EP/CNF-TVES-5	-	135.92	-83.66	23.90
EP/CNF-TVES-10	-	104.52	-69.17	19.76

Şekil 3.15 ve Tablo 3.2’ye bakıldığında selülozin nanolif ilavesi ile camsı geçiş sıcaklarının saf epoksi reçineye göre azaldı belirlendi. Bu azalmanın temel sebebi selülozik nanolif ilavesinin polimer zincirlerinin hareketini kısıtlamasıdır (Kodali vd., 2021). Benzer sonuçlar Lakshmi ve arkadaşlarının kil takviyeli epoksi kompozit malzemeler ile yapmış olduğu çalışmada da rapor edilmiştir (Lakshmi vd., 2008).

EP ve EP/CNF kompozitlerin kristallenme sıcaklıkları değerlendirildiğinde, kütlece CNF oranı %0.5-3 aralığında, EP’nin 330 °C civarında gözlenen kristallenme sıcaklığı, 337 °C’ye yükseldi, bundan sonraki katkı oranlarında kristallenme sıcaklığında önemli bir değişiklik izlenmedi (Şekil 3.15a). Buna etken olarak yüksek lif takviyelerinde kompozitte homojen sağlanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. EP/CNF-TVES polimer kompozitler de ise tüm oranlar yerine, %3-10 aralığında modifiye nanolif içeren kompozit malzemelerin DSC analizine ait veriler Şekil 3.15b’de gösterildi. EP/CNF’ye benzer olarak, kütlece %3 ve %5 CNF-TVES nanolif içeren kompozitlerde kristallenme sıcaklığı saf epoksi reçineye göre 7°C’lik bir artış gösterdi. Artan kristallenme sıcaklığı, CNF ve CNF-TVES selülozik nanoliflerin epoksi ile iyi etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, %3’lük CNF ve CNF-TVES takviyeleri ile hazırlanan EP kompozitin optimum değer olduğu, homojen kompozit yapısının elde edilmesi sayesinde ısı özellikleri geliştirdiği ve kristaliniteyi arttırdığı söylenebilir.

3.3.1.3. Epoksi Kompozitlerin Sertlik Ölçümü

Malzemelerin sertliğini ölçmek için Shore testi kullanılmaktadır. Test, malzeme yüzeyine batırılan mekanik ucun, malzemeye batma miktarının ölçülmesi temeline dayanmaktadır. Malzemede meydana gelen deformasyon ile sertlik değeri ters orantılıdır ve malzemede oluşan deformasyon ne kadar büyük ise sertlik ve dolayısıyla mekanik dayanım da o derece düşüktür denilebilir (Ulutaş, 2019). Epoksi matrisli kompozit malzemelerin sertlik değerleri Shore A sertlik skalası kullanılarak belirlendi.



Şekil 3.16. Epoksi matrisli kompozitlerin sertlik değerleri

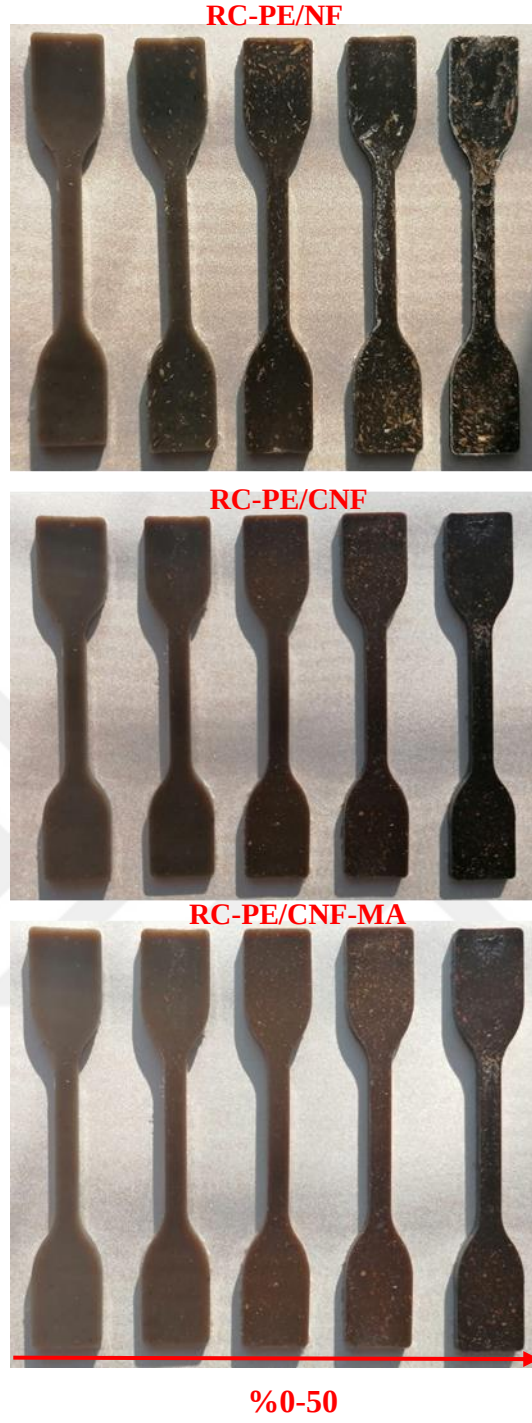
Tüm kompozitlerin (EP/CNF ve EP/CNF-TVES) sertlik değerleri 10 farklı ölçüm alınarak belirlendi (Şekil 3.16). Shore A sertlik değeri ölçümleri değerlendirildiğinde epoksi reçineye takviye edilen katkı oranlarının artırılması ile malzemenin sertliğinin boş epoksi reçineye göre arttığı ve en yüksek sertlik değerinin EP/CNF-TVES-10 kompozit türüne ait olduğu görülmektedir. Selülozik nanoliflerin epoksi matris ile etkileşimi nedeniyle EP reçineye göre daha iyi mekanik özellik sergilediği söylenebilir (Lhymn, 1987; Mody vd., 1988).

3.3.2. RC-PE Matrisli Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

Tezin bu bölümü için hazırlanan polimer/selülozik nanolif kompozit karışım oranları ve plastik enjeksiyon ile üretilen numunelerin dijital fotoğrafları sırasıyla Tablo 3.3 ve Şekil 3.17’de verildi. Farklı oranlarda hazırlanan polimer kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelendi.

Tablo 3.3. RC-PE matrisli kompozitlerin karışım oranları

Numune Adı	RC-PE %	Nanolif Oranı, %
RC-PE	100	-
RC-PE/NF-10	90	10
RC-PE/NF-20	80	20
RC-PE/NF-30	70	30
RC-PE/NF-50	50	50
RC-PE/CNF-10	90	10
RC-PE/CNF-20	80	20
RC-PE/CNF-30	70	30
RC-PE/CNF-50	50	50
RC-PE/CNF-MA-10	90	10
RC-PE/CNF-MA-20	80	20
RC-PE/CNF-MA-30	70	30
RC-PE/CNF-MA-50	50	50



Şekil 3.17. RC-PE matrisli selüloz nanolif takviyeli kompozit numuneler

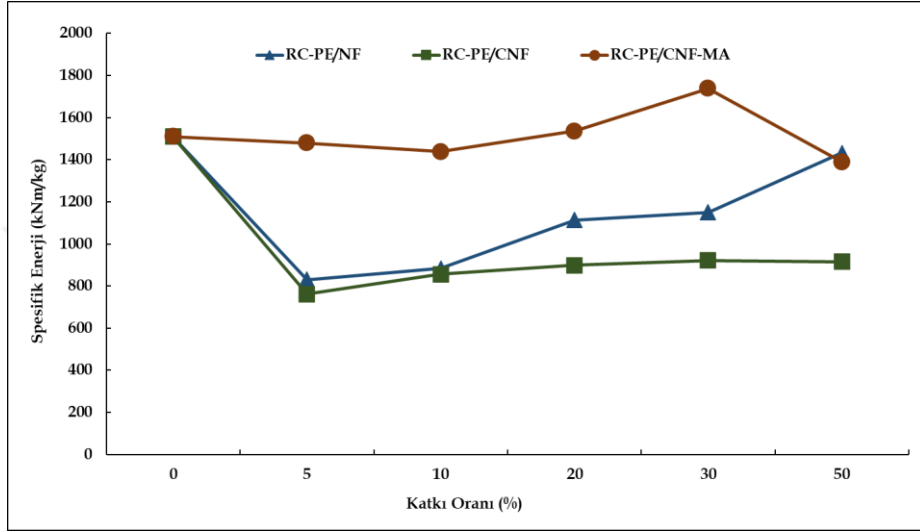
Tablo 3.4'e göre kompozitlerin erime sıcaklıkları yaklaşık 123-125 °C sıcaklık aralığında birbirine yakın değişirken, entalpi değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Erime entalpilerine bakıldığında her iki katkı türünde de katkı oranı arttırıldıkça saf RC-PE'ye oranla bir düşüş görülmüştür. Erime entalpisindeki bu düşüş erime sırasında termodinamik geçişlere maruz kalan polimer zincirleri oranının liflerin eklenmesi ile azalmasından kaynaklanmaktadır. Benzer sonuçlar Celia ve arkadaşlarının kısa kenevir lifleri ve biyo-HDPE ile yaptıkları çalışmada rapor edilmiştir (Dolça vd., 2022). Polimer matris malzemesine doğal lif ilavesi ile üretilen kompozitlerin kristalinite değerlerindeki değişiklik iki farklı şekilde açıklanabilir. İlk olarak lif takviyesi ile kristallenme sırasında polimer zincirlerinin hareketliliği kısıtlanır ve zincir düzeni bozulur bunun bir sonucu olarak kristalinite değerinde azalma meydana gelir. İkinci durumda ise lif takviyesi kristallenme çekirdeklerinin oluşmasına katkı sağlar ve kristalinite değerini artırabilir (Dolça vd., 2022). Kenevir lifleri ile üretilen kompozit malzemenin kristalinite derecelerine bakıldığında katkı oranının artması ile azaldığı görüldü. Izwan ve arkadaşlarının kenaf ve şeker hurması lifleri ile ürettikleri kompozit malzemede lif katkısının polipropilenin makromoleküler zincirinin mobilizasyonu engellemesi ile kompozitlerin kristallüğünde azalma olduğu sonucunu tespit etmişlerdir (Izwan vd., 2021).

3.3.2.2. RC-PE kompozit malzemelerin karışım karakterizasyonu

Karışım karakterizasyonları kompozit malzeme üretimde gerekli optimum sıcaklık ve zaman parametreleri ile ilgili verileri verir. Plastik enjeksiyon yöntemi ile hazırlanan RC-PE matrisli kompozit numuneler üretim öncesinde, RC-PE ve selülozik nanolifler (NF, CNF ve CNF-MA) kütlece %10-50 oranlarında olacak şekilde mikser cihazı ile karıştırıldı. Karıştırma sırasında katkı oranının tork üzerindeki etkisi Şekil 3.19'da gösterildi. Tork değeri takviye malzemesi ile matris malzemenin üretim sırasında dönen mikser bıçaklarına karşı olan direncini gösterir. Tork değeri sıfır konumundan başlar zamanın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür (Bilici, 2018).

Görüldüğü gibi en yüksek tork değerlerine CNF-MA selülozik nanolifler ile hazırlanan karışımda ulaşıldı. Artan CNF-MA oranı, tüketilen enerji-tork miktarını da artırmaktadır. NF ve CNF selülozik nanoliflerin karıştırılması sırasında, RC-PE'ye oranla daha düşük tork değerlerine ulaşılmıştır. Bununla birlikte artan NF oranı ile tork değeri artarken, CNF nanoliflerinde bu artış daha azdır. Benzer bir sonuç, Bilici ve arkadaşları tarafından da bildirilmiştir.

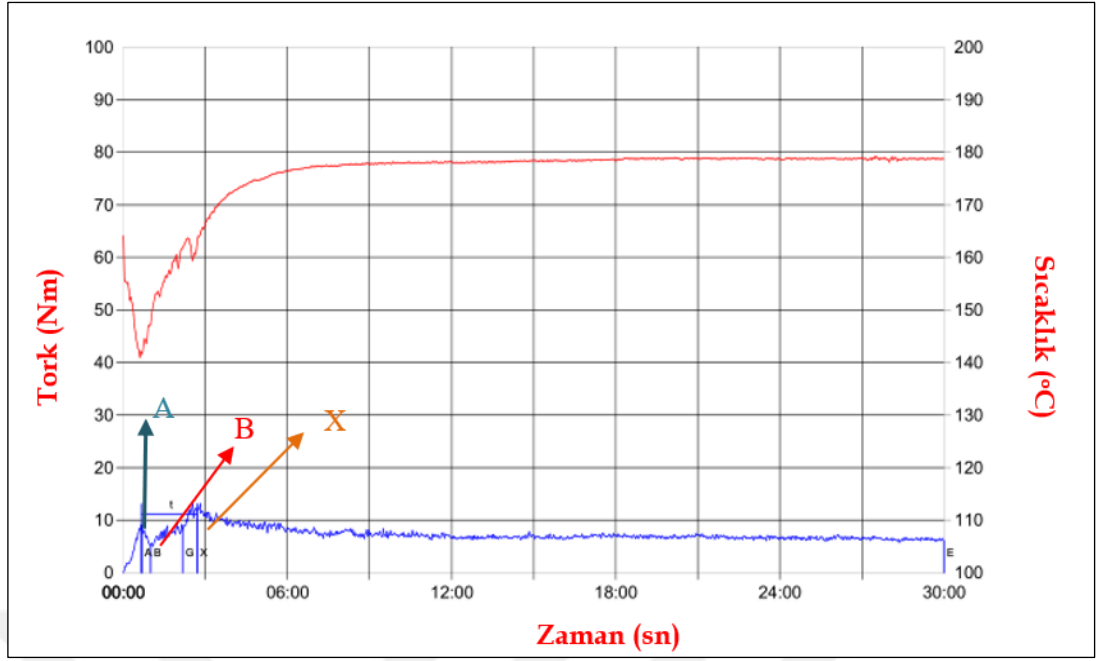
NF ve CNF'nin düşük oranda katkılanması (%5) tork değerini azaltmış, CNF katkı oranının daha fazla arttırılması tork değerini değiştirmemiştir. NF'de ise %10 katkı oranından sonra tork değerinin yaklaşık 2 kat artmasına sebep olmuştur. CNF-MA liflerinin katkılanması sırasında ise düşük katkı oranlarında karıştırma tork değerinde, bir değişim olmazken, %20 katkı oranında önemli hızlı bir artış gözlenmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Lif katkı oranının tork üzerine etkisi

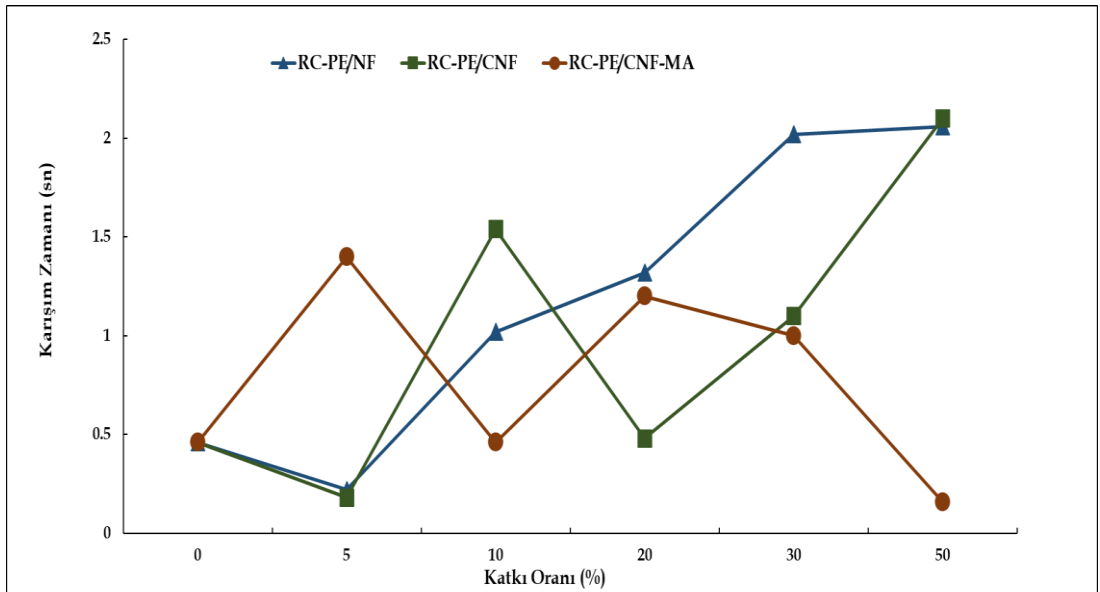
Şekil 3.20, RC-PE temelli kompozitlerin üretimi sırasında, RC-PE ve lif karışımı sırasında zamanla sistemdeki güç değişimini göstermektedir. Burada RC-PE/NF-30 kodlu kompozite ait Tork-zaman grafiği örnek olarak gösterilmiştir.

A noktası matris ve takviye malzemesi yüklemesinin maksimum olduğu noktayı göstermektedir. Malzeme yüklemesi dengeye ulaştığında tork değeri düşerek B noktasını oluşturur. Matris ve takviye malzemesinin karışmasının ve sıkıştırmanın başlaması ile tork değeri tekrar artış göstermiştir. X noktasına ulaştığında polimer matris erimeye başlar ve takviye malzemesi ile boşluksuz bir duruma gelir. A ile X noktası arasındaki süre füzyon süresi olarak tanımlanmaktadır (Abedin vd., 2021).



Şekil 3.20. RC-PE kompozitine ait karışım grafiği örneği (RC-PE/NF-30) [T: 175 °C, Zaman: 15 dk]

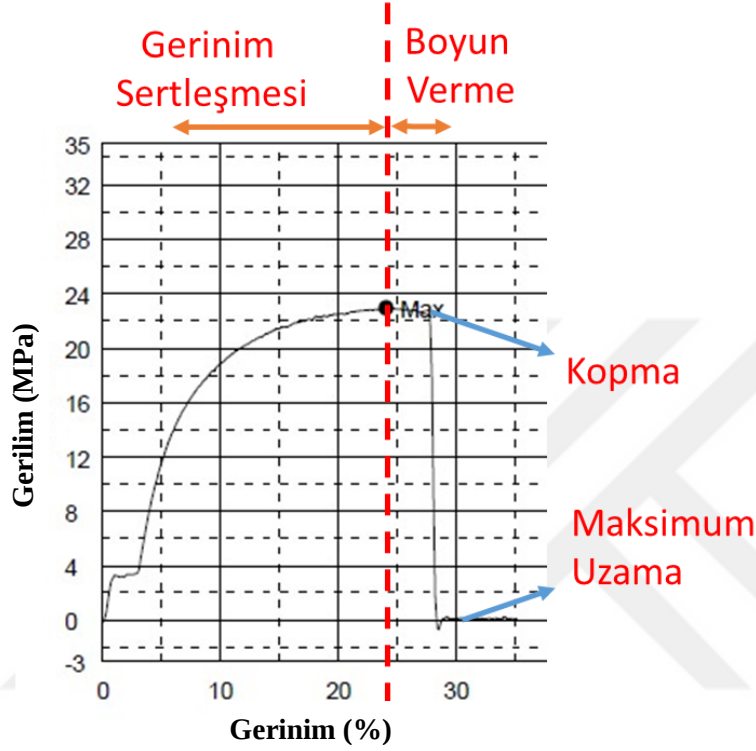
Şekil 3.21 ise, RC-PE kompozitlerinin füzyon sürelerini göstermektedir. RC-PE/NF kompozitinde füzyon süresinde katkı oranı arttıkça sürekli bir artış görüldü. Bu artışın sebebi lif yapısının fiziksel özelliği, polimer ile kaynaşma zorluğu ve matris ve lif arasında düşük yapışma özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Abedin vd., 2021). RC-PE/CNF ve RC-PE/CNF-MA kompozitlerinin füzyon sürelerinde belirli bir logaritmik artış veya azalış gözlenmedi. Boş RC-PE'ye kıyasla en kısa füzyon süresi RC-PE/CNF-MA-50 kompozitinde görülmektedir.



Şekil 3.21. Lif katkı oranının karışım zamanı üzerine etkisi

3.3.2.3. RC-PE Kompozitlerin Çekme Testleri

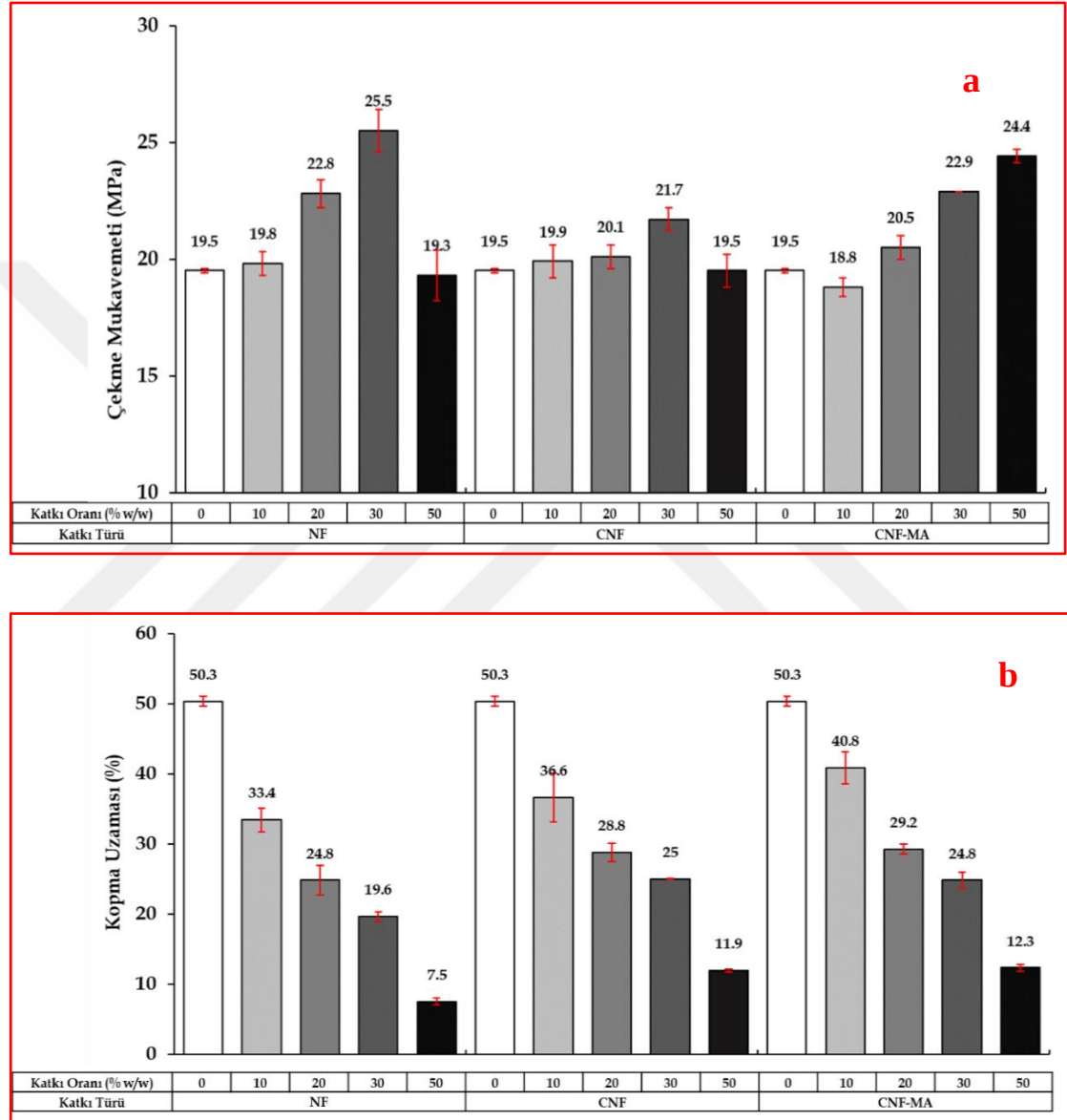
RC-PE matrisli kompozit malzemelerden örnek bir gerilim-gerinim grafiği Şekil 3.22’de tüm RC-PE matrisli kompozit malzemelerin çekme test sonuçları ise EK 1’de verilmiştir.



Şekil 3.22. RC-PE kompozitine ait Gerilim-Gerinim grafiği örneği (RC-PE/CNF-MA-30)

Şekil 3.22’de görüldüğü gibi kompozit malzemelerde öncelikle elastik bölgede gerinim sertleşmesi sonra da boyun verdiği pekleşme bölgesi mevcuttur. Gerilim-Gerinim grafiklerine bakıldığında maksimum dayanıma ulaşan malzemelerin boyun vermeye başladıktan sonra kopma ile sonlandığı görüldü. Gerilim-Gerinim grafiklerinden okunan maksimum gerilimlerin ortalama değerleri ile standart sapmaları hesaplanarak Şekil 3.23’te verilmiştir. Matris ve takviye malzemesinin mekanik özellikleri ve ara yüzey yapışması vb. çeşitli faktörler doğal lif takviyeli polimer kompozit malzemelerin mekanik performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Sider & Nassar, 2021).

Selülozik nanolif takviyeli kompozit malzemelerde stres aktarımının etkinliği tane boyutu, katkı oranları ve yüzey alanı gibi faktörlere bağlıdır (Sider & Nassar, 2021). Literatür çalışmalarında kimyasal olarak yüzey modifikasyonu yapılmış takviye malzemelerinde geliştirilmiş yüzey özellikleri ile polimer matris ara yüzeyine daha iyi yapışması beklendiği belirtilmiştir (Sider & Nassar, 2021).



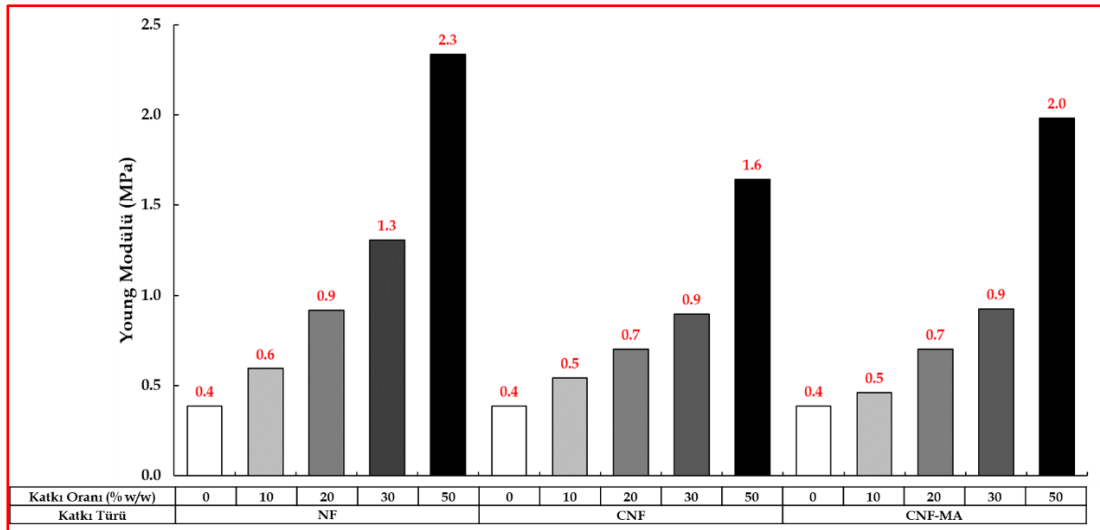
Şekil 3.23. RC-PE kompozitlerinin (a) çekme mukavemeti ve (b) kopma uzaması

RC-PE kompozitlerine ait çekme mukavemeti değerleri Şekil 3.23a'da verilmiştir. Ham kenevir ve selülozik nanoliflerin çekme değerlerine bakıldığında %10-30 katkı oranlarında çekme mukavemetini artırdığı, maksimum artışın %30 katkı oranında görüldüğü ancak %50 oranında lif yüklemesi yapıldığında zayıf lif-matris ara yüzeyi

ve yetersiz stres aktarımından dolayı bu değerin lif-matris ara yüzeyi ve yetersiz stres aktarımından dolayı bu değerin azaldığı görülmektedir (Negawo vd., 2021).

RC-PE/CNF-MA kompozitlerinde katkı oranı arttıkça çekme mukavemetinde artış görülmektedir. Bu durum maleik anhidrit modifikasyonun her iki fazın da özelliklerini geliştirerek ara yüzey stres transferini iyileştirdiğini göstermektedir.

Şekil 3.23b, RC-PE kompozitlerinin kopma uzamalarını göstermektedir. NF, CNF, CNF-MA lifleri için kopma uzamaları benzer eğilimler göstermektedir. Katkı oranı arttıkça kompozitlerin uzama miktarlarında düşüş görüldü. Tolera ve ark. habes muzı ve HDPE ile hazırladıkları kompozit malzemenin saf HDPE'ye göre daha sert olduğunu ve sertliğin bir sonucu olarak kompozitlerin kopma uzamasında bir azalma meydana geldiğini rapor etmişlerdir (Negawo vd., 2021). Ancak aynı katkı oranlarında maleik anhidrit modifiyeli lifler her zaman bir miktar daha yüksek kopma uzaması değerine sahiptir. Bunun temel nedeni maleik anhidritin fonksiyonel grubunun selülozun OH⁻ grupları ile bağlanarak hidrofilik olan ham kenevir lifine hidrofobik özellik kazandırarak polimer matris malzemesi ile iyi bir birleşme sağlamasıdır (Sullins vd., 2017).

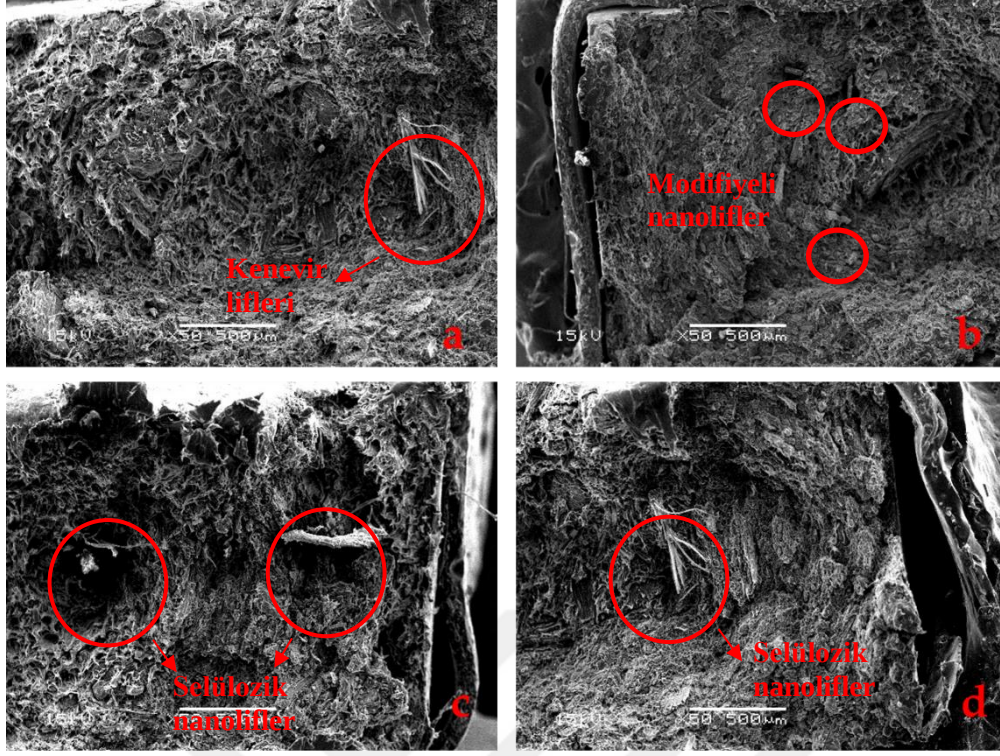


Şekil 3.24. RC-PE kompozitlerinin Young modülü

RC-PE kompozitlerine ait young modülleri Şekil 3.24'te verilmiştir. NF, CNF ve CNF-MA takviyelerinin ilavesi ile özellikle ağırlıkça %30 katkı oranından sonra kompozit malzemenin young modülü değerlerinde önemli bir artış görüldü. Bu değer çekme mukavemeti ve kopma uzaması ile değerlendirildiğinde maleik anhidrit modifikasyonu yapılmış liflerin mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir.

3.3.2.4. RC-PE matrisli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri

Şekil 3.25'te verilen kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri çekme testinden sonra kesit yüzeylerinden alındı. SEM görüntülerine bakıldığında ham kenevir liflerinin, selülozik nanoliflerin ve modifiye selülozik nanoliflerin polimer matris içerisinde rastgele dağıldığı görüldü. Üretilen kompozitlerde aglomerasyonun meydana gelmediği görüldü (Sahebian vd., 2007). Bilici ve arkadaşlarının geri dönüştürülmüş PE ve alçıtaşı ile yaptıkları çalışmada tane boyutları ve reolojik özelliklerden dolayı aglomerasyon beklenen bir durum olsa da hazırlanan kompozitlerde aglomerasyonun meydana gelmediğini rapor etmişlerdir (Bilici vd., 2019). Maleik anhidrit modifikasyonundan sonra liflerin polimer matris içerisine kenevir lifleri ve selülozik nanoliflerden daha iyi gömüldüğü tespit edildi. Bu bulgu modifikasyon işleminden sonra matris ve takviye malzemesi arasında daha iyi ara yüzey olduğunu ve etkin bir yük transferinin gerçekleştiğini gösterdi (Roumeli vd., 2015).



Şekil 3.25. RC-PE kompozitlerin SEM görüntüleri (a) RC-PE/NF-30, (b) RC-PE/CNF-MA-30, (c) RC-PE/CNF-50 ve (d) RC-PE/CNF-50

Tablo 3.5’te geri dönüştürülmüş polietilen ve saf polietilen matrisli doğal lif takviyesi ile yapılan çalışmaların ve bu tez kapsamında üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri özetlenmiştir. Genel olarak geri dönüştürülmüş polietilen ile üretilen kompozitlerin saf polietilen ile üretilenlere yakın mekanik özellikler gösterdiği gözlemlendi. Modifikasyon yapılan çalışmalarda yüzey modifiyeli lifler ile üretilen kompozitlerin ham liflere göre daha iyi mekanik özellik sergilediği görüldü. Doğal lif takviyesinin kompozit malzemelerin elastikiyetini azalttığı buna bağlı olarak elastisite modüllerini artırdığı tespit edildi. Bunun sonucu olarak saf polietilen ile üretilen malzemelerin yerine atık ve/veya geri dönüştürülmüş polietilenin kullanılabileceği değerlendirildi.

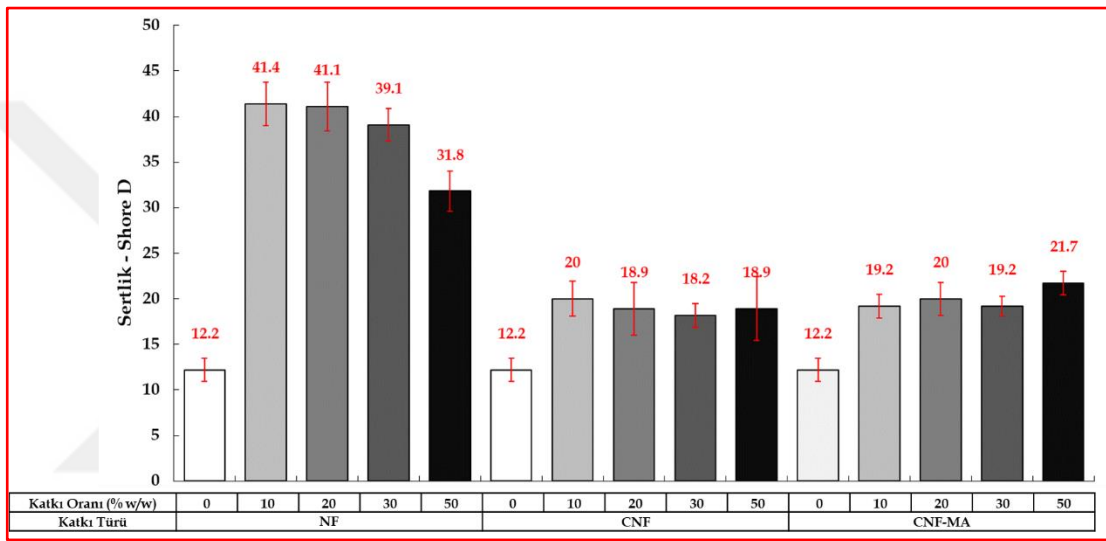
Tablo 3.5. Doğal lif takviyeli polietilen matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri

Takviye Malzemesi	Matris Malzemesi	Katkı Oranı (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Modülü (MPa)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Darbe Direnci (kJ/m ²)	Elastisite Modülü	Yüzde Uzama	Kaynak
Sisal Lifi	Geri dönüştürülmüş HDPE	0	20.72 ± 0.5		27.15 ± 0.8	0.91 ± 0.02				(Chianelli-Junior vd., 2013)
		1	20.66 ± 0.9		25.94 ± 1.1	0.83 ± 0.04				
		2	20.41 ± 1.1		26.85 ± 2.7	0.79 ± 0.03				
		4	20.30 ± 1.0		25.82 ± 1.6	0.74 ± 0.07				
Pirinç Çeltiği	Geri dönüştürülmüş HDPE (Partikül boyutu < 1 mm) (Partikül boyutu < 0.5 mm)	0	26.0 ± 0.5	1.1 ± 0.1						(Orji & McDonald, 2020)
		50	25.1 ± 2.9	2.7 ± 0.1						
		50	26.3 ± 2.0	3.1 ± 0.5						
Ham Salago Lifi	HDPE	0	28.34	1.09453	31.75	1.25884	833			(Pouriman vd., 2019)
		10	22.335	1.13978	27.84	1.11841	6.302			
		20	19.59	1.16961	29.22	1.14147	5.715			
		30	15.875	1.23142	25.4	0.94104	4.923			
Alkali Modifiyeli Salago Lifi	HDPE	0	28.34	1.09453	31.75	1.25884	833			
		10	26.855	1.15878	32.52	1.42491	6.93			
		20	26.25	1.37732	35.36	1.06504	7.33			
		30	26.01	2.11401	36.21	1.57631	6.71			
Öğütülmüş Yerfıstığı Kabuğu Tozu	Geri dönüştürülmüş PP+PE	0	22.5					53.1		(McCaffrey vd., 2018)
		5	19.8					53.2		
		10	22.5					76.5		
		15	22.5					77.1		
		20	27.5					77.2		
		25	18					77.3		
Kenevir Lifi	Geri dönüştürülmüş HDPE	0	19.1						17.9	(Lu vd., 2012)
		20	18.6						7	
		30	45.7						3.7	
		40	60.2						3	
Alkali Modifiyeli Kenevir Lifi	Geri dönüştürülmüş HDPE	0	19.1						17.9	
		20	15.7						4.5	
		30	27.4						5.4	
		40	26						3.3	

Takviye Malzemesi	Matris Malzemesi	Katkı Oranı (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Modülü (MPa)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Darbe Direnci (kJ/m ²)	Elastisite Modülü	Yüzde Uzama	Kaynak
Muz Kabuğu Tozu	Atık LDPE	0	22		30			0.5		(Jacob & Mamza, 2021)
		5	21.8		38			0.6		
		10	23		58			1.5		
		15	49		85.65			2.55		
		20	40		84			2		
		25	39		83.5			2.1		
Ham Kenevir Lifi	Geri dönüştürülmüş PE	0	19.5					0.4	50.3	Tez çalışması
		10	19.8					0.6	33.4	
		20	22.8					0.9	24.8	
		30	25.5					1.3	19.6	
		50	19.3					2.3	7.5	
Selülozik Nanolif	Geri dönüştürülmüş PE	0	19.5					0.4	50.3	
		10	19.9					0.5	36.6	
		20	20.1					0.7	28.8	
		30	21.7					0.9	25	
		50	19.5					1.6	11.9	
Maleik anhidrit modifiyeli selülozik nanolif	Geri dönüştürülmüş PE	0	19.5					0.4	50.3	
		10	18.8					0.5	40.8	
		20	20.5					0.7	29.2	
		30	22.9					0.9	24.8	
		50	24.4					2	12.3	

3.3.2.5. RC-PE kompozit malzemelerin sertlik ölçümler

RC-PE matrisli kompozit malzemeye ait sertlik değerleri Şekil 3.26’da verilmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemenin sertlik değeri Shore D sertliği ile belirlendi. Her bir kompozit malzemede 10 adet ölçüm alınarak ortalama değer belirlendi. %10-50 oranlarında lif takviyesi (NF, CNF, CNF-MA) ile üretilen kompozit malzemelerin sertlik değerleri boş RC-PE malzemeye göre önemli bir artış göstermektedir. Ham kenevir Shore D sertlik değerlerine bakıldığında katkı oranı arttırıldıkça sertlik değerinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bunun temel sebebi polimer matrisin kenevir lifleri ile yeterli bağlanmayı sağlayamamasıdır.



Şekil 3.26. RC-PE kompozitlerin sertlik değerleri

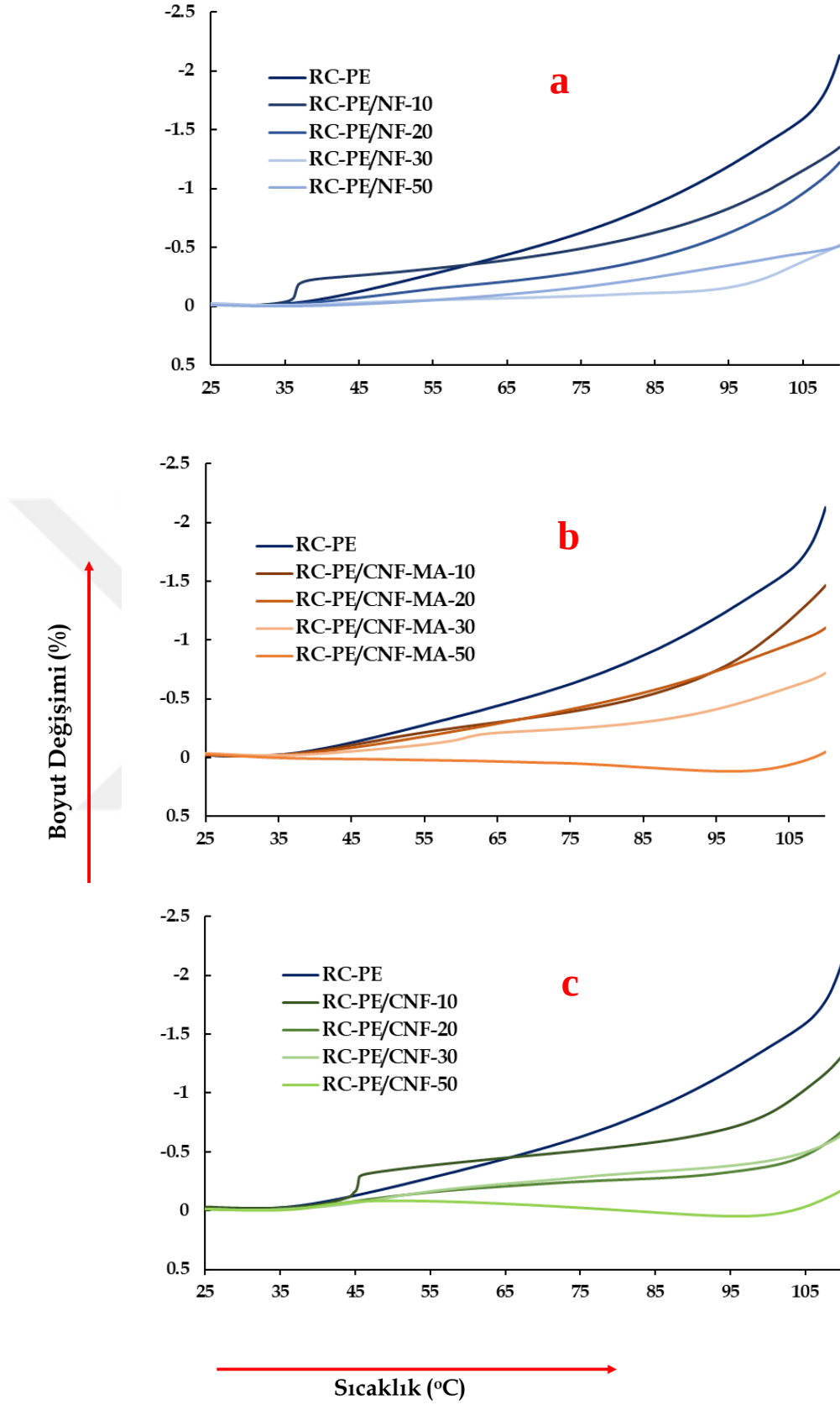
CNF ve CNF-MA nanoliflerinin ise birbirleriyle olan etkileşimi ve lifleri bir arada tutan kuvvetli hidrojen bağları sayesinde yapıya sertlik ve dayanım kazandırdığı düşünülmektedir. CNF ve CNF-MA’nın oranının ise sertliği önemli ölçüde değiştirmedeği belirlendi. En yüksek katkı oranlarında, RC-PE’nin sertliğinin RC-

PE/CNF kompozit türünde %55 artarken, RC-PE/CNF-MA kompozit türünde ise %78 oranında arttığı belirlendi. Bu sonuçlar, ham kenevire uygulanan kimyasal ekstraksiyon ve yüzey modifikasyon işlemlerinin en düşük katkı oranında kullanıldığında bile geri dönüştürülmüş polietilen mekanik özelliklerini geliştirmede faydalı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Ulutaş, poliolefin gurubundan olan geri dönüştürülmüş PP ve pirinç çeltiği ile hazırladığı kompozit malzemenin, çeltik katkısı ile sertliğinin arttığını bildirmiştir. Yapılan çalışmada en yüksek sertlik değerine, geri dönüştürülmüş PP (%65), Pirinç çeltiği (%5) ve MA-PP (%5) ile hazırlanan kompozitte ulaşıldığı belirtilmiştir (Ulutaş, 2019).

3.3.2.6. RC-PE matrisli kompozit malzemenin TMA analizi

Termal mekanik analiz yöntemi ile malzemelerin termal genleşme katsayıları ve boyutsal değişimleri belirlenmektedir. Özellikle kompozit malzemelerde, malzeme içindeki termal genleşmenin uyumsuzluğu bükülme, delaminasyon veya diğer sorunlara yol açabilecek bazı gerilmelere neden olabilmektedir. Kompozitin termal genleşmesi azaltılarak, bu gerilimlerin en aza indirilmesine çalışılır (Özcan, 2019).

TMA'nın 1948'de polimerler üzerindeki ticari uygulaması, sertlikten penetrasyona doğru ilerlemiş polimer veya herhangi bir polimer kompozitin, belirli koşullarda sıcaklığa veya zamana karşı salınımsız stres altında bozulmaya veya değişimlere maruz kaldığı önemli bir termal teknik haline gelmiştir. TMA nanometre düzeyinde olası geçişleri ve boyutsal değişiklikleri verimli ve doğru bir şekilde tespit edebildiği için malzeme ve polimer bilimi için en temel araçlardan biri olmaya devam etmektedir (Saba & Jawaaid, 2018). Bu doğrultuda, selülozik nanolif takviyeli RC-PE kompozit malzemelerin termal genleşme katsayıları ve boyutsal değişimleri Termal Mekanik Analiz ile belirlenmiştir.



Şekil 3.27. (a) RC-PE/NF, (b) RC-PE/CNF ve (c) RC-PE/CNF-MA kompozitlerin TMA grafiği

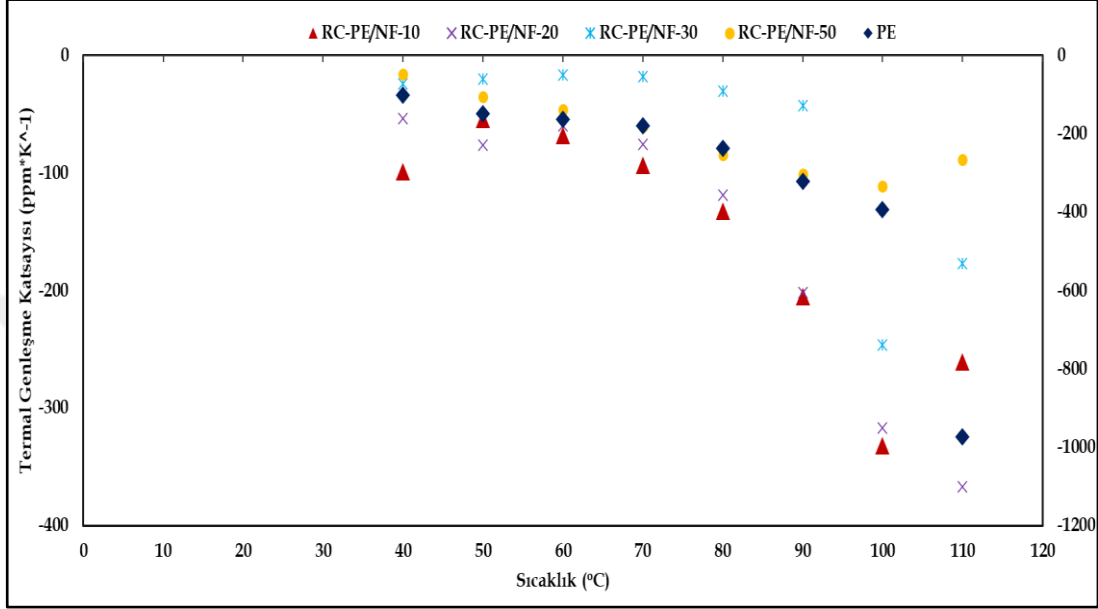
PE temelli kompozit malzemelerin TMA analizlerinde çekme ya da genleşme olayı kullanılan katkı malzemesine göre ve katkı malzemesinin modifikasyonuna göre değişiklik göstermektedir (Asim vd., 2019; Neto vd., 2022). Bu çalışmada sıcaklık artışı ile RC-PE yaklaşık %2.1 çekme göstermiştir. Ham kenevir liflerinin katkı oranının artmasıyla birlikte bu oran %0.50'lere kadar düşmüştür (Şekil 3.27a). Olefin bazlı bir polimer olan PP'e katkı maddesi olarak granit tozu ve mermer tozu takviye edilen bir çalışmada, 35 °C ve 100 °C arasındaki sıcaklıklardaki termal genleşme katsayısının PP'in %2 ye yakın değişim gösterdiğini takviye oranı ile bunun %1 dolaylarına kadar düştüğünü bildirilmiştir (Awad, A. H., vd., 2020).

Tablo 3.6: RC-PE/NF kompozitlerin termal genleşme katsayısı

Sıcaklık (°C)	Termal Genleşme Katsayısı (ppm*K ⁻¹)				
	PE	RC-PE/NF-10	RC-PE/NF-20	RC-PE/NF-30	RC-PE/NF-50
40	-101.35	-98.6	-53.37	-23.77	-16.13
50	-147.8	-53.93	-75.89	-20.26	-34.98
60	-162.37	-68.04	-60.03	-16.2	-45.83
70	-179.34	-93.12	-75.42	-17.59	-60.46
80	-237.38	-132.61	-118.46	-30.38	-84.14
90	-320.66	-205	-201.68	-42.53	-101.11
100	-392.55	-332.3	-317.14	-246.22	-110.97
110	-973.62	-260.5	-366.86	-177.3	-88.66

Bazı polimerlerin kullanılan takviye türüne göre termal genleşme katsayısının yüksek olduğu belirtilse de Tablo 3.6 ve Şekil 3.28'de görüldüğü gibi ham kenevir lifi için bu durum geçerli değildir (Abdolmohammadi vd., 2012). Bazı durumlarda matris oranının artmasıyla kompozit içerisine hapsolmuş nemden ileri gelen şişme ve bunun sonucu olarak genleşmenin meydana geleceği belirtilmiştir. Fakat elde edilen sonuçlar üretilen kompozitlerin hapsolmuş hava ya da nem içermediğini düşündürmektedir (Izwan vd., 2021; Kumar vd., 2021). Bu da üretim esnasında kullanılan basınç sıcaklık ve süre gibi üretim parametrelerinin uygun olduğunu göstermektedir.

Ancak Zhang ve arkadaşlarının mikrofibril selüloz ve HDPE ile üretmiş oldukları kompozitlerde bu durum Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de verilen değerlerde de açıkça görüldüğü gibi yapmış olduğumuz çalışma ile benzer sonuç göstermekte ve aynı şekilde %30 katkı oranından sonra RC-PE üzerinde ciddi etki gösterdiği tespit edilmiştir (Zhang vd., 2021).



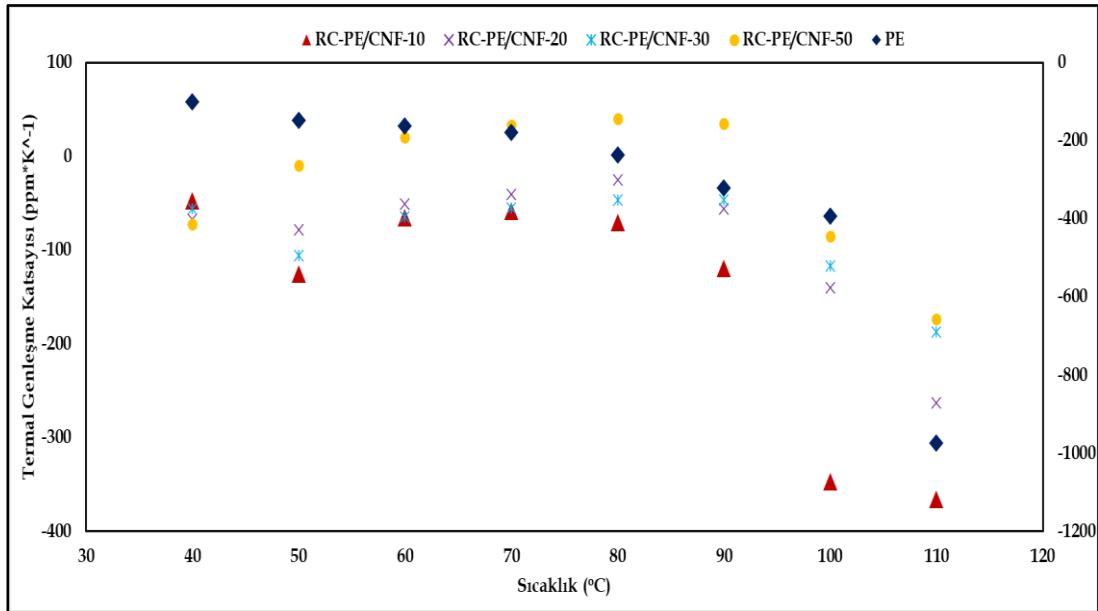
Şekil 3.28. RC-PE ve RC-PE/NF kompozitlerin termal genleşme katsayıları

RC-PE/CNF kompozitlerinin çekme oranlarına bakıldığında RC-PE için %2.1 değerinin %50 selülozik nanolif katkısından sonra %0.4'e kadar düştüğü görüldü (Şekil 3.27b). Selülozik nanoliflerin katkı oranı arttırıldıkça ham kenevir liflerine göre %20 daha fazla boyutsal kararlılık sağlandığı değerlendirildi. Bu durum ham kenevirden ekstraksiyon işlemi ile elde edilen selülozik nanoliflerin yapısından amorf bölgelerin uzaklaştırılması ile daha iyi lif-matris ara yüzeyi sağlanarak kompozit malzemenin termal kararlılığını arttırdığı söylenebilir. Lee ve ark. kırmızı yosun lifleri ile yapmış oldukları bir çalışmada kompozit malzemede lif oranının artırılmasının daha az boyutsal değişiklik anlamına geldiğini bildirmiştir (Lee vd., 2008).

Tablo 3.7. RC-PE/CNF kompozitlerin termal genleşme katsayısı

	Termal Genleşme Katsayısı (ppm*K ⁻¹)				
Sıcaklık (°C)	PE	RC-PE/CNF-10	RC-PE/CNF-20	RC-PE/CNF-30	RC-PE/CNF-50
40	-101.35	-47.37	-67.08	-56.29	-72.85
50	-147.8	-125.6	-78.29	-105.65	-9.97
60	-162.37	-65.88	-51.17	-64.78	19.82
70	-179.34	-58.86	-40.92	-55.14	33.08
80	-237.38	-71.03	-25.64	-46.65	39.98
90	-320.66	-119.63	-56.55	-46.77	34.69
100	-392.55	-347.07	-140.31	-116.88	-84.93
110	-973.62	-365.81	-263.1	-187.76	-173.37

Tablo 3.7 ve Şekil 3.29’de RC-PE ve RC-PE/CNF kompozitlerinin termal genleşme katsayıları verilmiştir. Katkı oranının artması ile termal genleşme katsayılarının azaldığı görüldü. Saba & Jawaid kenaf takviyeli hibrit kompozit üzerine yaptığı bir çalışmada, kenaf liflerinin ilavesi ile termal genleşme katsayısının azaldığını bildirmiştir (Saba & Jawaid, 2018). Yüzde uzamalar ve termal genleşme katsayıları birlikte değerlendirildiğinde optimum katkı oranının %30 olduğu değerlendirildi.



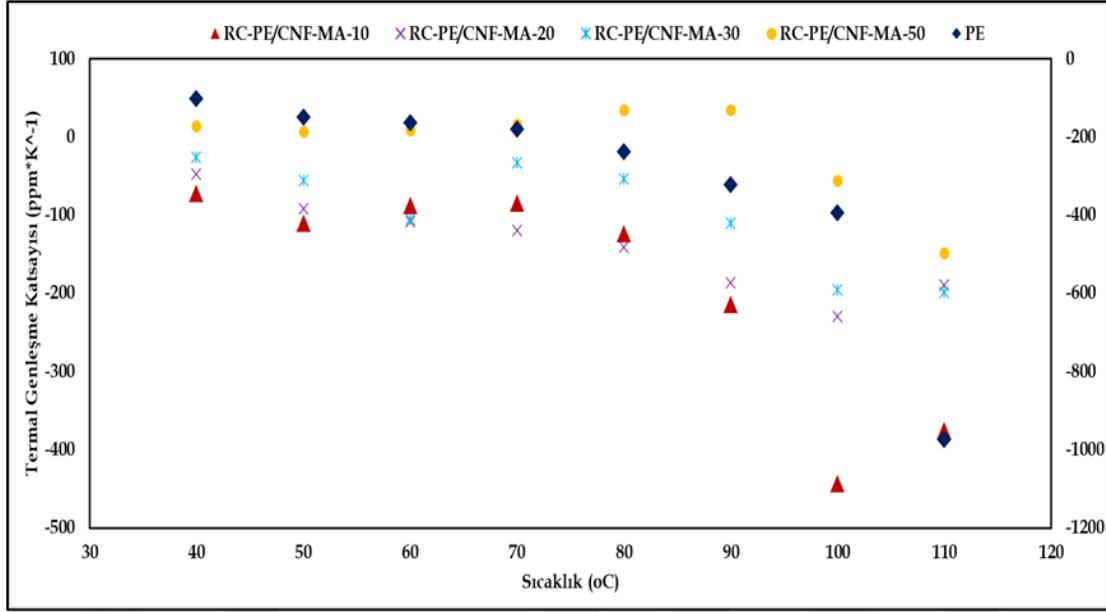
Şekil 3.27c’de RC-PE/CNF-MA kompozitinin sıcaklık karşısında boyutsal değişimleri görülmektedir. Maleik anhidrit modifiyeli liflerin katkılanması ile hazırlanan kompozitlerde ham kenevir ve selülozik nanolifler ile hazırlanan kompozitlerle benzer sonuçlar görülmüştür. %50 oranında lif takviyesi ile kompozitin boyutlarında neredeyse herhangi bir değişim gözlenmemiştir.

Tablo 3.8: RC-PE/CNF-MA kompozitlerin termal genleşme katsayısı

Sıcaklık (°C)	Termal Genleşme Katsayısı (ppm*K ⁻¹)				
	PE	RC-PE/CNF-MA-10	RC-PE/CNF-MA-20	RC-PE/CNF-MA-30	RC-PE/CNF-MA-50
40	-101.35	-71.75	-47.31	-25.32	14.7
50	-147.8	-109.54	-91.3	-55.3	7.07
60	-162.37	-87.88	-107.89	-104.81	9.78
70	-179.34	-84.49	-119.35	-33.32	16.6
80	-237.38	-123.31	-140.73	-53	34.61
90	-320.66	-213.58	-185.73	-110.53	34.52
100	-392.55	-443.68	-229.85	-195.62	-55.99
110	-973.62	-375.77	-189.65	-198.37	-147.81

Tablo 3.8 ve Şekil 3.30’da RC-PE/CNF-MA kompozitlerine ait termal genleşme katsayısı görülmektedir. Yapılan kimyasal modifikasyon ile selülozik esaslı liflerin takviye elemanı olarak kullanılmasında katkı oranının artması ve uyumlaştırıcı maddelerin kullanılması ile kompozit malzemenin termal genleşmesinin azaldığı görülmüştür.

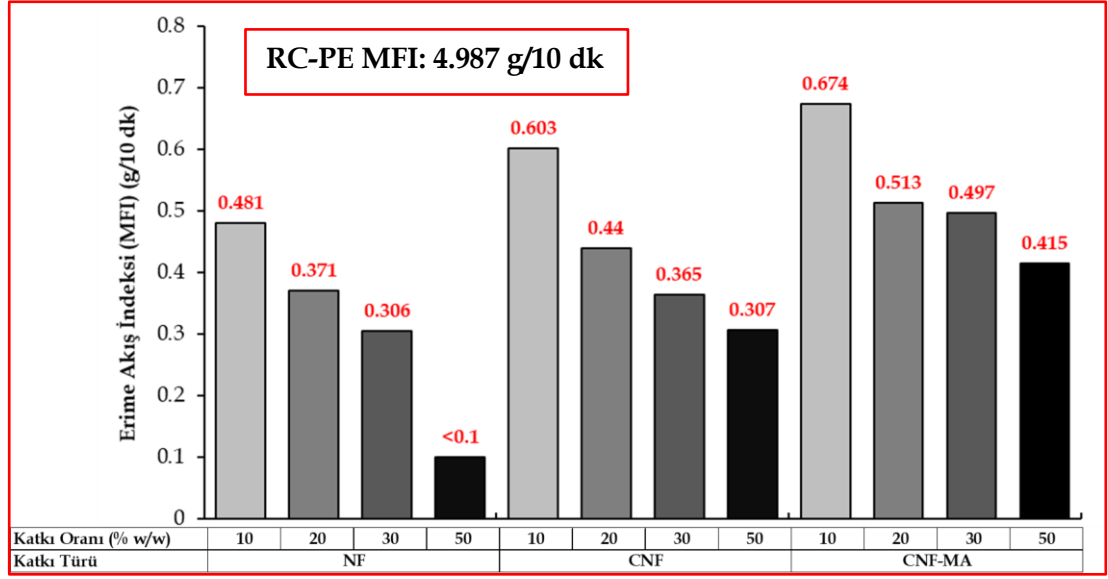
Izwan ve ark. benzoil ile yüzey modifikasyonu yapılmış şeker hurması ve kenaf liflerinin takviyesi ile ürettiği polipropilen matrisli kompozit malzemelerde yüzey modifikasyonunun daha iyi arayüzey bağları ortaya çıkardığını ve çapraz bağlanmaya neden olduğunu bunun sonucu olarak lif ve matris malzemesinin daha iyi yüzey yapışması sağladığını tespit etmiştir (Izwan vd., 2021).



Şekil 3.30. RC-PE ve RC-PE/CNF-MA kompozitlerin termal genleşme katsayıları

3.3.2.7. RC-PE matrisli kompozit malzemenin MFI analizi

Erime akış indeksi, polimer malzemelerin üretim aşamasında akma özelliğini belirlemek için kullanılan önemli parametrelerden biridir. Erime akış indeksi malzemenin viskozitesi ile ters, molekül ağırlığı ile doğru orantılıdır (Ulutaş, 2019). Şekil 3.31’de verilen RC-PE matrisli kompozit malzemelerin MFI değerlerine bakıldığında her üç katkı türünde de katkı oranı arttıkça polimer matrisin viskozitesinin ve eriyik stabilitesinin arttığı yani MFI değerinin azaldığı görüldü. RC-PE/NF, RC-PE/CNF ve RC-PE/CNF-MA kompozitlerinin MFI değerlerinin saf RC-PE’ye göre sırasıyla yaklaşık %90-98, %88-94 ve %87-92 oranında azaldığı tespit edildi. MFI değerlerinin azalması kenevir lifinin takviye edilmesi ile polimer zincirlerin hareketinin zorlaşması ve kompozitin akış kabiliyetinin azalmasından kaynaklanmaktadır (Carvalho vd., 2020). Benzer sonuçlar literatürde pek çok çalışmada kaydedilmiştir. Marzieh ve arkadaşlarının selülozik nanolif takviyesi ile ürettikleri LDPE matrisli kompozit malzemelerde selüloz takviyesi ile MFI değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir (Marzieh vd., 2014). Ulutaş, pirinç kabuğu ve geri dönüştürülmüş PP ile ürettiği kompozit malzemelerin MFI değerlerinin katkı oranı arttıkça azaldığını tespit etmiştir (Ulutaş, 2019). Rashmi ve arkadaşları odun selülozu ve PP ile ürettikleri kompozit malzemelerde katkı oranı arttıkça serbest hareketliliğin sınırlandığını ve viskozite değerlerinin arttığını bunun bir sonucu olarak MFI değerlerinin azaldığını belirlemiştir (Kumari vd., 2007).



Şekil 3.31. RC-PE kompozitlerin erime akış indeksleri

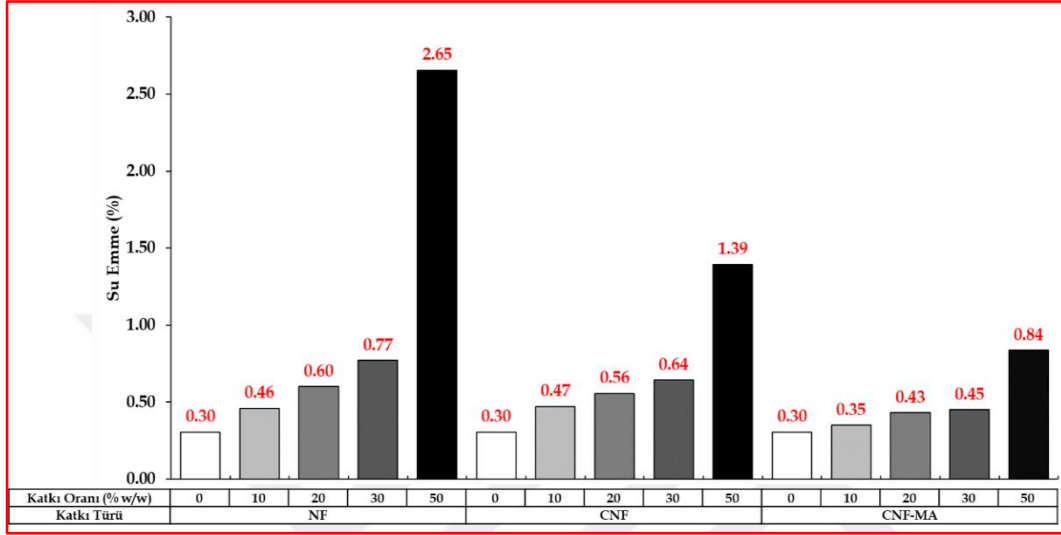
3.3.2.8. RC-PE matrisli kompozit malzemenin Su Emme analizi

Genel olarak doğal lif katkılı kompozitlerin en temel dezavantajı lignin, hemiselüloz ve selüloz vb. nem ve su alımına karşı oldukça hassas bileşikler içermesidir (Dolça vd., 2022). RC-PE matrisli kompozit malzemelerin 24 saatlik su emme testi sonuçları Nagaraj ve arkadaşları tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı ve sonuçlar Şekil 3.32’de verildi (Nagaraj vd., 2020).

$$\text{Su Emme (\%)} = [(Y\text{aş ağırlık} - Kuru ağırlık) / Kuru Ağırlık] * 100$$

Her üç katkı türünde de katkı oranı arttıkça su emme yüzdelerinde artış görüldü. Ancak %10-30 katkı oranlarında değerler birbirine oldukça yakınken, %50 katkı oranları birbirinden farklıdır. Ham kenevir lifinde %50 katkı oranında su emme miktarındaki artışın sebebi kenevir lifinin lignoselülozik yapısına atfedilir (Dolça vd., 2022). Lignoselülozik yapı oldukça polar bileşiklere sahiptir ve bu sebeple kenevir lifinin su afinitesi yüksektir (Lu vd., 2012). Yapılan ekstraksiyon işlemi ile ham kenevir lifinden hidrofilik bileşikler uzaklaştırıldığından, RC-PE/CNF kompozitlerin su emme kapasitelerinde ham kenevir takviyeli kompozite göre en yüksek katkı oranları değerlendirildiğinde % 47.5’lik bir azalma görüldü.

Benzer şekilde maleik anhidrit modifikasyonu ile polimer matris takviye malzemesi ara yüzeyi iyileştirilerek su emme kapasitesini ham kenevir takviyeli kompozite kıyasla %68'lik bir azalma belirlendi.



Şekil 3.32. RC-PE kompozitlerin su emme yüzdeleri

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışması kapsamında doğal lifler ve bunlardan elde edilen selülozik liflerin, termoset ve termoplastik matrisli kompozit malzeme üretimde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği ve üretilen kompozit malzemelerin endüstriyel uygulamaları araştırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

XRD analizi ile CrI değerleri sırasıyla ham kenevir ve selülozik nanolifler için yaklaşık %50.61 ve %72.47 olarak hesaplanmıştır. Artışın selülozun yapısında bulunan amorf bölgelerin ekstraksiyon işlemi ile yapıdan uzaklaştırılması ile elde edildiği değerlendirilmiştir.

FTIR spektrumlarından, ekstraksiyon sonrasında, selüloz yapısındaki -OH grubuna ait 3300-3500 cm^{-1} arasındaki piklerin şiddetinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın ekstraksiyon işlemi ile lignin bölgesinin lif yapısından uzaklaştırılarak selüloz içeriğinin artmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Selülozik nanoliflerin partikül boyut dağılımlarına bakıldığında ham kenevir lifinin 80 μm olan boyutunun ekstraksiyon işlemi ile ortalama hidrodinamik yarıçapın 390 nm'ye düştüğü görülmüştür.

Ham kenevir liflerinin ve selülozik nanoliflerin termal bozunma sıcaklıkları sırasıyla 338 °C ve 385 °C olarak belirlenmiştir.

Selülozik nanoliflerin polimer matrisi ile etkileşimi artırmak amacıyla TVES ve MA ile modifiye edilmiştir. Elde edilen modifiyeli liflerin FTIR, XRD ve TGA analizleri ile özellikleri belirlenmiştir.

Modifikasyon sonunda FTIR spektrumlarından, 1720 cm^{-1} 'deki karboksil gerilme bandındaki ve 1632 cm^{-1} 'deki vinil grupları ($\text{C}=\text{C}$) piklerindeki artışın maleoil grubunun selülozik nanoliflere bağlandığı ve 1100 cm^{-1} 'deki Si-O-Si pikinin karakteristik silikon bağının titreşim gerilmesine ait olduğu ve trivinil etoksilan modifikasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.

Modifiyeli selülozik nanoliflerin X-ışını kırınım desenlerinden maleik anhidrit modifiyeli liflerde $2\theta = 26.6^\circ$ ve 29.66° de belirgin yeni pikler olduğu görülmüştür. Maleik anhidrit ve triviniletoksilan modifiyeli liflerin CrI değerleri sırasıyla sırasıyla %65.36 ve %58.95 olarak hesaplanmıştır.

TGA analizine bakıldığında CNF, CNF-MA ve CNF-TVES nanoliflerin 375.98°C , 358.37°C ve 359.86°C de kütlelerinin yaklaşık %50 sini kaybettikleri görülmüştür. Termal bozunma sıcaklıklarındaki bu düşüş modifikasyon işleminin liflerin selüloz zincirleri arasındaki güçlü hidrojen bağlarının zayıflaması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Sonuçlar DSC analizi ile de desteklenmiştir.

EP/CNF kompozit malzemelerin termogramlarından selüloz nanolif takviyeli kompozit malzemenin bozunma sıcaklığında, saf epoksiye göre %5'lik bir azalma olduğu görülmüştür. Ancak bununla birlikte saf epoksideki kalıntı miktarı %6.82 iken %10'luk nanolif takviyesinde bu değerin %9.66 ya yükseldiği belirlenmiştir.

EP/CNF ve EP/CNF-TVES kompozitlerinin sertlik ölçümleri yapılmış ve en yüksek sertlik değerinin %10 modifiye selülozik nanolif katkı oranında olduğu görülmüştür. EP/CNF ve EP/CNF-TVES kompozitlerinin boş epoksiye göre daha iyi mekanik özellik sergilediği belirlenmiştir.

RC-PE kompozit malzemelerin karışım karakterizasyonları incelendiğinde; NF ve CNF katkısı ile tüketilen enerji miktarında bir azalma görülürken, CNF-MA katkısı ile tork değerinde bir artış görülmüştür. Karışımların füzyon sürelerine bakıldığında NF katkısı ile sürekli bir artış gözlemlendi. CNF ve CNF-MA katkısında bu sürelerde logaritmik bir artış ve azalış gözükmezken en düşük füzyon süresi RC-PE/CNF-MA-50 kompozitinde görülmüştür. Bunun temel nedeninin yapılan modifikasyon işlemi ile

selülozik nanolifin polimer matris ile uyumlu bir birleşim yapması olduğu düşünülmektedir.

RC-PE kompozit malzemenin çekme mukavemeti, kopma uzaması ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Matris malzemeye takviye edilen ham kenevir liflerinin %30 katkı oranına kadar çekme mukavemetini artırdığı ancak katkı oranının daha da artırılması ile zayıf lif matris birleşmesi ve yetersiz stres aktarımı gibi sebeplerle çekme mukavemeti üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olduğu görülmüştür. Selülozik nanoliflerin takviye edilmesi ile ham kenevir ile benzer sonuçlar elde edilmiş en yüksek mukavemet değerinin %30 katkı oranında elde edildiği görülmüştür. Katkı oranının artırılması ile çekme mukavemetinde saf RC-PE'ye göre herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Maleik anhidrit modifiyeli liflerde katkı oranı arttıkça çekme mukavemetinde artış görülmüştür. Kopma uzamalarına bakıldığında üç katkı türü de benzer özellikler göstermiş ve polimer zincirlerinin hareketliliğinde kısıtlamalara sebep olmalarından dolayı kopma uzamalarında azalmaya sebep olmuşlardır. Ancak maleik anhidrit ile modifiye edilmiş lifler tüm katkı oranlarında NF ve CNF takviyelerine göre daha yüksek kopma uzaması değerleri ölçülmüştür. Çekme mukavemeti, kopma uzaması ve elastisite modülleri birlikte değerlendirildiğinde maleik anhidrit modifikasyonunun kompozit malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini belirlenmiştir.

Shore D skalasında RC-PE/CNF ve RC-PE/CNF-MA kompozitlerin sertlik değerlerinin, RC-PE'ye göre sırasıyla %55 ve %78 arttırdığı hesaplanmıştır. RP-PE/NF kompozitinin katkı oranı arttıkça sertlik değerinin düştüğü belirlenmiştir.

Termal mekanik analiz sonuçlarına üç katkı oranında da termal genleşme katsayılarında ve boyut değişimlerinde azalma görülmüştür. Ham kenevirden ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen selülozik nanolifler ve modifiyeli liflerin bu değişimler üzerinde ciddi etkilerinin olduğunu ve kompozit malzemenin termal kararlılığının arttığı değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, temel amaç sürdürülebilir hammadde olan doğal liflerin, liflerden ekstrakte edilen selülozik nanoliflerin ve modifiyeli liflerin üretim sürecine kazandırılmasıdır. Çalışmada kullanılan kenevir liflerinin fiziksel ve kimyasal yapılarından kaynaklı üstün performansı üretilen kompozit malzemenin termal ve mekanik özelliklerine önemli bir katkı sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar doğal lif takviyeli polimerik kompozit malzemelerin seri üretim metotları ile üretilerek çeşitli alanlarda sentetik liflerle üretilen kompozitlere alternatif olarak kullanımının yaygınlaşabileceğini ortaya koymaktadır. Kenevir lifinin hem hammadde bulma ve geri dönüştürülme kolaylığı hem de lif özellikleri bakımından uygulama alanlarının geliştirilmesinin ülke ekonomisine sağlayacağı yararlar bakımından ekonomik imtiyazlı bir ürün olarak görülmekte ve bu yönde politikalar geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada geri dönüştürülmüş polietilen ile üretilen kompozitler saf polietilen ile üretilen kompozit malzemelerin özelliklerini karşılamaktadır. Bu sonuç atık olarak nitelendirilen geri dönüştürülmüş malzemelerin birincil hammadde olarak üretime dahil edilebileceğini, bu sayede hem maliyet hem de ekolojik sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantaj sağlayacağını ortaya koymaktadır. Tüm bu avantajlı özellikleriyle çalışmamızda elde edilen kompozit malzemelerin günümüz teknolojilerine entegre edilerek halihazırda otomotiv endüstrisinde kullanılan bulunabilirlik ve üretilebilirlik gibi dezavantajlara sahip olan jüt lifi ile üretilen kompozit malzemeler yerine savunma sanayinde kullanılan araçlarda gövde, iç kapı ve tavan panelleri gibi bileşenlerde kullanımı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdolmohammadi, S., Siyamak, S., Ibrahim, N. A., Wan Yunus, W. M. Z., Ab Rahman, M. Z., Azizi, S., & Fatehi, A. (2012). Enhancement of Mechanical and Thermal Properties of Polycaprolactone/Chitosan Blend by Calcium Carbonate Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(4), 4508–4522.
<https://doi.org/10.3390/ijms13044508>.
- Abedin, F. N. J., Hamid, H. A., Alkarkhi, A. F. M., Abu Amr, S. S., Khalil, N. A., Yahaya, A. N. A., Hossain, M. S., Hassan, A., & Zulkifli, M. (2021). The effect of graphene oxide and sebs-g-mah compatibilizer on mechanical and thermal properties of acrylonitrile-butadiene-styrene/talc composite. *Polymers*, 13(18), 1–20.
<https://doi.org/10.3390/polym13183180>.
- Ali, A., Sanuddin, A. B., & Ezzeddin, S. (2010). The effect of aging on *Arenga Pinnata* fiber-reinforced epoxy composite. *Materials and Design*, 31(7), 3550–3554.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.01.043>.
- Alpaslan, C. (2016). Polietilen/Kil Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Asim, M., Jawaid, M., Paridah, M. T., Saba, N., Nasir, M., & Shahroze, R. M. (2019). Dynamic and thermo-mechanical properties of hybridized kenaf/PALF reinforced phenolic composites. *Polymer Composites*, 40(10), 3814–3822.
<https://doi.org/10.1002/pc.25240>.
- Aslan, G. (2011). Farklı Malzemelerden Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile Makine Parçası Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Barkoula, N. M., Garkhail, S. K., & Peijs, T. (2010). Effect of compounding and injection molding on the mechanical properties of flax fiber polypropylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(9), 1366–1385.
<https://doi.org/10.1177/0731684409104465>.
- Başaran Kankılıç, G., & Metin, A. Ü. (2020). Phragmites australis as a new cellulose source: Extraction, characterization and adsorption of methylene blue. *Journal of Molecular Liquids*, 312.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113313>.
- Başer, U., & Bozoğlu, M. (2020). Türkiye'nin Kenevir Politikası ve Piyasasına Bir Bakış. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 127–135.
- Baydemir, T. (2020). Epoksi Reçine Teknolojileri. *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık, 24–33.
- Bhaskar, J., & Singh, V. K. (2013). Physical and Mechanical Properties of Coconut Shell Particle Reinforced-Epoxy Composite. *J. Mater. Environ. Sci*, 4(2), 227–232.
- Bilici, I. (2018). Alternative Evaluation of Synthetic Gypsum with Waste Polyethylene. *Transactions on Science and Technology*, 5(4), 239–244.
- Bilici, I., Deniz, C. U., & Oz, B. (2019). Thermal and mechanical characterization of composite produced from recycled PE and flue gas desulfurization gypsum. *Journal of Composite Materials*, 53(23), 3325–3333.
<https://doi.org/10.1177/0021998319827097>.
- Bulut, Y., & Erdoğan, Ü. H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *The Journal of Textile*, 82, 26-35.
- Çal, T., & Bucurgat, Ü. Ü. (2019). In vitro investigation of the effects of boron nitride nanotubes and curcumin on DNA damage. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 27(1), 203–218.
<https://doi.org/10.1007/s40199-019-00263-6>.

- Çaloğlu, Ü. (2007). Pamuk Saplarının Çeşitli Kimyasallarla Modifikasyonu ve Bu Modifikasyon Ürünlerinin Polietilen Esaslı Kompozitlerde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. *Sütçüimam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahraman Maraş.
- Capanema, E. A., Balakshin, M. Y., Chen, C. L., Gratzl, J. S., & Gracz, H. (2001). Structural analysis of residual and technical lignins by ^1H - ^{13}C correlation 2D NMR-spectroscopy. *Holzforschung*, 55(3), 302–308.
<https://doi.org/10.1515/HF.2001.050>.
- Carvalho, M. S. de, Azevedo, J. B., & Barbosa, J. D. V. (2020). Effect of the melt flow index of an HDPE matrix on the properties of composites with wood particles. *Polymer Testing*, 90, 106678.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106678>.
- Çavdar, A., & Boran, S. (2016). Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı. İçinde *Journal of Forestry Faculty* (C. 16, Sayı 1), 253-263.
- Çelik, M., & Kılıç, E. (2020). Bitkisel Kaynaklı Biyopolietilenin Biyokompozit Üretiminde Ve Polimer Karışımlarında Kullanımı. *Tekstil ve Muhendis*, 27(119), 197–215.
<https://doi.org/10.7216/1300759920202711908>.
- Çetin, H. (2015). Modifiye Edilmiş Silika İle Hazırlanan Polipropilen Kompozit Filmlerin Sentezi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Chen, M., Chen, C., Liu, C., & Sun, R. (2013). Homogeneous modification of sugarcane bagasse with maleic anhydride in 1-butyl-3-methylimidazolium chloride without any catalysts. *Industrial Crops and Products*, 46, 380–385.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.023>.
- Chianelli-Junior, R., Reis, J. M. L., Cardoso, J. L., & Castro, P. F. (2013). Mechanical characterization of sisal fiber-reinforced recycled HDPE composites. *Materials Research*, 16(6), 1393–1397.
<https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000128>.
- Cichosz, S., Masek, A., Wolski, K., & Zaborski, M. (2019). Universal approach of cellulose fibres chemical modification result analysis via commonly used techniques. *Polymer Bulletin*, 76(5), 2147–2162.
<https://doi.org/10.1007/s00289-018-2487-7>.
- Deepa, B., Abraham, E., Cordeiro, N., Mozetic, M., Mathew, A. P., Oksman, K., Faria, M., Thomas, S., & Pothan, L. A. (2015). Utilization of various lignocellulosic biomass for the production of nanocellulose: a comparative study. *Cellulose*, 22(2), 1075–1090.
<https://doi.org/10.1007/s10570-015-0554-x>.
- Demirbek, M. D., & Bulut, M. (2021). Kenevir Liflerinin Eldesi, Özellikleri Ve Kompozit Uygulama Alanları. *International Journal of Natural and Applied Sciences JONAS*, 4(2), ss. 1.
- Demirer, A., Çakırgil E., Çoban A., ve Durat, M. (2009). PP Ve YYPE Malzemelerin Enjeksiyon Kalıplarında Üretilmesinde Soğutma Sisteminin Parça Kalitesine Etkisi. *5.Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs.
- Dere, H. (2021). Karbon Türevi Dolgulu Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (PE) Kompozit ve Hibrit Kompozit Kaplamaların Sürtünme ve Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik.
- Dolça, C., Fages, E., Gong, E., Garcia-sanoguera, D., Balart, R., & Quiles-carrillo, L. (2022). The effect of varying the amount of short hemp fibers on mechanical and thermal properties of wood–plastic composites from biobased polyethylene processed by injection molding. *Polymers*, 14(1), 138.
<https://doi.org/10.3390/polym14010138>.

- Döndüren, H. V., & Serhat, S. (2015). Plastik Enjeksiyon Kalıplarında PVC (Polivinil Klorür) ve PC (Polikarbonat) İçin En Uygun Kalıp Çeliği Seçimi. *Journal of natural and applied science*, 46–53.
- Duran, H. (2016). Bitkisel Lif Atıklarından Sürdürülebilir Selüloz Eldesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Ersen Balcıoğlu, H. (2012). Ceviz Kabuğu Takviyeli Polyester Reçinenin Aşınma Dirençlerinin Belirlenmesi. *1. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi*, Uşak, Türkiye, 2-4 Mayıs.
- Feng, Y. H., Cheng, T. Y., Yang, W. G., Ma, P. T., He, H. Z., Yin, X. C., & Yu, X. X. (2018). Characteristics and environmentally friendly extraction of cellulose nanofibrils from sugarcane bagasse. *Industrial Crops and Products*, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.041>.
- Ferrero, B., Fombuena, V., Fenollar, O., Boronat, T., & Balart, R. (2015). Development of natural fiber-reinforced plastics (NFRP) based on biobased polyethylene and waste fibers from *Posidonia oceanica* seaweed. *Polymer Composites*, 36(8), 1378–1385. <https://doi.org/10.1002/pc.23042>.
- Gassan, J., & Bledzki, A. K. (1999). Alkali Treatment of Jute Fibers: Relationship between Structure and Mechanical Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 71(4), 623–629. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4628\(19990124\)71:4<623::aid-app14>3.0.co;2-k](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4628(19990124)71:4<623::aid-app14>3.0.co;2-k).
- Güney, O., Doğan, D., Bilici, İ., & Metin, A. Ü. (2021). *3. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu*. 179–182, Kırıkkale, Türkiye, 7-9 Ekim.
- Imoisili, P. E., & Jen, T. C. (2020). Mechanical and water absorption behaviour of potassium permanganate (KMnO₄) treated plantain (*Musa Paradisiacal*) fibre/epoxy bio-composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8705–8713. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.121>.
- Izwan, S. M., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., & Mohamed, A. R. (2021). Thermal stability and dynamic mechanical analysis of benzylation treated sugar palm/kenaf fiber reinforced polypropylene hybrid composites. *Polymers*, 13(17), 2961. <https://doi.org/10.3390/polym13172961>.
- Jacob, J., & Mamza, P. A. P. (2021). Mechanical and thermal behavior of plantain peel powder filled recycled polyethylene composites. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 32(2), 114–119. <https://doi.org/10.2478/auoc-2021-0017>.
- Jamian, S., Rusydi, M., Abidin, Z., Hisyamudin, N., & Nor, M. (2016). Fabrication of functionally graded natural fibre/epoxy cylinder using centrifugal casting method. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(4), 2327–2331.
- Johar, N., Ahmad, I., & Dufresne, A. (2012). Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.12.016>
- Karaduman, Y. (2009). Doğal Lif Destekli Kompozit Malzemelerin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Kargazadeh, H., Ahmad, I., Abdullah, I., Dufresne, A., Zainudin, S. Y., & Sheltami, R. M. (2012). Effects of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers. *Cellulose*, 19(3), 855–866. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9684-6>.
- Kartal, I., Naycı, G., & Halil Demirel, V. (2019). Cam ve Bambu Lifleriyle Takviyelendirilmiş Vinilester Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 34–37.

- Kaya, S. (2021). Geri Dönüşüm İplikliğinin Kenevir Lifi Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. *Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak.
- Kaya, S., & Öner, E. (2020). Kenevir Liflerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Tekstil Endüstrisindeki Uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108–123.
<https://doi.org/10.29048/makufebed.693406>.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., & Akbulut, T. (2012). Tüketim Toplumu Ve Çevre Sempozyumu Atık Alüminyum Polietilen (Tetrapak) Ve Pirinç Sapı Kullanılarak Üretilen Ahşap Polimer Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının Belirlenmesi. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi (ISSN: 2147-0626)*, 1(4).
<https://doi.org/10.7596/taksad.v1i4>.
- Kısmet, Y., & Doğan, A. (2021). Characterization of the mechanical and thermal properties of rape short natural-fiber reinforced thermoplastic composites. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*.
<https://doi.org/10.1007/s13726-021-00988-9>.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *İçinde Angewandte Chemie - International Edition (C. 44, Sayı 22, ss. 3358–3393)*.
<https://doi.org/10.1002/anie.200460587>.
- Kocaman, S. (2019). Preparation and characterization of natural waste reinforced epoxy resin matrix composites modified with different chemicals. *Uluslararası Muhendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*, 77–86.
<https://doi.org/10.29137/umagd.459758>.
- Kodali, D., Uddin, M. J., Moura, E. A. B., & Rangari, V. K. (2021). Mechanical and thermal properties of modified Georgian and Brazilian clay infused biobased epoxy nanocomposites. *Materials Chemistry and Physics*, 257(August 2020), 123821.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123821>.
- Kozdrach, R. (2020). The tribological, physico-chemical and rheological properties of lubricating grease produced on epoxy resin base. *Tribology in Industry*, 42(2), 255–267.
<https://doi.org/10.24874/ti.760.09.19.04>.
- Kumari, R., Ito, H., Takatani, M., Uchiyama, M., & Okamoto, T. (2007). Fundamental studies on wood/cellulose-plastic composites: Effects of composition and cellulose dimension on the properties of cellulose/PP composite. *Journal of Wood Science*, 53(6), 470–480.
<https://doi.org/10.1007/s10086-007-0889-5>.
- Kurnaz, U. (2019). Çok Katlı Poliamid Kompozit Borunun Ekstrüzyon İle Üretiminde Alev Uygulamasının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Kusmono, Hestiawan, H., & Jamasri. (2020). The water absorption, mechanical and thermal properties of chemically treated woven fan palm reinforced polyester composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 4410–4420.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.065>.
- Lakshmi, M. S., Narmadha, B., & Reddy, B. S. R. (2008). Enhanced thermal stability and structural characteristics of different MMT-Clay/epoxy-nanocomposite materials. *Polymer Degradation and Stability*, 93(1), 201–213.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.10.005>.
- Lee, M. W., Han, S. O., & Seo, Y. B. (2008). Red algae fibre/poly(butylene succinate) biocomposites: The effect of fibre content on their mechanical and thermal properties. *Composites Science and Technology*, 68(6), 1266–1272.
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.12.016>.

- Lhymn, C. (1987). Tribological properties of unidirectional polyphenylene sulfide-carbon fiber laminate composites. *Wear*, 117(2), 147–159.
[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(87\)90252-3](https://doi.org/10.1016/0043-1648(87)90252-3).
- Li, J., Wei, X., Wang, Q., Chen, J., Chang, G., Kong, L., Su, J., & Liu, Y. (2012). Homogeneous isolation of nanocellulose from sugarcane bagasse by high pressure homogenization. *Carbohydrate Polymers*, 90(4), 1609–1613.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.07.038>.
- Li, Y., Xiao, H., Chen, M., Song, Z., & Zhao, Y. (2014). Absorbents based on maleic anhydride-modified cellulose fibers/diatomite for dye removal. *Journal of Materials Science*, 49(19), 6696–6704.
<https://doi.org/10.1007/s10853-014-8270-8>.
- Liu, Y., Guo, L., Wang, W., Sun, Y., & Wang, H. (2019). Modifying wood veneer with silane coupling agent for decorating wood fiber/high-density polyethylene composite. *Construction and Building Materials*, 224, 691–699.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.090>.
- Lu, N., Swan, R. H., & Ferguson, I. (2012). Composition, structure, and mechanical properties of hemp fiber reinforced composite with recycled high-density polyethylene matrix. *Journal of Composite Materials*, 46(16), 1915–1924.
<https://doi.org/10.1177/0021998311427778>.
- Martins, M. A., Teixeira, E. M., Corrêa, A. C., Ferreira, M., & Mattoso, L. H. C. (2011). Extraction and characterization of cellulose whiskers from commercial cotton fibers. *Journal of Materials Science*, 46(24), 7858–7864.
<https://doi.org/10.1007/s10853-011-5767-2>.
- Marzieh, A.-S., Tayebbeh, B., Ruhollah, B., & Bijan, N.-N. (2014). Preparation and Characterization of Low-Density Polyethylene/Thermoplastic Starch Composites Reinforced by Cellulose Nanofibers. *Polymers and Polymer Composites*.
<https://doi.org/10.1002/pc.23144>.
- Mazumdar, A. K., & Sarkar, P. B. (1953). Auto-hydrolysis of Jute Hemicellulose. *Textile Research Journal*, 23(10), ss. 749. <https://doi.org/10.1177/004051755302301011>.
- McCaffrey, Z., Torres, L., Flynn, S., Cao, T., Chiou, B. S., Klamczynski, A., Glenn, G., & Orts, W. (2018). Recycled polypropylene-polyethylene torrefied almond shell biocomposites. *Industrial Crops and Products*, 125(September), 425–432.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.012>.
- Mody, P. B., Chou, T. wei, & Friedrich, K. (1988). Effect of testing conditions and microstructure on the sliding wear of graphite fibre/PEEK matrix composites. *Journal of Materials Science*, 23(12), 4319–4330.
<https://doi.org/10.1007/BF00551926>.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: *Macromol. Mater. Eng.* 276 (C. 277, ss. 1–24).
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1439-2054\(20000301\)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W).
- Morán, J. I., Alvarez, V. A., Cyras, V. P., & Vázquez, A. (2008). Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose*, 15(1), 149–159.
<https://doi.org/10.1007/s10570-007-9145-9>.
- Nagaraj, N., Balasubramaniam, S., Venkataraman, V., Manickam, R., Nagarajan, R., & Sikiru Oluwarotimi, I. (2020). Effect of cellulosic filler loading on mechanical and thermal properties of date palm seed/vinyl ester composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 53–66.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.247>.

- Nam, S., French, A. D., Condon, B. D., & Concha, M. (2016). Segal crystallinity index revisited by the simulation of X-ray diffraction patterns of cotton cellulose I β and cellulose II. *Carbohydrate Polymers*, 135, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.035>.
- Nascimento, S. A., & Rezende, C. A. (2018). Combined approaches to obtain cellulose nanocrystals, nanofibrils and fermentable sugars from elephant grass. *Carbohydrate Polymers*, 180(August 2017), 38–45.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.099>.
- Negawo, T. A., Polat, Y., & Kilic, A. (2021). Effect of compatibilizer and fiber loading on ensete fiber-reinforced HDPE green composites: Physical, mechanical, and morphological properties. *Composites Science and Technology*, ss. 213, 108937.
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108937>.
- Neto, J., Queiroz, H., Aguiar, R., Lima, R., Cavalcanti, D., & Banea, M. D. (2022). A review of recent advances in hybrid natural fiber reinforced polymer composites. *Journal of Renewable Materials*, 10(3), 561–589.
<https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017434>.
- Olçay, H. (2021). Selülozik Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Lifler Ve Poliüretan Köpük İle Oluşturulan Biyo-Bazlı Kompozitlerin Mekanik, Ses Yutumu, Termal Ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Olesen, P. O., & Plackett, D. V. (1999). Perspectives on the performance of natural plant fibres. *Natural Fibres Performance Forum*, January 1999, ss. 7, Copenhagen, Denmark, 27-28 Mayıs.
- Orji, B. O., & McDonald, A. G. (2020). Evaluation of the mechanical, thermal and rheological properties of recycled polyolefins rice-hull composites. *Materials*, 13(3).
<https://doi.org/10.3390/ma13030667>.
- Özcan, S. (2019). UHMWPE/Selüloz Polimer Kompozitlerinin Hazırlanması Ve Uyumlaştırıcı Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Özel, D., & Temiz, A. (2018). Havacılık Dünyasından Termoplastik Kompozitlere Genel Bir Bakış. *Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı*, Samsun, Türkiye, 12-14 Eylül.
- Özen, E., Kiziltas, A., Kiziltas, E. E., & Gardner, D. J. (2013). Natural fiber blend - Nylon 6 composites. *Polymer Composites*, 34(4), 544–553. <https://doi.org/10.1002/pc.22463>.
- Park, H. J., Badakhsh, A., Im, I. T., Kim, M. S., & Park, C. W. (2016). Experimental study on the thermal and mechanical properties of MWCNT/polymer and Cu/polymer composites. *Applied Thermal Engineering*, 107, 907–917.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.053>.
- Poletto, M., Júnior, H. L. O., & Zattera, A. J. (2014). Native cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials*, 7(9), 6105–6119.
<https://doi.org/10.3390/ma7096105>.
- Pouriman, M., Dahresobh, A., Moradipour, M., & Caparanga, A. R. (2019). Thermal and nondestructive analysis of high density polyethylene filled with milled salago fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(33).
<https://doi.org/10.1002/app.47873>.
- Purkait, B. S., Ray, D., Sengupta, S., Kar, T., Mohanty, A., & Misra, M. (2011). Isolation of cellulose nanoparticles from sesame husk. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 50(2), 871–876.
<https://doi.org/10.1021/ie101797d>.

- Rana, S. S., & Gupta, M. K. (2020). Isolation of nanocellulose from hemp (*Cannabis sativa*) fibers by chemo-mechanical method and its characterization. *Polymer Composites*, 41(12), 5257–5268.
<https://doi.org/10.1002/pc.25791>.
- Roumeli, E., Terzopoulou, Z., Pavlidou, E., Chrissafis, K., Papadopoulou, E., Athanasiadou, E., Triantafyllidis, K., & Bikiaris, D. N. (2015). Effect of maleic anhydride on the mechanical and thermal properties of hemp/high-density polyethylene green composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 121(1), 93–105.
<https://doi.org/10.1007/s10973-015-4596-y>.
- Saba, N., & Jawaid, M. (2018). A review on thermomechanical properties of polymers and fibers reinforced polymer composites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (C. 67, ss. 1–11). Korean Society of Industrial Engineering Chemistry.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.06.018>.
- Sabancı, Ş. (2005). Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi İle Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sabarinathan, P., Annamalai, V. E., Rajkumar, K., Vishal, K., & Dhinakaran, V. (2022). Synthesis and characterization of randomly oriented silane-grafted novel bio-cellulosic fish tail palm fiber–reinforced vinyl ester composite. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-02459-4>.
- Saeb, M. R., Ghaffari, M., Rastin, H., Khonakdar, H. A., Simon, F., Najafi, F., Goodarzi, V., Vijayan P., P., Puglia, D., Asl, F. H., & Formela, K. (2017). Biowaste chicken eggshell powder as a potential cure modifier for epoxy/anhydride systems: competitiveness with terpolymer-modified calcium carbonate at low loading levels. *RSC Advances*, 7(4), 2218–2230. <https://doi.org/10.1039/c6ra24772e>.
- Sahebian, S., Zebadjad, S., Sajjadi, S., Sherafat, Z., & Lazzeri, A. (2007). Effect of Both Uncoated and Coated Calcium Carbonate on Fracture Toughness of HDPE/CaCO₃ Nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 104(6), 3688–3694.
<https://doi.org/10.1002/app.25644>.
- Şahin, O. (2018). Tersine Mühendislik Yöntemi İle Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı Ve Kalıp Dolum Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Sarkar, P. B., & Mazumdar, A. K. (1955). Note on the Lignin and Hemicellulose of Jute. *Textile Research Journal*, 25(12), 1016–1020.
<https://doi.org/10.1177/004051755502501207>
- Sever, K. (2009). Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Performansında Arayüzeyin Rolü. Doktora Tezi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Shivamurthy, B., Murthy, K., Joseph, P. C., Rishi, K., Bhat, K. U., & Anandhan, S. (2015). Mechanical properties and sliding wear behavior of jatropha seed cake waste/epoxy composites. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 144–156.
<https://doi.org/10.1007/s10163-014-0235-0>.
- Sider, I., & Nassar, M. M. A. (2021). Chemical treatment of bio-derived industrial waste filled recycled low-density polyethylene: A comparative evaluation. *Polymers*, 13(16), ss. 2682.
<https://doi.org/10.3390/polym13162682>.
- Singh, S., Cheng, G., Sathitsuksanoh, N., Wu, D., Varanasi, P., George, A., Balan, V., Gao, X., Kumar, R., Dale, B. E., Wyman, C. E., & Simmons, B. A. (2015). Comparison of different biomass pretreatment techniques and their impact on chemistry and structure. *Frontiers in Energy Research*, 3, 1–12.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00062>.

- Siregar, J. P., Zalinawati, M., Cionita, T., Rejab, M. R. M., Mawarnie, I., Jaafar, J., & Hamdan, M. H. M. (2020). Mechanical properties of hybrid sugar palm/ramie fibre reinforced epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1729–1734.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.565>.
- Siy, B. S. C., Tan, J. A. X. C., Viron, K. P., Sajor, N. J. B., Santos, G. N. C., & Penaloza, D. P. (2020). Application of silane coupling agents to Abaca fibers for hydrophobic modification. *Cellulose Chemistry and Technology*, 54(3–4), 365–369.
<https://doi.org/10.35812/CellulosechemTechnol.2020.54.37>.
- Sönmez, M. (2009). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sponner, J., Toth, L., Cziger, S. and Franck, R.R., 2005, "Hemp", Bast and Other Plants Fibres 1st ed., ed. by R.E. Franck, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 176-206.
- Sullins, T., Pillay, S., Komus, A., & Ning, H. (2017). Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B: Engineering*, 114, 15–22.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.02.001>.
- Sun, Z. Y., Han, H. S., & Dai, G. C. (2010). Mechanical properties of injection-molded natural fiber-reinforced polypropylene composites: Formulation and compounding processes. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(5), 637–650.
<https://doi.org/10.1177/0731684408100264>.
- Ticaret Borsası, O. (2021). Kenevir (Kendir) Raporu, ss. 12, Ordu, Türkiye.
- Tokay, B. (2007). Nanotanelerden Silikalit-1 Sentezinin Mekanizmasının Araştırılması. Doktora Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Uçal, N. B. (2005). Pamuklu Mamüllerde Kullanılan Çapraz Bağlayıcı Maddeler ile Renk Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Ulutaş, E. (2019). Geri Dönüşümlü Polipropilen/Çeltik Polimer Kompozitinin Mekanik, Termal Ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ventura-Cruz, S., & Tecante, A. (2019). Extraction and characterization of cellulose nanofibers from Rose stems (*Rosa spp.*). *Carbohydrate Polymers*, 220, 53–59.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.053>.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12–13), 1781–1788.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Yaşaroğlu, İ. (2020). Silika Ve Karbon Nanotüp İle Güçlendirilmiş Epoksi Nanokompozit Sentezi, Karakterizasyonu Ve Deney Tasarım Teknikleri İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Yılmaz, U., & Evci, C. (2015). Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 14(2), 77–109.
- Yusup, E. M., Mahzan, S., & Kamaruddin, M. A. H. (2019). Natural Fiber Reinforced Polymer for the Application of Sports Equipment using Mold Casting Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494(1), Hangzhou, Çin, 1-4 Kasım.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012040>.
- Zhang, B., Bu, X., Wang, R., Shi, J., Chen, C., & Li, D. (2021). High mechanical properties of micro fibrillated cellulose/HDPE composites prepared with two different methods. *Cellulose*, 28(9), 5449–5462.
<https://doi.org/10.1007/s10570-021-03885-9>.

Zhou, Y., Jin, Q., Hu, X., Zhang, Q., & Ma, T. (2012). Heavy metal ions and organic dyes removal from water by cellulose modified with maleic anhydride. *Journal of Materials Science*, 47(12), 5019–5029.
<https://doi.org/10.1007/s10853-012-6378-2>.

Anonim 1: <http://bilsenbesergil.blogspot.com> (Eriřim Tarihi: 15.02.2022)

Anonim 2: <https://www.martanplastik.com> (Eriřim Tarihi: 15.02.2022)

Anonim 3: <https://www.xcentricmold.com/injection-molding-process/> (Eriřim Tarihi: 15.02.2022)

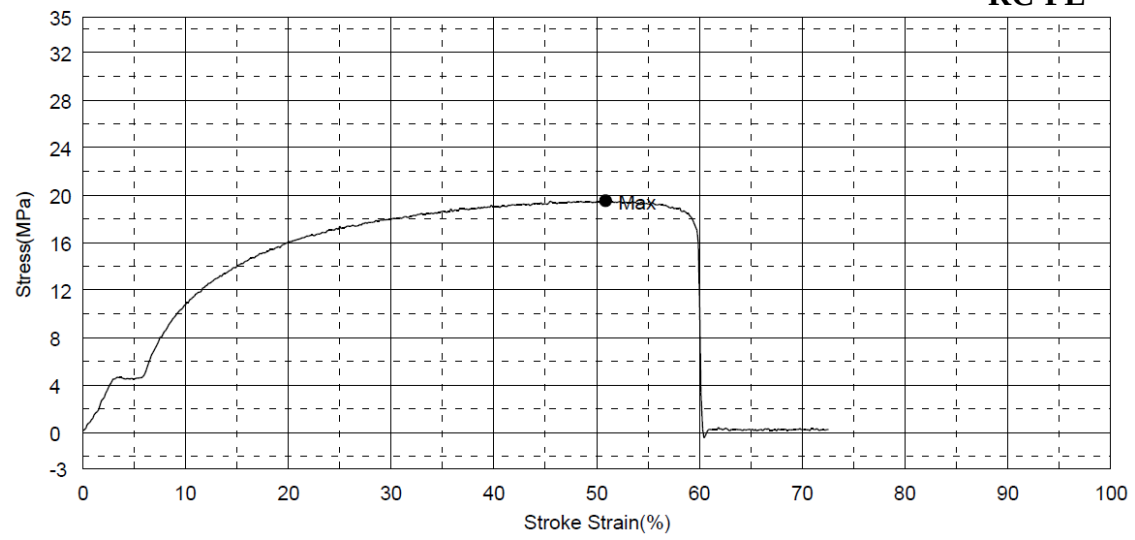
Anonim 4: <https://docplayer.biz.tr/8133032-T-c-milli-egitim-bakanligi.html> Milli Eğitim Bakanlığı (2006). *Epoksi Modelleme 2*. (Eriřim Tarihi: 15.02.2022)



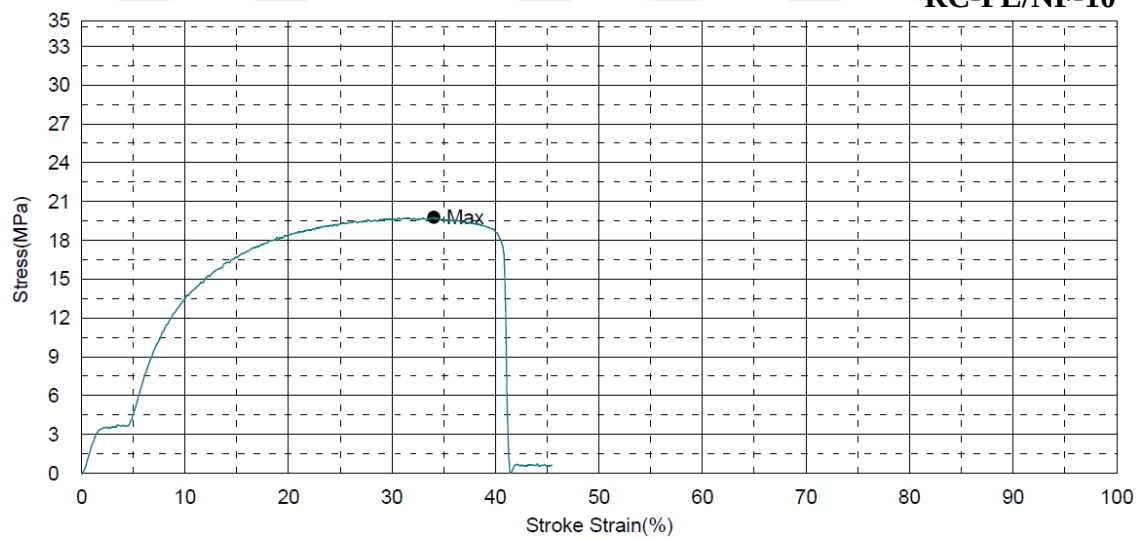
EKLER

EK-1

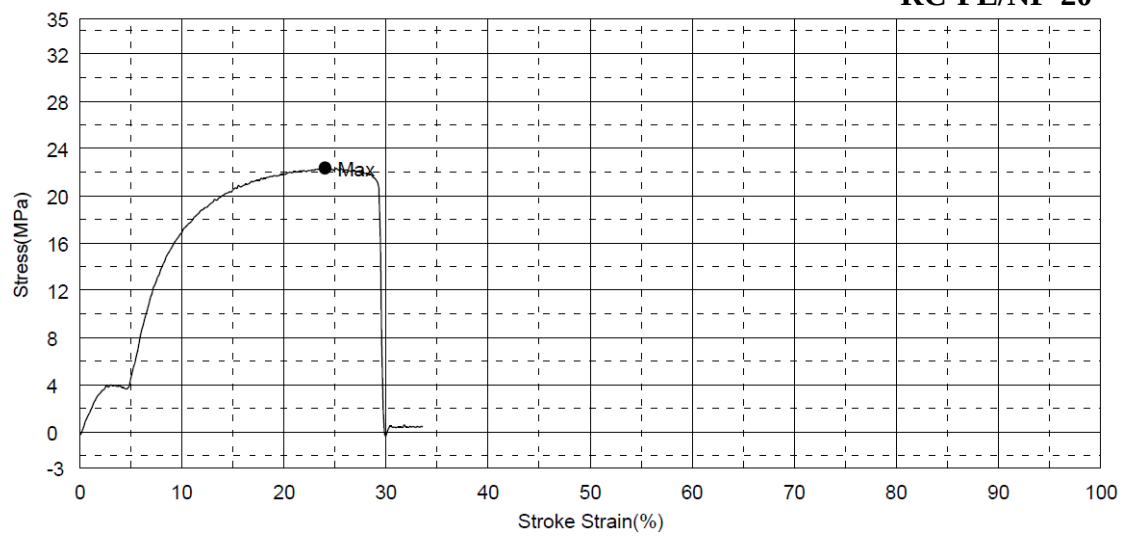
RC-PE



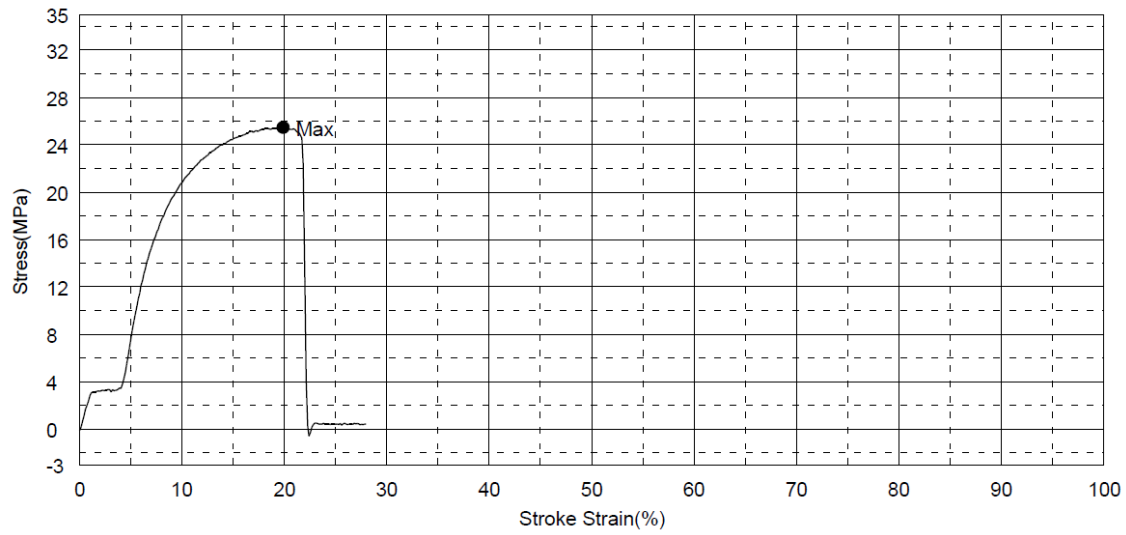
RC-PE/NF-10



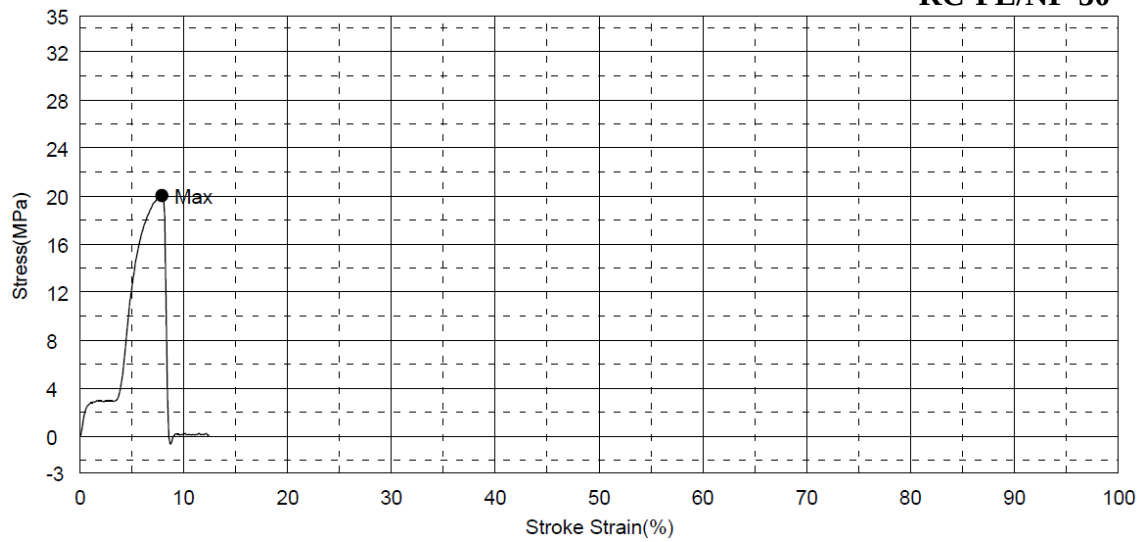
RC-PE/NF-20



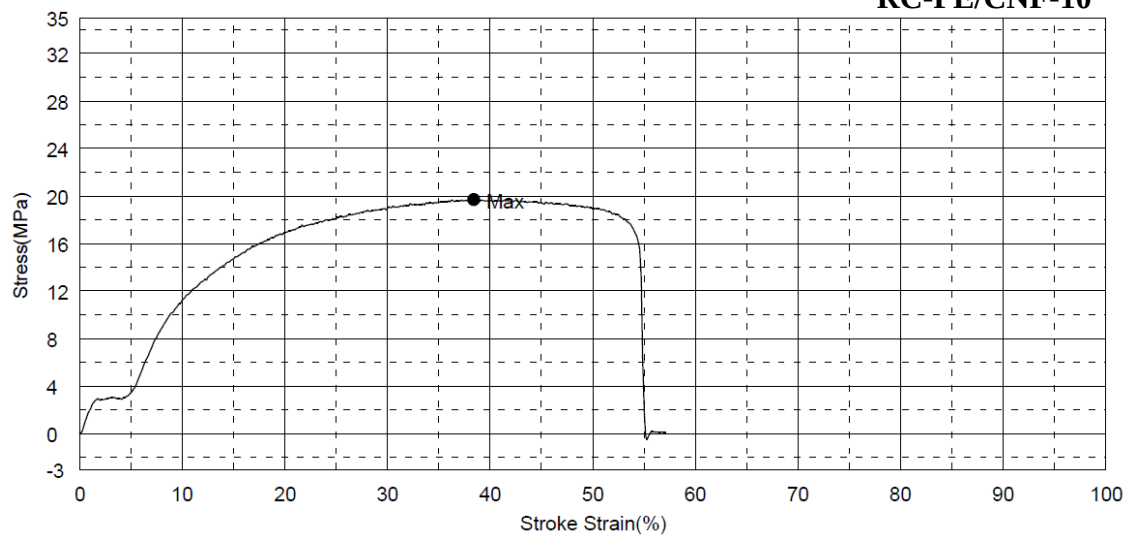
RC-PE/NF-30



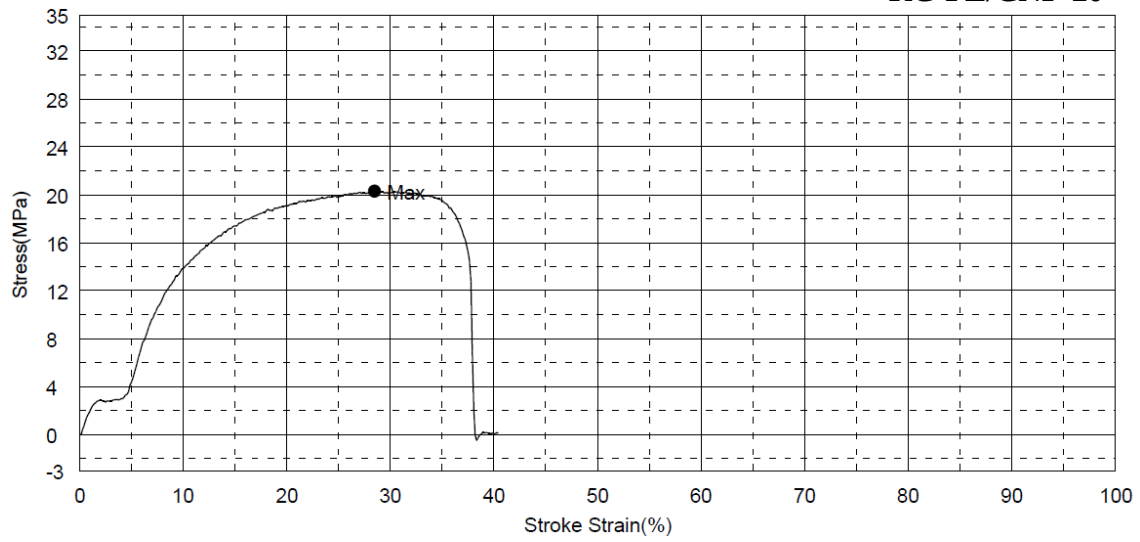
RC-PE/NF-50



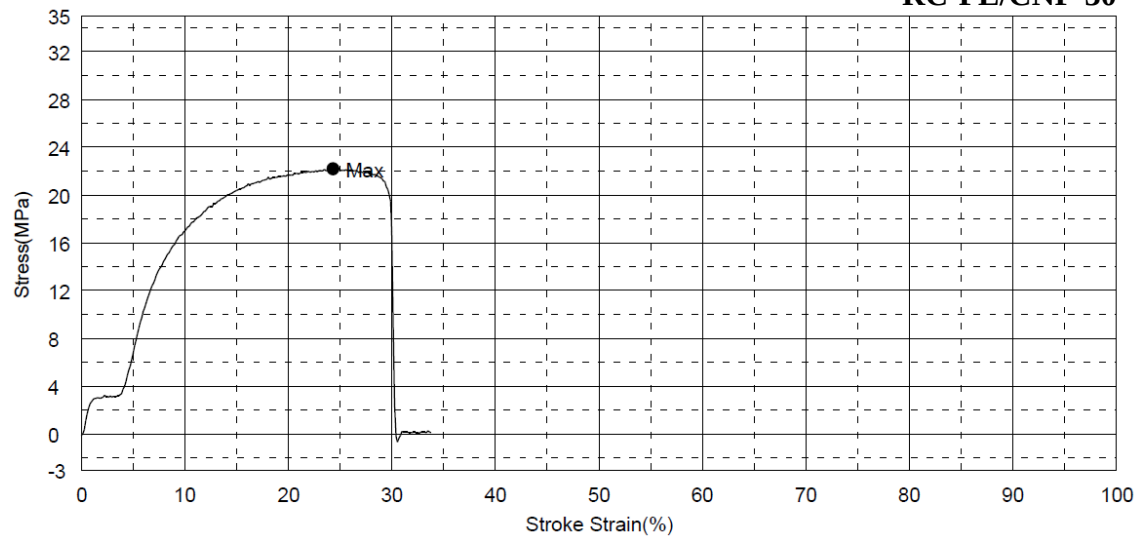
RC-PE/CNF-10



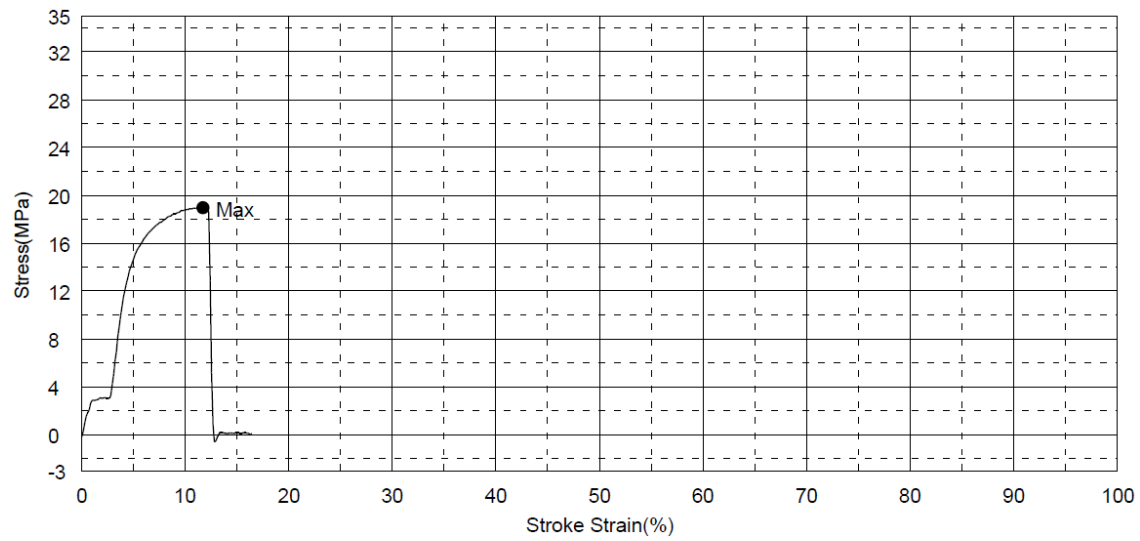
RC-PE/CNF-20



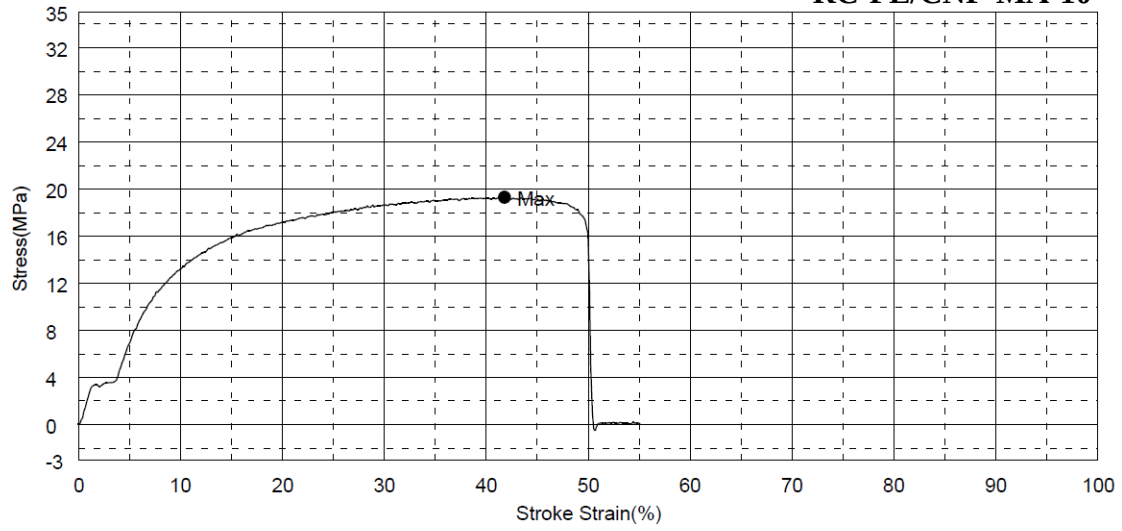
RC-PE/CNF-30



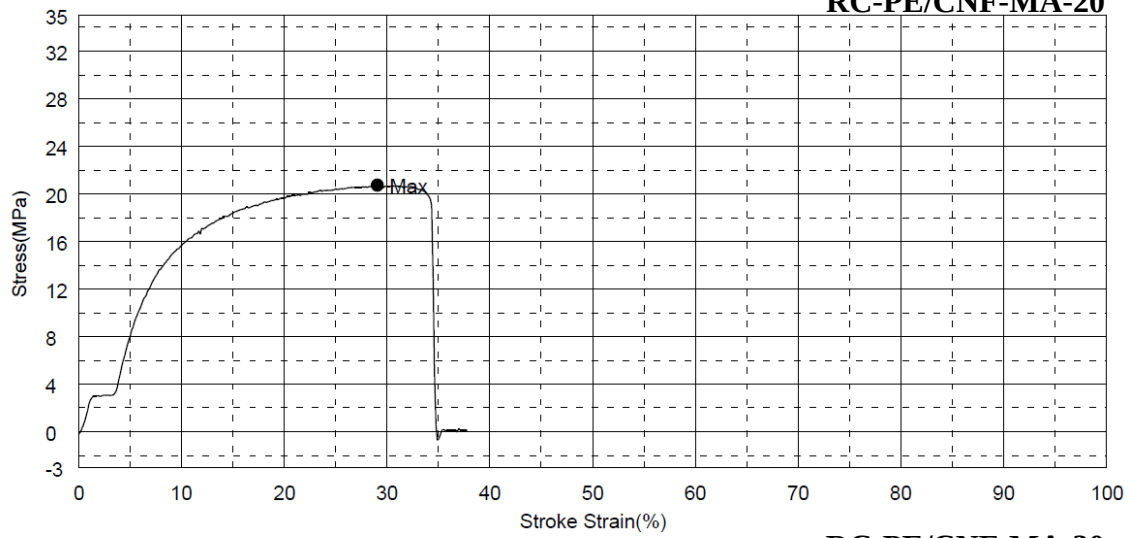
RC-PE/CNF-50



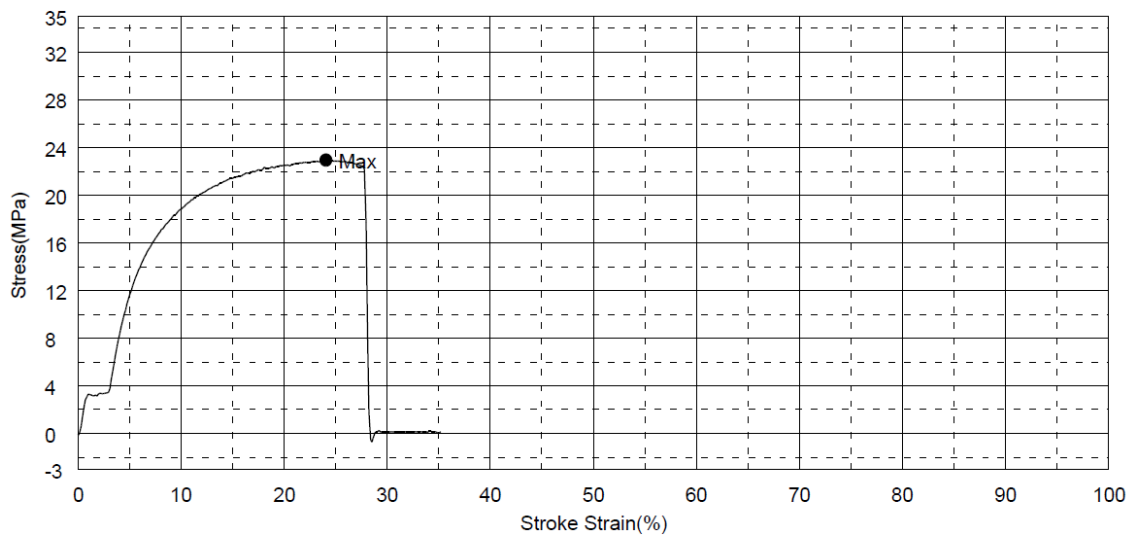
RC-PE/CNF-MA-10



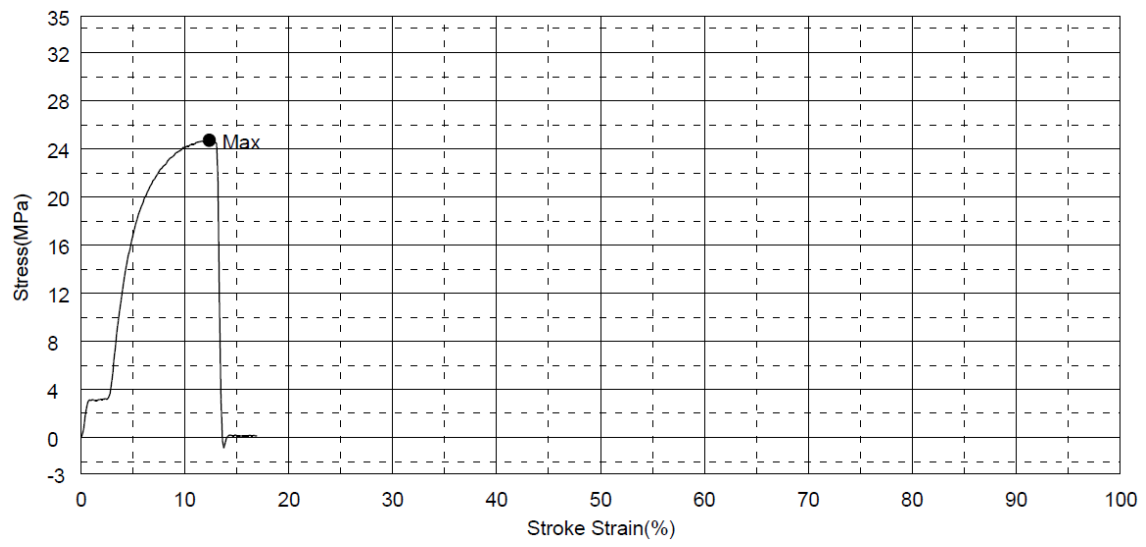
RC-PE/CNF-MA-20



RC-PE/CNF-MA-30



RC-PE/CNF-MA-50



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Olcay GÜNEY
Doğum Tarihi	: 1990
Yabancı Dil	: İngilizce
Eğitim Durumu	:
Lisans	: Erciyes Üniversitesi / Çevre Mühendisliği / 2013
Yüksek Lisans	: Kırıkkale Üniversitesi / Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı / Devam Ediyor
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar	: AKG Gazbeton İşletmeleri A.Ş./ 2017-2019 Sicim-Yüksel-Akkord Joint Venture / 2015-2017 Aquashine Water and Wastewater Treatment Systems / 2014-2015 Asilpet Petrol Ürünleri Gıda İnş. Taah. Nak. San. Tic. Ltd. Şti./ 2013-2014
Yayınları (SCI)	:
Yayınları (Diğer)	: Güney, O., Doğan, D., Bilici, İ., & Metin, A. Ü. (2021). 3. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu. 179–182, Kırıkkale, Türkiye, 7-9 Ekim.
Araştırma Alanları	: Polimer, Polimerik Kompozit Malzeme