

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KİMYASAL İYİLEŞTİRME İŞLEMİNİN MUZ LİFİ TAKVİYELİ
POLİOKSİMETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Çağdaş GÜNEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Akar DOĞAN

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KİMYASAL İYİLEŞTİRME İŞLEMİNİN MUZ LİFİ TAKVİYELİ
POLİOKSİMETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Çağdaş GÜNEŞ
(220077107)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Akar DOĞAN

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KİMYASAL İYİLEŞTİRME İŞLEMİNİN MUZ LİFİ TAKVİYELİ
POLİOKSİMETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Çağdaş GÜNEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 18/05/ 2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Doc. Dr. Yılmaz KİSMET
(Munzur Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza

Doç. Dr. Akar DOĞAN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ARIKAN
(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu” ndaki hükümlere tabidir.

....../....../20....

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Çağdaş GÜNEŞ

Danışman
Doç. Dr. Akar DOĞAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda, akademik danışmanlığımı yapan, bu süreçte her türlü desteği ve yardımı sağlayan Danışman hocam Doç. Dr. Akar DOĞAN' a teşekkür ederim.

Ayrıca deneysel çalışmalarda yardımını esirgemeyen Munzur Üniversitesi Isı Merkezi personeli olarak görev yapan çalışma arkadaşlarıma, analiz çalışmalarında bize yardımcı olan Doç Dr. Ragıp ADIGÜZEL'e, Öğr. Gör. Tarık BAYDAR' a, Dr. Öğr. Üyesi Yeliz İPEK' e ve her daim yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Çağdaş GÜNEŞ

TUNCELİ-2023

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
RESİMLER LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. POLİMERLER	3
2.1. Polioksümetilen (POM)	4
3. KOMPOZİT MALZEMELER	6
3.1. Kompozit Malzeme Türleri	7
3.2. Matris Malzemesi	8
3.2.1. Termoplastik Matrisler	8
3.2.2. Termoset Matrisler	9
4. KOMPOZİTLERDE DOĞAL LİF KULLANIMI	10
4.1. Doğal Liflerinin Kimyasal Bileşimi	13
4.2. Doğal Liflerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	14
4.3. Doğal Liflere Uygulanan Yüzey İşlem Yöntemleri	15
4.3.1. Fiziksel Yöntemler	16
4.3.1.1. Plazma Tedavisi	17
4.3.1.2. Ultrason Modifikasyonu	17
4.3.1.3. Ultraviyole Modifikasyonu	18
4.3.2. Kimyasal Yöntemler	18
4.3.2.1. Alkali Muamelesi	18
4.3.2.2. Silan Tedavisi	19
4.3.2.2.1. Silan Yapıları	21
4.4. Doğal Lifler İçeren Kompozitlerle Yapılan Çalışmalar	22
4.5. Muz Lifi	24
5. MALZEME VE YÖNTEM	27
5.1. Kompozit Numune Üretimi	27
5.2. Muz Lifinin İşlenmesi	27
5.3. Liflere Alkali Muamelesi (NaOH)	28
5.4. Ekstrüzyon Yöntemi ile Homojen Karışım Üretimi	29
5.5. Polimerlerin Mekanik Testleri için ASTM ve ISO Standartları	31
5.6. Enjeksiyon Yöntemi ile Numune Üretimi	32
5.7. Üretilen Numunelerin Analizi	34
5.7.1. Erime Akış İndeksi (MFI)	34
5.7.2. Çekme Testi	35
5.7.3. Üç Nokta Eğilme Testi	36
5.7.4. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) – (EDS) Analizi	37

5.7.5. Termogravimetrik Analiz Yöntemi	38
5.7.6. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) Analizi	38
6. BULGULAR	40
6.1. Eriyik Akış İndeksi (MFI) Test Sonuçları	40
6.2. Çekme Testi Sonuçları.....	41
6.3. Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları.....	46
6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları	50
6.5. Termogravimetrik Analiz (TGA/DTA) Sonuçları.....	51
6.6. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) Analizi Sonuçları.....	54
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
8. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kuantum kimyasal hesaplama ile polimer yapılar (Beć ve ark., 2021).	3
Şekil 3.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması (Otani ve ark., 2014)	8
Şekil 4.1. Doğal liflerin menşesine göre sınıflandırılması (Sparnins, 2009)	10
Şekil 5.1. ISO 527 standart test numune boyutları	31
Şekil 6.1. Saf ve farklı işlem türlerine göre %3 muz lifi takviyeli malzemelerin çekme Kuvvet-Uzama eğrileri	42
Şekil 6.2. Farklı işlem türlerine göre %6 muz lifi takviyeli malzemelerin çekme Kuvvet-Uzama eğrileri	42
Şekil 6.3. Farklı işlem türlerine göre %9 muz lifi takviyeli malzemelerin çekme Kuvvet-Uzama eğrileri	43
Şekil 6.4. Numunelerden elde edilen çekme mukavemetinin ortalama değerleri ve standart sapmaların değişimi	44
Şekil 6.5. Saf ve farklı işlem türlerine göre %3 muz lifi takviyeli malzemelerin üç-nokta eğilme testi Kuvvet-Çökme eğrileri	46
Şekil 6.6. Farklı işlem türlerine göre %6 muz lifi takviyeli malzemelerin üç-nokta eğilme testi Kuvvet-Çökme eğrileri	47
Şekil 6.7. Farklı işlem türlerine göre %9 muz lifi takviyeli malzemelerin üç-nokta eğilme testi Kuvvet-Çökme eğrileri	47
Şekil 6.8. Numunelerden elde edilen eğilme mukavemetini ortalama değerleri ve standart sapmalarının değişimi	48
Şekil 6.9. İşlem görmemiş ve alkali işlemi görmüş kompozit malzemelerin SEM görüntüleri	50
Şekil 6.10. Saf POM ve %3 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin TGA eğrileri	52
Şekil 6.11. Saf POM ve %3 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin DTA eğrileri	52
Şekil 6.12. %9 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin TGA eğrileri	53
Şekil 6.13. %9 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin DTA eğrileri	53
Şekil 6.14. Alkali muamelesiz, %2,5 NaOH muameleli ve %5 NaOH muameleli muz liflerine ait FTIR spektrumları	54
Ek Şekil 1. Saf POM 1-2-3. Numune çekme testi grafiği	67
Ek Şekil 2. %3 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	67
Ek Şekil 3. %3 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	68
Ek Şekil 4. %3 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	68
Ek Şekil 5. %6 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	69
Ek Şekil 6. %6 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	69
Ek Şekil 7. %6 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	70
Ek Şekil 8. %9 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	70
Ek Şekil 9. %9 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	71
Ek Şekil 10. %9 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği	71
Ek Şekil 11. Saf POM 1-2-3. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	72
Ek Şekil 12. %3 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	72
Ek Şekil 13. %3 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	73
Ek Şekil 14. %3 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	73
Ek Şekil 15. %6 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	74

Ek Şekil 16. %6 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	74
Ek Şekil 17. %6 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	75
Ek Şekil 18. %9 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği.....	75
Ek Şekil 19. %9 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	76
Ek Şekil 20. %9 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği	76
Ek Şekil 21. Saf POM TGA/DTA testi grafiği	77
Ek Şekil 22. %3 POM-ML İşlemsiz TGA/DTA testi grafiği	77
Ek Şekil 23. %3 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği	78
Ek Şekil 24. %3 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği	78
Ek Şekil 25. %9 POM-ML İşlemsiz TGA/DTA testi grafiği	79
Ek Şekil 26. %9 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği	79
Ek Şekil 27. %9 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği	80

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. POM reçinelerinin temel avantaj ve dezavantajları (URL-1, 2022).....	5
Tablo 4.1. DLK avantajları ve dezavantajları (Pickering ve ark., 2016)	12
Tablo 4.2. Bitki liflerinin kimyasal bileşimi (Park ve ark., 2010)	13
Tablo 4.3. Doğal liflerin fiziksel özellikleri (Latif ve ark., 2019)	14
Tablo 4.4. Doğal liflerin mekanik özellikleri (Ho ve ark., 2012)	15
Tablo 4.5. Farklı çaplardaki muz liflerinin mekanik özellikleri (Kulkarni ve ark. 1983)	24
Tablo 5.1. Deneyde kullanılan NaOH özellikleri (URL-2).	28
Tablo 5.2. Üretilen test numune sayıları.....	33
Tablo 6.1. Numunelerden elde edilen MFI sonuçları	40
Tablo 6.2. Numunelerden elde edilen çekme testi sonuçları	45
Tablo 6.3. Numunelerden elde edilen eğilme testi sonuçları.....	49

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Kompozit malzemelerden üretilen uçak kanadı (URL-5, 2022).....	6
Resim 4.1. Kurutulmuş işlenmiş doğal lif görünümü (URL-6, 2022)	11
Resim 4.2. Muz lifi görseli, (URL-7, 2022).....	25
Resim 5.1. Muz liflerinin hazırlanması.....	27
Resim 5.2. Muz liflerine NaOH muamelesi uygulaması	29
Resim 5.3. Etüv ile nem alma işlemi	29
Resim 5.4. Ekstrüzyon yöntemi ile homojen karışım üretimi.....	30
Resim 5.5. Ekin 100 Orion enjeksiyon makinesi	32
Resim 5.6. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen standart çekme test numunesi	33
Resim 5.7. MFI test cihazı	34
Resim 5.8. MFI testi sonrası elde edilen numuneler.....	35
Resim 5.9. Numunelere çekme testi uygulaması	36
Resim 5.10. Numunelere üç nokta eğilme testi uygulaması	36
Resim 5.11. Hitachi Su 3500 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve numune kaplama.....	37
Resim 6.1. Çekme deneyine tabi tutulmuş kompozit malzemeler	43

SEMBOLLER LİSTESİ

°C	: Santigrat derece
cm ³	: Santimetre küp
Δ	: Şehim miktarı
dk	: Dakika
E	: Elastisite modülü
Σe	: Eğilme gerilmesi
g	: Gram
Me	: Eğilme momenti
mm ²	: Milimetre kare
Mpa	: Mega Paskal
N	: Newton
v/v	: Hacimsel Oran

KISALTMALAR LİSTESİ

ABS	: Akrilonitril Butadien Stiren
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DLK	: Doğal Lif Kompozit
DTA	: Difarensiyel Termal Analiz
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
EVAC	: Etilen-Vinil Asetat
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
MFI	: Erime Akış İndeksi
ML	: Muz Lifi
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
PC	: Polikarbonat
PD	: Polimerleşme Derecesi
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Tetraftalat
PMMA	: Polimetilmetakrilat
POM	: Polioksimetelin
PP	: Polipropilen
PS	: Polistren
PVC	: Polivinil Klorür
TPU	: Termoplastik Poliüretan
TGA	: Termogravimetrik Analiz
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

ÖZET

Günümüzde atık malzemelerin tekrar kullanılması ve bu şekilde alternatif ürünler geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu noktada gelişen teknolojiyi kullanarak, içinde yaşadığımız doğaya zarar vermeden geri dönüşüm ile insan ihtiyaçlarını karşılayabilecek malzemeler geliştirmek gerekmektedir. Petrol bazlı ve cam elyaf gibi takviye malzemelerin üretimi, önemli miktarda sera gazının atmosfere salınımına neden olmaktadır. Geri dönüştürülebilen, biyolojik olarak parçalanabilen ve yenilenebilir olan çevre dostu yeşil malzemelerin kullanımının son zamanlarda petrol bazlı malzemelerin çevresel etkisini azalttığı düşünülmektedir. Bu tip kompozit malzemeler ömürlerinin sonunda çevreye zarar vermeden bertaraf edilebilmektedir.

Gün geçtikçe, kompozit malzemelerde doğal liflerin takviye ve dolgu malzemesi olarak kullanımı artmaktadır. Bu lif türleri güçlü, hafif, ucuz ve sürdürülebilirdir. Doğal lifler, yüksek mukavemet ve elastiklik modülü gibi mekanik özelliklerin gerekli olmadığı durumlarda pahalı ve sürekliliği olmayan sentetik liflerin yerine bir alternatif olabilir. Doğal lifleri, polimerlerde (termoplastik ve termoset) takviye malzemesi olarak kullanarak, tüketilen malzemelerin nihai bertarafı sonucu iyi çevresel faydalara sahip yeşil malzemeler üretmek mümkündür. Bu nedenle, son birkaç yılda, kompozit malzemelerde geleneksel sentetik liflerin doğal liflerle değiştirilmesinin fizibilitesini araştıran bazı çalışmalar yapılmıştır.

Bu tezin amacı, günlük hayatta birçok alanda kullanılan termoplastik matrisli kompozit malzemelerde cam elyaf, karbon elyaf gibi sentetik takviye elemanı yerine doğal bir ürün olan muz lifi kullanılarak geri dönüşüme uygun kompozit malzeme elde etmektir. Matris malzemesi olarak Polioksümetilen (POM), termoplastik kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak ise ağırlıkça %3, %6 ve %9 oranlarında doğal muz lifi kullanılmıştır. Ayrıca muz lifine alkali muamelesi ile kimyasal iyileştirmeler yapılarak kompozit malzemenin mekanik ve ısı özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Muz lifi, doğal lif kompozit, alkali muamelesi, polioksümetilen.

ABSTRACT

Investigation of Influence of Chemical Remediation on the Mechanical and Thermal Properties of Banana Fiber Reinforced Polyoxymethylene Composites

Today, it is of great importance to reuse waste materials and to develop alternative products in this way. At this point, it is necessary to develop materials that can meet human needs by using the developing technology, without harming the nature we live in. The production of reinforcing materials such as petroleum-based and glass fiber causes a significant amount of greenhouse gases to be released into the atmosphere. The use of environmentally friendly green materials, which are recyclable, biodegradable and renewable, has recently been considered to reduce the environmental impact of petroleum-based materials. This type of composite materials can be disposed of at the end of their life without harming the environment.

The use of natural fibers as reinforcement and filling material in composite materials is increasing day by day. These types of fiber are strong, light, inexpensive and sustainable. Natural fibers can be an alternative to expensive and discontinuous synthetic fibers where mechanical properties such as high strength and modulus of elasticity are not required. By using natural fibers as reinforcing material in polymers (thermoplastic and thermoset), it is possible to produce green materials with good environmental benefits as a result of the final disposal of the consumed materials. Therefore, in the last few years there have been some studies investigating the feasibility of replacing traditional synthetic fibers with natural fibers in composite materials.

The aim of this thesis is to obtain a composite material suitable for recycling by using a natural product, banana fiber, instead of synthetic reinforcing elements such as glass fiber and carbon fiber in thermoplastic matrix composite materials used in many areas in daily life. Polyoxymethylene (POM), thermoplastic was used as matrix material. Natural banana fiber was used as a reinforcement material at the rates of 3%, 6% and 9% by weight. In addition, it is aimed to improve the mechanical thermal properties of the composite material by making chemical improvements with alkali treatment of the banana fiber.

Key Words: Banana fiber, natural fiber composite, alkali treatment, polyoxymethylene.

1. GİRİŞ

Günümüz toplumunun iki ana çevresel hedefi iklim değişikliğine karşı mücadele ve sürdürülebilir kalkınmadır. 2019'da yıllık 3132 milyon ton CO₂ eşdeğeri emisyon üretildiği hesaplanmıştır (Avrupa Çevre Ajansı, 2021). Avrupa, 2030 yılına kadar emisyonlarda %55'lik bir azalma ve 2050'de iklim açısından nötrlük hedeflemektedir, bu da enerjinin karbonsuzlaştırılması ile mümkün olacaktır (Avrupa Parlamentosu, 2021).

2022 yılında yayınlanan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) raporuna göre Dünya, yirmi yıl öncesine göre iki kat daha fazla plastik atık üretiyor. Bunların çoğu çöplükte son buluyor, yakılıyor veya çevreye sızıyor ve yalnızca %9'u başarıyla geri dönüştürülüyor. Rapor içeriğinde, OECD ülkelerinde üretilen plastik atıkların dünya genelinde üretilenin neredeyse yarısına eşdeğer olduğu belirtilmektedir. Her yıl atık olarak nitelendirilen kullanılmış plastik miktarı kişi başına, Amerika Birleşik Devletleri'nde 221 kg, Avrupa OECD ülkelerinde 114 kg ve Japonya ve Kore için ortalama olarak 69 kg olduğu tahmin edilmektedir (OECD, 2022).

Spesifik olarak Avrupa'da 2020 yılında üretilen enerjinin %24'ünün imalat sanayiinde tüketildiği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, daha verimli ve sürdürülebilir üretim süreçleri arayışı ve daha verimli ürünlerin geliştirilmesi, endüstrilerin rekabet gücünü ve ticari sonuçlarını artırarak sürdürülebilirliği iyileştirmeyi mümkün kılmıştır. Fakat piyasanın ihtiyaç duyduğu üretimin her geçen gün artması ile sarf edilen enerji artışını dengelemek sürdürülebilirlik açısından yeterli değildir (Bordón ve ark., 2022).

Polimer matrisli kompozit malzemeler günümüzde otomotiv, havacılık, uzay endüstrileri gibi birçok sektörde sıklıkla kullanılmaktadır. Polimer esaslı kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek dayanım-ağırlık oranları sayesinde birçok sektörde geleneksel metallerin yerini almışlardır Termoplastik malzemeler endüstride her türlü ürünün imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır (Doğan ve Kısmet, 2021). 2019'da polivinil klorür (PVC), Polietilen (PE) ve polipropilen (PP) plastiklerinin kullanımı, Avrupa'da 57,9 milyon ton ile kullanılan plastiklerin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır (Plastics Europe, 2020). Bu nedenle, termoplastiklerle üretilen ürünlerin tasarım aşamasından itibaren optimize edilmesi çok önemlidir. Sürdürülebilirlik ve ekonomik yönlerden daha düşük etkili malzemelerin üretimine dahil edilmesi, bağlayıcı ajanlarının kullanılması veya ürünün takviyelerle optimizasyonu,

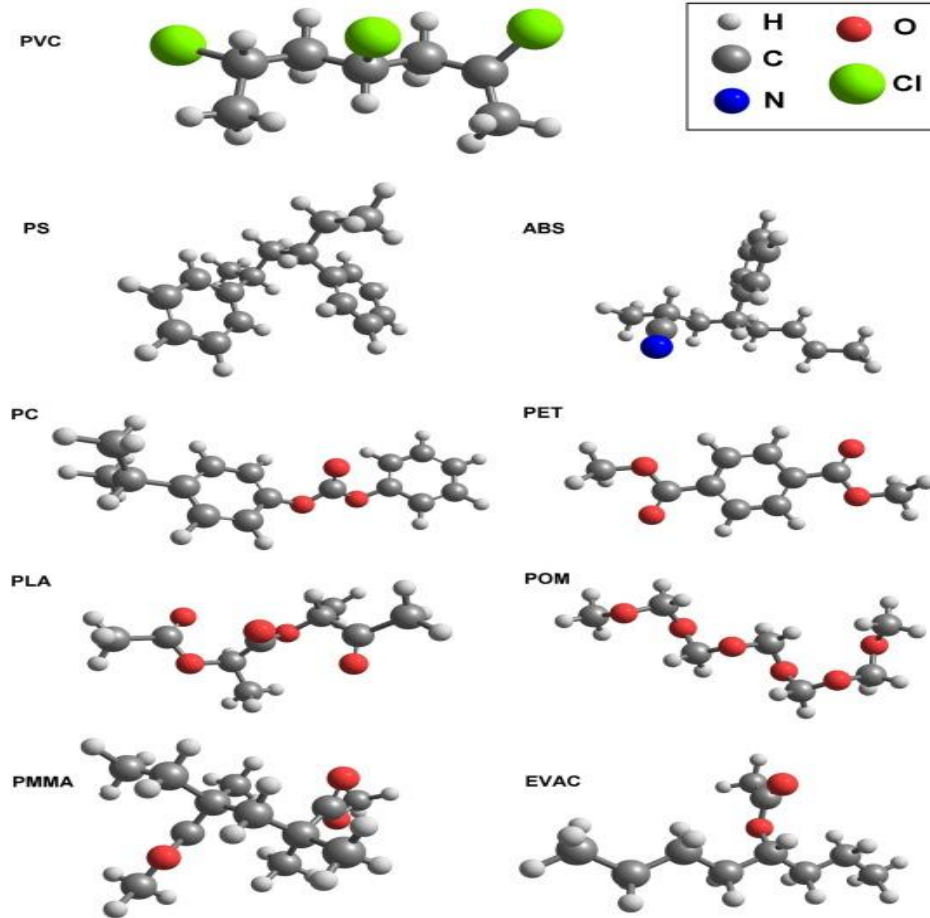
işlenmemiş malzeme miktarını azaltabilen, ürünün işlevselliğini koruyan ve toplam etkisini azaltan çözümlerdir (Bordón ve ark., 2022).

Doğal lifler günümüzde biyobozunur olması, toksik olmama, geri dönüştürülebilirlik ve hafiflik gibi önemli özelliklerinden dolayı kompozitlerde takviye olarak kullanımı önemli bir rol oynamaktadır. Doğal lifler büyük ölçüde selüloz, hemiselüloz, lignin, pektinler ve mum dan oluşmaktadır. Ayrıca kristal yapıları ve selülozun doğal yapısı gereği güçlü bir yapıya sahiplerdir. Doğal lifler genel olarak bitkilerin yaprak, meyve, tohum, ot, ipek, ağaç, saksı ve gövdelerinde bulunur. Hindistan cevizi, bambu, muz, keten, jüt, kenevir, kenaf, rami, küspe, saman, roselle, pirinç kabuğu, çimen, raphia, ananas yaprağı lifleri vb. doğal lifler ile birçok araştırma çalışması yapılmaktadır. Doğal lif içerikli kompozitler cam elyaf-karbon elyaf gibi sentetik elyaf takviyeli kompozitlerden çevresel açıdan üstündür (Parre ve ark., 2020).

Çevresel etkiler, kullanılabilirlik ve ekonomi yönlerinden doğal liflerin polimer kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılmasının faydaları birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu tez çalışmasının amacı, termoplastik-doğal lif kompozit malzemesi (DLK) deneysel yöntemlerle analiz edilerek doğal lif takviyesinin avantaj veya dezavantajlarını tespit etmek, alkali kimyasal iyileştirmenin kompozit malzemenin özelliklerine olan etkisinin tespiti hedeflenmektedir. Bu tez çalışmasında matris malzemesi olarak POM, takviye malzemesi olarak ise kısa muz lifleri kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemeti gibi mekanik özelliklerinin muz lifi oranı ile değişimi araştırılmıştır. Ayrıca, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA) deneyleri yapılarak malzemelerin termal özellikleri incelenmiştir.

2. POLİMERLER

Polimerler, fonksiyonel malzemelerin üretimi ve mühendisliği için ideal yapı taşlarıdır (Zheng, 2021). Tanım olarak polimer, monomer olarak adlandırılan basit kimyasal yapıların daha büyük molekül yapısı oluşturmak üzere kovalent bağ ile birbirine bağlanması sonucu oluşan sentetik ya da doğal maddelerdir. Polimer kelimesi, birden çok monomer birimini ifade eder. Polimerler, farklı kimyasal bileşime veya moleküler ağırlığına ve yapısına sahip monomerlerden oluşabilirken bazı doğal polimer yapıları tek tür monomerden oluşur. Bununla birlikte, çoğu doğal ve sentetik polimer, Şekil 2.1. de görüldüğü gibi, iki veya daha fazla farklı monomer yapısına sahiptir (Gregersen, 2021).



Şekil 2.1. Kuantum kimyasal hesaplama ile polimer yapılar (Beć ve ark., 2021).

Beć ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada; Şekil 2.1. incelenen polimerlerin yapılarını temsil eden modeller hazırlanmıştır. Yakın kızılötesi (SEM) spektroskopisi, polimerleri içeren çeşitli uygulamalarda değerli bir analitik araçtır. Burada, akrilonitril bütadien stiren (ABS), etilen-vinil asetat (EVAC), polikarbonat (PC), polietilen tereftalat (PET), polilaktid veya polilaktik asit (PLA), polimetilmetakrilat (PMMA), polioksimetilen (POM), polistiren (PS) ve polivinilklorür (PVC) olmak üzere dokuz polimerin NIR spektrumunu simüle etmek için anharmonik kuantum kimyasal hesaplamaları kullanılmıştır (Beć ve ark., 2021).

Doğal olarak oluşan polimerler arasında bağa, hayvan boynuzu, katran, gomalak, selüloz, kehribar ve ağaç özünden lateks bulunur. Sentetik polimerler günlük hayatta kullanılan birçok malzeme ve ürünün hammaddesidir. Örnek olarak plastik torbalar polietilen (PE), strafor bardaklar (PS), şişeler ve lifler polipropilen (PP), gıda ambalajı ve drenaj boruları (PVC) ve yapışmaz yüzey ürünlerde politetrafloroetilen veya teflon polimerleri ile üretilmektedir. Plastik ürünlerin üretimi için kullanılan hammaddeye reçine denir. Bahsi geçen (PE), (PET), (PP), (PVC) reçineleri en çok kullanılan matris malzemelerden bazılarına örnek verilebilir (Science History İnstitute, 2022).

2.1. Polioksimetilen (POM)

Polioksimetilen (POM), kristallliği %70' in üzerinde olan kristalli bir polimer malzemedir. Kimyasal yapısındaki güçlü C-O bağ yapısıyla POM, kararlı kimyasal özelliklere ve yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Ayrıca yüksek darbe direnci ve uzun süreli dayanım gibi mekanik özellikleri de göstermektedir (Lin ve ark., 2022).

POM reçineleri üretimde genellikle granül formda tedarik edilir ve enjeksiyon, ekstrüzyon yöntemleri gibi ısı ve basınç uygulanarak istenilen şekilde kalıplanabilir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemlerinin yanı sıra rotasyonel döküm veya üflemleri kalıplama yöntemi gibi diğer termoplastiklere uygulanan tüm yöntemlerle de şekillendirilebilmektedir. Ancak enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri, üretimde POM işleme için en çok tercih edilen yöntemlerdir. POM reçineleri higroskopik (su tutma) yapıya sahip olduklarından kalıplama işlemi öncesinde kurutulmaları gerekmektedir. Kalıplama sıcaklığı 190 – 230° C aralığındadır. Enjeksiyon kalıplama için işleme koşulları; Erime sıcaklığı homopolimer reçineler için 180-230°C, kopolimer reçineler için 190-210°C, Enjeksiyon basıncı ise 70-120 MPa' dır.

Ekstrüzyon işleme koşulları, erime sıcaklığı 180-230°C, kalıp sıcaklığı ise 175-230°C’ dir. POM reçineleri, mekanikten fiziksel performansa ve yanıcılık performansına kadar değişen iyi dengelenmiş özellikler gösterir (URL-1, 2022).

Tablo 2.1. POM reçinelerinin temel avantaj ve dezavantajları (URL-1, 2022)

POM Avantajları	POM Dezavantajları
-140°C'ye kadar, -40°C'ye kadar sıcaklık aralığında mükemmel mekanik özellikler. -Yüksek çekme mukavemeti, rijitlik ve tokluk (kısa süreli). -Düşük sürünme eğilimi (naylona kıyasla) ve yorulma (uzun süreli). Çevresel stres çatlamasına karşı düşük duyarlılık. -Yüksek derecede kristallik ve mükemmel boyutsal kararlılık. -Yüksek aşınma direnci. -Düşük sürtünme katsayısı. -Oda sıcaklığında organik çözücülere ve kimyasallara (fenoller hariç) karşı iyi direnç. -Düşük duman emisyonu. -Çok parlak yüzeyler.	-Güçlü asitlere, bazlara ve oksitleyici maddelere karşı zayıf direnç. -Yüksek oksijen içeriği nedeniyle alev geciktiriciler olmadan kolayca yanabilme özelliği. -Uygun dengeleyici sistem olmadan zayıf termal kararlılık. -Sınırlı işleme sıcaklığı aralığı. -Yüksek kalıp büzülmesi. -UV ışınlarına karşı zayıf direnç. Uzun süreli maruz kalma renk değişimine, kırılma yapmaya ve güç kaybına yol açar. -Düşük yüzey enerjisi ve dolayısıyla yüzey işlemi olmadan bağlanması zor.

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile son ürünün, onu oluşturan malzemelerin her birinin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip malzeme olarak tanımlanabilir. Kompozit malzemeler yaygın olarak reçine dediğimiz bir matris malzemenin içeriğine, dolgu veya takviye olarak adlandırılan ikinci bir malzeme ile düzenlenmesi olarak adlandırılmaktadır. Matris ve takviye malzemeleri, metal, seramik veya plastik esaslı materyaller olabilir, bu da birçok ürün çeşidi kombinasyonunun yapımına olanak sağlar (Devnani, ve Sinha, 2019). Kompozit malzeme, sürekli fazlara dahil edilen bir veya daha fazla süreksiz fazın birleşimi ile meydana gelmektedir. Sürekli fazı matris ve süreksiz fazı ise takviye veya dolgu malzemesi temsil eder. Kompozit malzemelerin bileşenlerinin seçiminde birbirini fiziksel ve mekanik yönlerden tamamlayıcı özelliklere sahip bileşenler olmaları istenmektedir. Bir polimer matrisine yüksek gerilme mukavemetine sahip takviyelerinin eklenmesi, mekanik ve termal kalitelerinin iyileştirilmesini mümkün kılar (Hsissou ve ark., 2021).

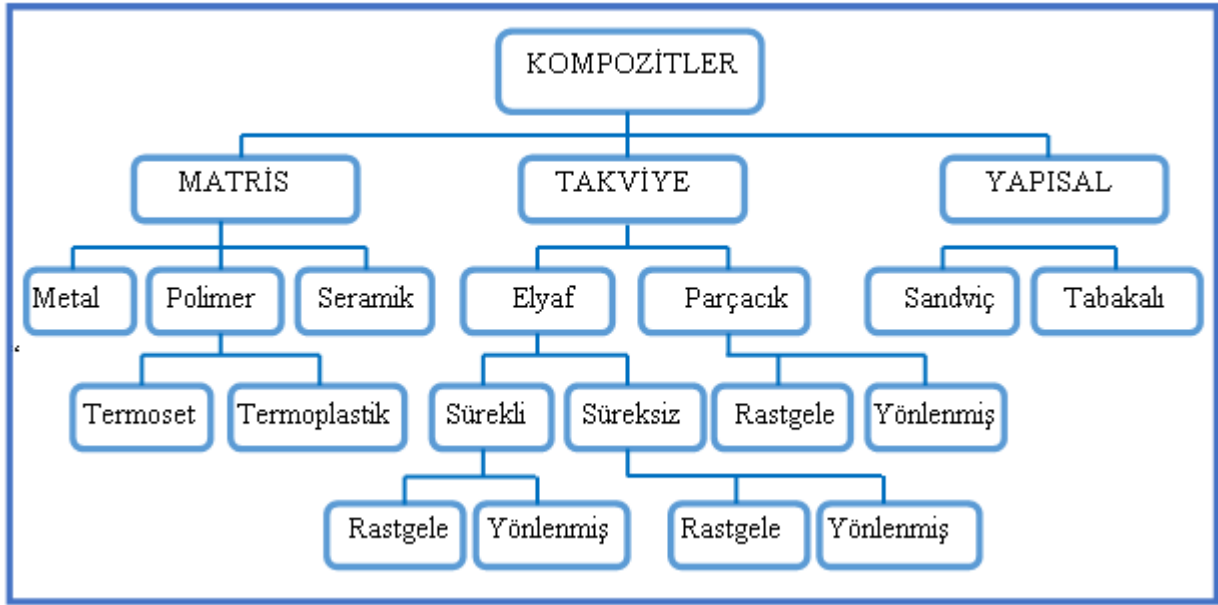


Resim 3.1. Kompozit malzemelerden üretilen uçak kanadı (URL-5, 2022)

Çoğu kompozit, daha zayıf ve daha az sert olan bir matriste güçlü, sert liflere sahiptir. Burada amaçlanan genellikle düşük yoğunluklu, dayanımı yüksek bir malzeme meydana getirmektir. Resim 3.1’de kompozit malzemelerden meydana gelmiş bir uçak kanadı verilmiştir. Üretilen polimer kompozitlerin birçoğunda epoksi veya polyester reçineler gibi ısıyla sertleşen polimer matrisler ve cam ve karbon gibi sentetik elyaflar takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bazen termoplastik polimerler, ilk üretimden sonra kalıplanabilir oldukları için tercih edilebilir. Ayrıca, bu kompozitlerde elyafların (veya bazı durumlarda parçacıkların) eklenmesinin nedenleri; örneğin, sürünme, aşınma, kırılma tokluğu, termal stabilite vb. özelliklerini iyileştirme çabalıdır. Kompozit malzemeler, ilk ortaya çıktıklarından bu yana büyük bir gelişme göstermiştir. Bununla birlikte, kompozit malzemelerin sürdürülebilir bir çevrenin parçası olarak geleneksel malzemelere alternatif olarak kullanılabilmesi için birtakım ihtiyaçlar devam etmektedir. (Masuelli, 2013).

3.1. Kompozit Malzeme Türleri

Kompozit malzemeyi tanımlarken yapısındaki bileşenlerin özellikleri, takviye malzemesinin geometrisi ve dağılımı ve matris-takviye arayüzünden elde edilecek yeni özellikler gibi üç olguyu belirtmek gerekmektedir. Kompozit malzeme bu nedenle farklı birçok etkenden bir yapı türüdür. Etkenlerin çokluğu sonsuz sayıda kombinasyon imkânı sağlamaktadır. Matrisin doğası, takviye malzeme türleri, formülasyona giren katkı maddeleri ve bu elementlerin nispi miktarlarının yanı sıra uygulama süreci de bitmiş ürünün özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Kompozit malzeme formülasyonunun ana bileşenlerini matrisler, lifler ve katkı maddeleri veya dolgular olarak tanımlayabiliriz (Hsissou ve Elharfi, 2020)



Şekil 3.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması (Otani ve ark., 2014)

3.2. Matris Malzemesi

Matris termoplastik, termoset ve/veya elastomer tipte olabilir. Matris malzemesinin görevi, takviye lifleri ile birbirine bağlanmak, yapısal kısıtlamaları dağıtmak, yapının kimyasal direncini artırmak ve nihai üründe istenen şekli sunmaktır. Matris seçimi, kompozit malzemenin kullanım amacına bağlı olarak belirlenir (Zheng ve ark., 2019). Bu çalışma kapsamında tanımlanan kompozit malzemeler, polimer matrislerden oluşan malzemelerle sınırlanmıştır.

3.2.1. Termoplastik Matrisler

Termoplastik matrisler, nihai ürün eldesi sonrasında tekrar eriyik halde dönüştürülebilen doğrusal zincirlere sahip biçimlerde. Genellikle imalat işleminde, termoplastik matrisler önce ısıtılır, ardından enjeksiyon, ekstrüzyon veya ısıl şekillendirme yöntemleri kullanılarak kalıplama, yoluyla oluşturulurlar. Böylece bitmiş ürün şeklini korur. Bu işlem tersine çevrilebilir. Günlük hayatta karşılaştığımız, kullandığımız çok çeşitli ilginç özelliklere sahip birçok termoplastik türü vardır. Termoplastikler kullanılarak lastik kadar

esnek, demir kadar sert ve cam kadar şeffaf birçok ürün elde edilebilir. Oksidasyon direnci ve yüksek korozyon direncine sahiptirler, ısı ve elektrik iletkenliği açısından yalıtıkcıdır. Gerek düşük yoğunlukları gerekse yüksek mekanik dayanımları ve çevresel etkilere karşı dirençleri nedeniyle termoplastikler birçok uygulamada tercih edilen bir malzemelerdir. (Hsissou ve ark., 2021).

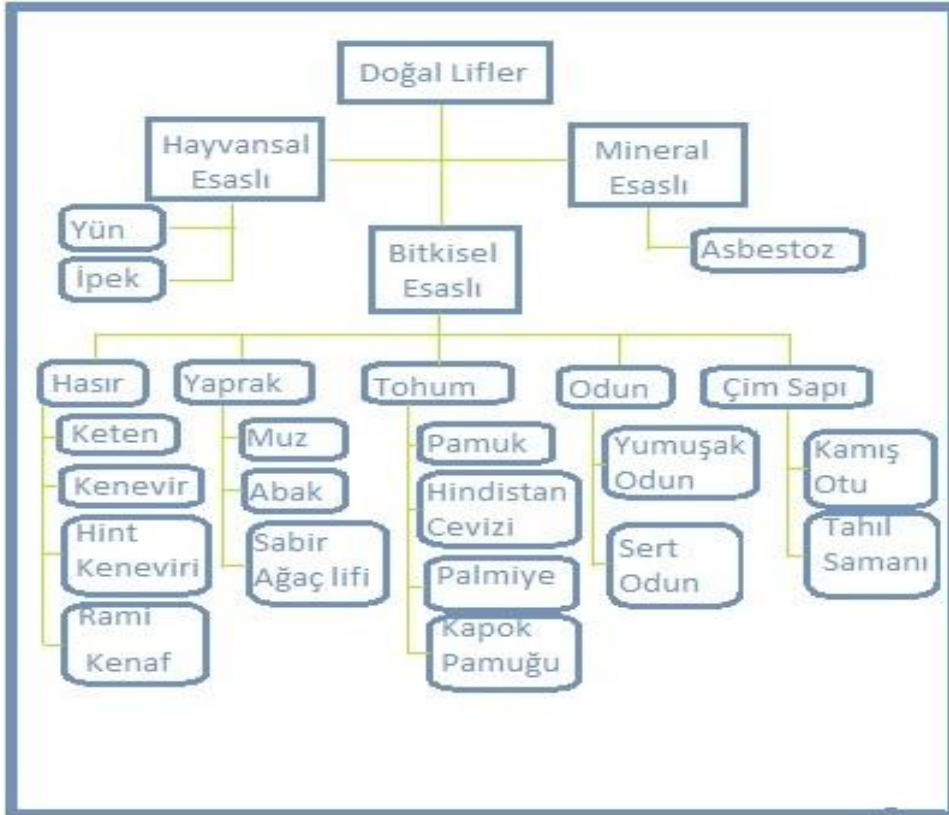
Otomotiv ve havacılık endüstrileri, yakıt verimliliğini artırmak için hafif bileşenlerin geliştirilmesine yönelik sürekli bir mücadele içindedir. Termoplastik matris kompozitler, ağırlık azaltma, geri dönüştürülebilirlik, özgül güç, korozyon direnci, maliyet verimliliği ve tasarım gibi çok yönlülüğü açısından belirgin avantajlar sunar (Awais ve ark., 2021).

3.2.2. Termoset Matrisler

Termoset plastik matrisler genelde oda sıcaklığında sıvı fazdadırlar, proses sırasında ısı ve sertleştirici adı verilen katkı maddelerinin etkisi altında katılaşır. Bu şekilde ısıtma ile moleküller arasında çok güçlü bir bağ ve kimyasal bir modifikasyon oluşarak dönüştürülürler. Bu işlem geri döndürülemez ve bu şekilde işlenen malzeme eritilemez ve çoğu çözücüde (alkoller, ketonlar ve hidrokarbonlar) çözünmez hale gelirler. Genellikle, termoplastik matrislere kıyasla daha rijit yapıya sahiptirler. Sürünmeye karşı daha yüksek direnç gösterirler ve kısa, uzun veya dokuma lifli büyük parçaların kalıplanmasında tercih edilen malzemelerdir. Yaygın olarak kullanılan termoset matrislere polyesterler, epoksi reçineler, fenoplastlar, poliüretanlar ve poliamidler örnektir. (Saba ve Jawaid, 2018).

4. KOMPOZİTLERDE DOĞAL LİF KULLANIMI

Doğal liflerin yapısında genel olarak yaklaşık %60-70 selüloz, %10-20 lignin ve bunların dışında pektinler, mumlar vb. maddeler bulunur. Selüloz içeriği sayesinde lifler, kristal yapısı ve β -4 bağlı D-glukan zincirli yapısına sahiptirler ve bu şekilde yüksek performanslı mühendislik malzemeleridirler. Kevlar ve benzeri kristalli selüloz yapısı Young modülü potansiyel olarak çelikten bile daha güçlüdür. Liflerdeki hemiselüloz yapıları kısa ve dallı zincirler halinde olması nedeniyle amorf yapıya sahiptirler. Lignin, temel olarak bitki lif hücrelerine sertlik kazandıran bir 3D kopolimerdir. Büyük ölçüde selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan doğal lif, lignoselülozik lif adını almıştır. Doğal liflerin aranan mekanik dayanımlara sahip oldukları, hafif ve maliyet dostu malzemeler oldukları bilinmektedir, bu durum doğal liflerin, sentetik lifli malzemelere göre daha çok tercih sebebidir (Gupta ve ark.. 2021).



Şekil 4.1. Doğal liflerin menşesine göre sınıflandırılması (Sparnins, 2009)

Doğal lifler farklı türleri ve örnekleri sınıflandırılarak Şekil 4.1.'de sunulmaktadır. Asbest yüksek kanserojen özelliğinden dolayı bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Hayvansal kökenli lifler de bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Kurutulup işlenmiş bir muz lifi Resim 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Kurutulmuş işlenmiş doğal lif görünümü (URL-6, 2022)

Doğal lifler kullanılarak oluşturulan kompozit malzemeler, yüksek dayanımı, düşük maliyeti ve daha da önemlisi kolay elde edilebilirlikleri nedeniyle araştırmacılar için cazip hale gelmiştir (Arumugam ve ark., 2021). Dünyada bitki olarak yetiştirilen sisal, bambu, bamya, ananas, jüt, muz, hindistancevizi, palmye, keten, kenevir gibi çeşitli doğal lif türleri ve bunlardan elde edilen lifler özellikle polimerde takviye olarak kullanılmaktadır. (Parre ve ark., 2020). Doğal liflerin bahsedilen iyi özellikleri nedeniyle önemli araştırmalar yapılmıştır. Otomotiv, inşaat ve ambalaj endüstrileri gibi endüstriyel sektörlerde geniş uygulama alanı bulunan termoplastiklerin güçlendirilmesinde uygulanmıştır (Ezeh ve ark., 2019).

Elyafın kalite ve mukavemet özellikleri, esas olarak, elyafın çıkarıldığı gövde, yaprak, kabuk kökü vb. gibi bitki kısımlarından etkilenir. Ek olarak, tesisin coğrafi konumu, geliştirilen kompozitlerin özelliklerine karar vermede yardımcı olur. Ayrıca oryantasyon tipine, boyut faktörüne ve lifin kimyasal bileşenlerine de bağlıdır (Vijay ve ark., 2021)

Doğal liflerin kullanımı, düşük yoğunluk, çevre dostu olma, düşük maliyet, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve geri dönüşüm kolaylığı gibi aranan mühendislik özelliklerinin bir sonucu olarak geniş bir kabul görmüştür. Ayrıca yenilenebilir ve yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Bu özellikler onlara sentetik elyaflara göre bir avantaj sağlar (Ernest ve Peter, Nampoothiri ve ark., 2022,2020).

Sentetik polimerik malzemelerin kompozitlerde kullanımı, doğal liflerle karşılaştırıldığında bazı istenmeyen niteliklerinden dolayı doğal lifler küresel olarak henüz fazla ilgi görmemektedir. Doğal liflerin çeşitli avantajları olmasına rağmen, mühendislik uygulamalarında kullanımlarını sınırlayan lignoselülozik lif yapısı ve hidrofil özellikleri ile yüksek nem tutma kapasiteleri gibi özelliklere sahiptirler (Bar ve ark., 2021). Liflerin polimer matrisi ile bu uyumsuzluğu, düşük lif-matris ara yüzey bağ kuvvetine ve liflerin matris reçinesi tarafından zayıf şekilde bağlanmasına yol açar. Bu da genellikle kompozitlerde daha zayıf mekanik özelliklere neden olur. Bununla birlikte, fiziksel veya kimyasal yöntemlerle yapılan yüzey modifikasyonları ile doğal liflerin bu dezavantajları azalma eğilimindedir. Alkali, silan veya asetilen iyileştirme yöntemleri ve aşılama ajanları gibi kimyasallarla yapılan kimyasal modifikasyonların fiber matris yapışmasını iyileştirdiği gösterilmektedir (Motaleb ve ark., 2021). Tablo 4.1’de doğal lif takviyeli kompozitlerin avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 4.1. DLK avantajları ve dezavantajları (Pickering ve ark., 2016)

Avantajları	Dezavantajları
• Düşük yoğunluk ve yüksek özgül mukavemet ve sertlik	• Sentetik fiber kompozitlere göre daha düşük dayanıklılık, ancak işleme önemli ölçüde iyileştirilebilir
•Lifler, üretimi için çok az enerji gerektiren, oksijeni çevreye geri verirken CO ₂ emilimini içeren yenilenebilir bir kaynaktır.	• yüksek nem tutma kapasitesi
• Sentetik elyaflara kıyasla, daha düşük üretim maliyeti	• Sentetik fiber takviyeli kompozitlere kıyasla düşük mukavemet, ve darbe mukavemeti
• Üretim sürecinde düşük tehlike	• Özelliklerin daha fazla değişkenliği

Tablo 4.1. DLK avantajları ve dezavantajları (Pickering ve ark., 2016) devamı

• Isıya maruz kaldığında yakma sırasında düşük karbon emisyonu.	• Matris seçenekleri ile sınırlı düşük işleme sıcaklıkları
• Sentetik fiber kompozitlere kıyasla işleme ekipmanında daha az aşındırıcı hasar	

4.1. Doğal Liflerinin Kimyasal Bileşimi

Bitki liflerinin kimyasal bileşenleri Tablo 4.2’de listelenen selüloz, lignin, hemiselüloz, pektin ve mumdur. Bitki liflerinde, selüloz mikrofibril ağı bir güçlendirici ajan olarak görev yapar ve hemiselüloz/lignin/pektin bileşenleri matris fazı olarak çalışır. Hemiselüloz yapıları, hidrojen bağı ile selüloza bağlanır ve elyafın temel yapısal bileşeni olarak çalışan selüloz mikrofibril yapıları arasında bir bağlayıcı işlevi görür. Bitki liflerindeki bileşenlerin oranları, liflerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler (Latif ve ark., 2019).

Tablo 4.2. Bitki liflerinin kimyasal bileşimi (Park ve ark., 2010)

Doğal Lif	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Mumlar (%)
Keten	70.5	16.5	2.5	0.9	-
Kenevir	81	20	4	0.9	0,8
Henequen	60	28	8	-	0,5
Hindistan cevizi	46	0,3	45	4	-
Bambu	34.5	20.5	26	-	-
Abca	62.5	21	12	0,8	3.0
Alfa	45.4	38,5	14.9	-	2.0
Küspe	37	21	22	10	-
Muz	62.4	12.5	7.5	4	-
Pamuk	89	4	0.75	6	0.6
Curaua	73.6	5	7.5	-	-
Jüt	67	16	9	0,2	0,4
Kenaf	53,5	21	17	2	-
Kapok	13.16	-	-	-	-
İsora	74	-	23	-	1.09
Sisal	60	11.5	8	1.2	-
Ananas	80.5	17.5	8.3	4	-

4.2. Doğal Liflerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Doğal liflerin mekanik özelliklerini etkileyen fiziksel özellikleri Tablo 4.3. 'de listelenmiştir. Doğal liflerin yoğunluğu kompozit malzemelerde kullanım açısından önemli bir fiziksel özelliktir. Bunun nedeni DLK'-lerin mukavemet ağırlık oranı yoğunlukla ters orantılıdır, oysa DLK'-lerin mekanik özellikleri, daha yüksek hacim arandığında fiberlerin en boy oranı ve hacim fraksiyonu ile doğru orantılıdır. Liflerin matris fazına geniş maruz kalma alanı sağlar (Pichandi ve ark., 2018).

Tablo 4.3. Doğal liflerin fiziksel özellikleri (Latif ve ark., 2019)

Lifin Adı	Çap (μ)	Uzunluk (mm)	Yoğunluk (kg/mm^3)	Nem kazancı (%)
Abca	18.2	4.9	1500	14
Alfa	–	–	890	–
Küspe	20	1.7	900	–
Muz	–	2.9	1325	–
Bambu	25	2	1500	–
Hindistan Cevizi	17.5	1.25	1250	13
Pamuk	14.5	42	1550	8.59
Curaua	–	–	1400	–
Keten	20	31.75	1450	12
Kenevir	19.9	11.2	1200	–
Isora	–	–	1200	1.2
Jüt	18.4	2,55	1400	17
Kapok	25	20	384	10.9
Kenaf	19.8	2.35	1300	17
Piyasava	–	–	1400	–
Ananas	50	–	1540	–
Rami	31.55	160	1550	8.5
Sisal	21	2.5	1400	14

Doğal liflerin mekanik özelliklerine aşına olmak gereklidir, çünkü bu özellikler DLK'lerin mekanik özelliklerini yönetir. Tablo 4.4., karşılaştırılabilir özgül mukavemete sahip olmalarına rağmen, bu liflerin mekanik özelliklerinin sentetik liflere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Temelde liflerin mekanik özelliklerini mikrofibril açısı (MFA), selüloz ve hemiselüloz yüzdesi belirler (Sanjay ve ark., 2018).

Tablo 4.4. Doğal liflerin mekanik özellikleri (Ho ve ark., 2012)

Lif Adı	Elyaf Yoğunluğu (g/cm ³)	Uzama (%)	Çekme mukavemeti (MPa)	Young modülü
Pamuk	1,5–1,6	7,0–8,0	287–597	5,5–12,6
Jüt	1,30	1,5–1,8	393–773	26,5
Keten	1,50	2,7–3,2	345–1035	27,6
Kenevir		1,60	690	
Rami		3,6–3,8	400–938	61,4–128
Sisal	1,50	2,0–2,5	511–635	9,4–22
Hindistan Cevizi	1,20	30,00	175	4,0–6,02
Viskon (kordon)		11,40	593	11
Yumuşak Ahşap Kraft	1,50		1000	40
Kenaf		1,50	930	53
Isırgan Otu		1,70	650	38
Abaka			430–760	
Ananas		2,40	170–1627	60–82
Muz		3,00	529–914	27–32
Yün		25–35	120–174	2,3–3,4
Örümcek Ağı		17–18	875–972	11–13
B. Mori İpek	1,33	11,55	208,45	3,82
Bükülmüş B. Mori İpek		20,57	156,27	5,79
Tussah İpeği	1,32	33,48	248,77	5,79

4.3. Doğal Liflere Uygulanan Yüzey İşlem Yöntemleri

Güçlü bir lif matrisi ara yüzey yapışması elde etmek için, liflerin fiziksel veya kimyasal yöntemlerle işlenmesine mutlak bir ihtiyaç vardır. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kullanımı, liflerin fiber ve matris yapıları arasındaki arayüzü optimize eder. Bu iyileştirme

yöntemleri, matris ve fiber yapıları arasındaki yapışma için farklı verimlilikler sunmaktadır (Bledzki ve ark., 1996).

4.3.1. Fiziksel Yöntemler

Doğal liflere uygulanan gerdirme, kalenderleme, ısı işlem ve hibrit ipliklerin üretimi gibi fiziksel yöntemler, lif yapılarının kimyasal bileşimini değiştirmez, ancak liflerin yüzey özelliklerini değiştirerek polimerlere mekanik bağlanmayı seviyesini etkiler. Fiber yüzeyinin fiziksel yöntemle işlenmesinin diğer yolları (korona, soğuk plazma) gibi elektrik deşarj olabilir. Korona işlemi (yüzeye elektron bombardımanı), yüzey oksidasyon aktivasyonu için en ilginç yöntemlerden biridir. Selüloz liflerindeki yüzey enerjisini değiştiren ve ahşap yüzey aktivasyonu durumunda aldehit (hidrojen bağlı karbonil) gruplarının seviyesini artıran bir işlemdir. Kullanılan gazların türüne ve doğasına bağlı olarak, soğuk plazma işlemi kullanılarak çeşitli yüzey modifikasyonları gerçekleştirilebilir, bu da yüzey çapraz bağlanmasını başlatırken, yüzey enerjisi artabilir veya azalabilir ve reaktif serbest radikaller ve gruplar üretilebilir (Sakata ve ark., 1993).

Polipropilen, polistiren, polietilen vb. aktif olmayan polimer substratlar için elektrik deşarj yöntemlerinin çok etkili olduğu bilinmektedir. Selüloz-lif modifikasyonunda, selüloz-polietilen kompozitlerin eriyik viskozitesini azaltmak ve iyileştirmek için başarıyla kullanılırlar. Bir de mercerizasyon (selülözitlerin ön terbiyesi) adı verilen fiziksel bir yöntem de mevcuttur, asıl olarak bu yöntem selüloz elyafının modifiye edilmesinde kullanılan eski bir yöntemdir, pamuklu malzemelerde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Adekunle, 2015).

Lazer tedavisi, ısı işlem, plazma ve argon tedavisi gibi yöntemler de uygulamalarda yaygın olarak görülen tedavilerdir. Fiziksel işlemler, doğal liflerin kimyasal yapılarını etkilemeksizin yüzey koşullarını etkiler. Kimyasal yöntemlere kıyasla bu işlemlerin avantajları, doğal liflerin mekanik, fiziksel ve termal özelliklerinin gelişmiş olmasıdır. Bununla birlikte, fiziksel işlemler kimyasal işlemlerden daha maliyetlidir ve araştırmacılar fiziksel işlemlere göre kimyasal işlemleri tercih etmektedirler (Latif ve ark., 2019).

4.3.1.1. Plazma Tedavisi

Plazma işlemleri, tüpteki iyonize gazın makroskobik hacim ve zamana göre pozitif ve negatif parçacıkların yoğunlukları arasında bir dengeye sahip olduğu elektrik deşarjına bir örnektir (Mukhopadhyay ve Fanguero, 2009). Fiziksel yüzey modifikasyon tedavilerinden plazma yöntemi, etkili bir yöntem olarak kabul edilir. Plazma işleminin, fiber-matriksin termal direncini ve arayüzey dayanıklılığını kimyasal modifikasyon yöntemlerinden daha fazla arttırdığı kanıtlanmıştır. Plazma işleme yöntemi liflerin hidrofobikliğini geliştirir (Gupta ve ark., 2021). Plazma yöntemi, termal ve termal olmayan plazma tedavisi olarak iki şekilde kategorize edilebilir. Plazma işlemleri vakumda veya atmosferik basınçta gerçekleştirilebilir (Mukhopadhyay ve Fanguero, 2009).

4.3.1.2. Ultrason Modifikasyonu

Bir diğer fiziksel yöntem ise lif yapısındaki sakkaritleri ayrıştırmak için ultrason titreşiminin kullanılması şeklinde uygulanan ultrason modifikasyon yöntemidir. Lignoselülozik liflerin ana bileşenleri, doğal liflerin su emmesine neden olan selüloz ve hemiselülozdur. Doğal lifin ultrasonla işlenmesi, sakkaritlerin ayrışmasına yardımcı olur. Ultrason yöntemi farklı sıcaklıklarda uygulanarak lif yapısındaki lignin, pektin, hemiselüloz ve diğer yüzey safsızlıklarını gidererek kompozitlerde daha güçlü fiber-matris ara yüzey yapışmasına sebep olur. Bu yöntem ile kompozitlerde ayrıca işlenmemiş liflere kıyasla daha yüksek termal kararlılık ve daha düşük nem absorpsiyonu gösterdiği bilinmektedir (Islam ve ark., 2013). Chang ve ark. kimyasal arıtma ile ultrason yardımı kombinasyonunun tek başına kimyasal arıtma kullanımından daha etkili olduğunu, kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmede tek başına kimyasal işlemin kullanılmasından daha etkili olduğunu kanıtlamıştır (Chang ve ark., 2009).

4.3.1.3. Ultraviyole Modifikasyonu

Fiziksel yöntemlerden Ultraviyole Modifikasyon (UV) yöntemi, doğal liflerin yüzey modifikasyonu için araştırılan başka bir yöntemdir. UV işlemi, diğer fiziksel yöntemler gibi doğal liflerin kimyasal ve mekanik özelliklerini değiştirir. Liflere UV işleminin, liflerin gerilme mukavemet ve young modül değerlerini önemli ölçüde artırdığı bulunmuştur. UV ile muamele edilmiş fiberlerin, kompozit için daha yüksek çekme mukavemeti, darbe mukavemeti, çekme modülü ve darbe modülü değerleri gösterdiğini inceledi. (Abdullah ve ark., 2006),

4.3.2. Kimyasal Yöntemler

Güçlü polarize selüloz lifleri, hidrofobik polimerlerle doğal olarak uyumsuzdur. Bu uyumsuzluğu gidermek adına iki uyumsuz malzeme özelliklerinin ara değerlerine sahip üçüncü bir malzeme ekleyerek uyumsuzluğu gidermek çoğu zaman mümkündür. Malzemelerde birkaç bağlantı mekanizması vardır. Ana kimyasal bağ teorisi tek başına yeterli değildir, bu nedenle ara yüzeyin morfolojisi, ara yüzeydeki asit-baz reaksiyonları, yüzey enerjisi ve ıslanma olaylarını içeren diğer kavramların dikkate alınması gerekli görünmektedir. (Adekunle, 2015).

Doğal liflere uygulanan asetik asit kimyasal yöntemi ile yüzey özellikleri ve kristal yapıları değişir ve yüzey kirlilikleri giderilir (Komal ve ark., 2020). Öte yandan, liflerin alkali kimyasal modifikasyonu ile yüzey pürüzlülüğünde artış ve bu şekilde iyi mekanik kilitleme ve lif yüzeyinde artan selüloz maruziyeti ile sonuçlanır (Gupta ve ark., 2021). Kimyasal yöntemlerin başlıca avantajları fiziksel yöntemlere kıyasla düşük maliyetli olmaları ve işlem kolaylığı sağlamalarıdır. Bu sebeplerden farklı kimyasal yöntemlerin DLK'lerin ara yüzey bağlanması üzerindeki etkilerini incelemek gerekmektedir (Latif ve ark., 2019).

4.3.2.1. Alkali Muamelesi

Alkali veya Sodyum Hidroksit (NaOH) işlemi, doğal liflerin yüzey özelliklerini modifiye etmekte kullanılan yaygın kimyasal modifikasyon yöntemlerinden biridir. DLK'

lerin mekanik özelliklerini iyileştirmede yüksek etki sunduğu görülmektedir. Alkali işlemi, elyaf ve matris arasındaki arayüzey yapışmasını geliştirmektedir. Böylece, yapı içeriğindeki gerilme transferi iyileştirilmektedir. Alkilasyon nedeniyle mum tabakalarının ve yüzey safsızlıklarının uzaklaştırılması nedeniyle elyafın termal özelliklerini iyileştirir (Fiore ve ark., 2015).

Alkali muamele yöntemi doğal liflerin, daha önceden belirlenen sıcaklık konsantrasyon ve sürelerde hazırlanan çözeltiye daldırılarak uygulanmaktadır. Alkali işlemi, lif ve reçine arasında daha iyi bir bağlanma sağlamak için lignin, hemiselüloz, mumlar ve yağların lif yüzeyinden uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Lifin NaOH ile işlenmesi, lif hücre zarını şişirerek kristalin selüloz üzerinde amorf bölge oluşturur. Alkilasyon, alkaliye duyarlı hidrojen bağlarının parçalanmasına ve yeni reaktif hidrojen bağlarının oluşmasına yol açarak liflerin su emme eğilimini azaltır. Lif yapısındaki mikro boşlukları gidererek elyaf yüzeyini daha üniform hale getirdiği ve matris malzemesi ile daha iyi bir yapışma sağlandığı söylenebilir. Ayrıca çapın küçülmesi “en boy oranının” artmasına neden olarak daha iyi gerilim aktarımı sağlar (Gupta ve ark., 2021).

Ancak alkali konsantrasyonunun belirli bir noktanın üzerine çıkarılması, fazla miktarda “delignifikasyona” neden olur ve bu da kesinlikle kaçınılması gereken lifin zayıflamasına neden olur. Bu nedenle, meriserizasyon veya alkil işlemi veya alkilasyon olarak adlandırılan bu işlem optimum koşullarda uygulandığında, doğal lif kompozitlerinin mukavemetlerini arttırmada etkili bir yöntemdir (Li ve ark., 2007). Soğuk kimyasal ekstraksiyon işlemi yine NaOH ile yapılmaktadır. Naili ve ark., (2017), yaptığı çalışmada çevresel ve ekonomik nedenlerden dolayı optimum NaOH konsantrasyonun ağırlıkça %8 olduğunu belirtmişlerdir (Naili ve ark., 2017).

4.3.2.2. Silan Tedavisi

Silanlar, yapışkanları oluşturmak üzere kimyasal olarak bağlanan reaktif alkil gruplarına sahiptir ve fiber matris arayüzündeki hidroksil gruplarının sayısını azalttığı ve böylece doğal fiber-polimer matris arayüzünü etkili bir şekilde değiştirdiği ve kompozitin yapışmasını ve stabilitesini arttırdığı bulunmuştur (Ezeh ve ark., 2020).

Özellikle epoksiler ve ürethan silanlar gibi amino fonksiyonel silanlar reaktif polimerler için primerler olarak kullanıldığında arayüze hidrofilik özelliklere katkıda bulunabilir. Primer, evrede reçine malzemesi ile reaksiyona girerek daha fazla amin işlevselliği sağlayabilir. Tepkimeye giremeyen aminler hidrofiliktir (suda çözünür) ve bu nedenle bağların zayıf su direncine neden olur. Feniltrimetoksisilan gibi hidrofobik silanlarla hidrofilik silanları karıştırarak kullanmak etkili bir yöntemdir. Karışık siloksan primerleri ayrıca aromatik silikonlar için tipik olan gelişmiş bir termal stabiliteye sahiptir (Adekunle, 2015).

Sever ve ark., (2010) yaptığı çalışmada, farklı silan konsantrasyonları ile jüt yüzeyini modifiye etmek için çeşitli konsantrasyonlarda g-MPS çözeltilerinin sulu çözeltilerini hazırlanmıştır. g-MPS ile işlenmiş jüt kumaşlar, alkalize edilmiş jüt kumaşların g-MPS ile işlenmesiyle elde edildi: prosedür. Sulu çözeltinin Ph değeri asetik asit ile 4.5'e ayarlanmış ve sıvı g-MPS'nin asitlendirilmiş suda çözündürülerek çözelti hazırlanmıştır. Çözelti 15 dk karıştırılarak berrak ve homojen bir çözelti elde edilmiştir. Bu çalışmada silan bağlayıcı maddesi konsantrasyonu hacimce %0,1 ile %0,5 (v/v) arasında belirlenmiştir. Hazırlanan çözeltiye alkali işlenmiş lifler bir saat süresince eklenerek süzölmüştür. Son olarak, lifler (kumaşlar) 24 saat süresince 60°C sıcaklıkta kurutulmuştur (Sever ve ark., 2010).

Ayrıca bu çalışmada jüt/polyester kompozitleri üretilmiştir. Jüt kumaş ile polyester alkali ile muamele edilmiş jüt kumaşlar arasındaki yapışmayı geliştirmek için γ -metakriloksipropiltrimetoksisilan (γ -MPS) ile muamele edilmiştir. Farklı silan konsantrasyonlarında (%0,1, %0,3 ve %0,5) muamele gören numunelerin çekme, eğilme ve katmanlar arası kayma mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Jüt kumaşlara %0,1 ve %0,3 silan konsantrasyonları uygulandıktan sonra, silanla işlenmiş jüt polyester kompozitlerin çekme özellikleri artmıştır. Ancak silan muamelesinde %0,5 γ -MPS kullanıldığında jüt/polyester kompozitlerin çekme özellikleri azalmıştır. %0,3 silanla işlenmiş jüt/polyester kompozitler, fabrikasyon kompozitler arasında eğilme özellikleri açısından üstün gelişmeler sergilemiştir. Numunelerin katmanlar arası kayma mukavemeti değerleri, en iyi yapışmanın %0,3 silanla işlenmiş jüt/polyester kompozitlerde görüldüğü belirtilmiştir. Silanla işlenmiş jüt fili (kumaş) ile polyester arasındaki iyi yapışma, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile doğrulanmıştır (Sever ve ark., 2010).

Youbi ve ark., (2022) tarafından yapılan bir araştırmada; raphia vinifera lifleri tedavisi için silan A 174 (Metakriloksipropil trimetoksisilan) kullanılmıştır. Su/asetik asit karışımı Ph

ölçer ile kontrol edilerek 2.9 ile 4 arasında bir PH değerine sahip çözelti elde edilmiştir. Silan takviyesi, %1 ve %5 konsantrasyonlarında çözeltiye karıştırılmıştır. Hazırlanan çözeltiye raphia lifleri 15 dakika süre ile daldırılmıştır. Sonrasında lifler süzülerek liflerin yüzeyinde kalan kimyasallardan kurtulmak için su ve etanol ile yıkanmıştır. Tekrar süzülen lifler %65 bağıl nemde 22 °C' ortam sıcaklığında iki gün (48 saat) boyunca kurutulmuşlardır. Çalışma sonuç olarak ham liflere kıyasla silanla muamele edilmiş raphia vinifera liflerinin Young modülünün gelişimini göstermiştir. %1 Silan işlemi, Young modül değerlerini (2.68; 2.86) GPa, ham liflere kıyasla %6.21 ve %5 Silan muamelesi (2.68; 3.36) GPa, ham liflere kıyasla %19.96'lık bir artış değeri göstermiştir.

4.3.2.2.1. Silan Yapıları

Doğal lifler ile üretilen kompozitlerde polimer matrisleri etkili bir şekilde birleştirmek için silan yapılarının, sırasıyla iki faz ile reaksiyona sokularak aralarında bir köprü oluşturabilen iki işlevli gruplara sahip olması zorunluluktur. Silan bağlayıcılar genel bir kimyasal yapıya sahiptirler. Şimdiye kadar, cam elyaf takviyeli polimer matrisler gibi kompozitlerde inorganik takviyelerin bağlanması için çeşitli silan yapıları denenmiştir. Doğal lifleri ve polimer matrisleri birleştirmek için kullanılan yapılar inorganik liflere kıyasla nispeten sınırlıdır. Doğal lifli polimer kompozitler için çoğunlukla trialkoksisilanlar kullanılmaktadır. Silanın organofonksiyonelliği, fonksiyonelliğin polimere karşı reaktivitesine veya uyumluluğuna bağlı olarak etkileşim modları ile polimer matrisleri ile etkileşime girer. Silanın reaktif olmayan bir alkil grubu, benzer polariteleri nedeniyle polar olmayan matris ile uyumluluğu artırabilir; bununla birlikte, reaktif organofonksiyonellik, polimer matrislerle fiziksel olarak uyumlu olmanın yanı sıra kovalent olarak bağlanabilir. Tipik olarak amino, merkapt, glisidoksi, vinil veya metakriloksi silanların organofonksiyoneldirler (Xie ve ark., 2010).

Literatürde doğal lifler ve termoplastik, termoset gibi polimer matrisler arasında birleştirme ajanları olarak silanlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Vinil- ve akril-silanlar, peroksit başlatıcıların mevcudiyetinde polimerik matrislerle kovalent bağlar kurabilen bağlayıcı maddelerdir. Metakrilat yapıdaki silanlar, doymamış polyester matrislerle yüksek etki gösterebilir. Azidosilanlar ise inorganik dolgu maddelerini termoplastik matrislerle

verimli bir şekilde birleştirebilir. Doğal lif takviyeli termoplastik kompozitlerde kullanımlarına dair çok az çalışma mevcuttur (Maldas ve ark., 1989).

4.4. Doğal Lifler İçeren Kompozitlerle Yapılan Çalışmalar

Bledzki ve ark., (2008) çalışmasında, keten lifi asetilasyon ile modifiye edilerek ketenin yapısı ve özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış, ayrıca modifiye keten lifi ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitler hazırlanmıştır. Asetilasyon nedeniyle, keten lifinin yüzey morfolojisi ve nem direnci özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Keten elyafı (modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş) ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitler, ağırlıkça %30 elyaf ile imal edilmiştir. Bu kompozitlerin mekanik özellikleri incelenerek çekme ve eğilme dayanımları artan asetilasyon derecesi ile %18'e kadar arttığı ve daha sonra azaldığı bulunmuştur. Charpy darbe dayanımlarının kompozitlerin artan asetilasyon derecesi ile azaldığı tespit edilmiştir.

Binu ve ark., (2022) tarafından yapılan çalışmada; Matris/elyaf arayüzünün yapışma kuvvetini geliştirmek ve mum ve diğer organik bileşikler liflerin yüzeyinden uzaklaştırmak hedeflenmiştir. Bunun için liflere alkali ve silan tedavisi şeklinde iki kimyasal iyileştirme yöntemi uygulanmıştır. Alkali muamelesinde, lifler damıtılmış su ile yıkanmış ve 3 saat kurutulmuştur. Ardından oda sıcaklığında 24 saat %5 NaOH çözeltisine daldırıldı. Bundan sonra, elyaf hasır, elyaf hasırın yüzeyinde biriken NaOH'yi çıkarmak için damıtılmış su ile temiz bir şekilde yıkandı ve 6 saat oda sıcaklığında kurutuldu. Silan işlemi durumunda, elyaf keçe %2 Trietoksi-(etil) silan çözeltisi (pH = 4) ile 1 saat süreyle işlendi ve 100°C'de 2 saat sıcak fırında kurutuldu. lifin kimyasal yonteme tabi tutulması, işlenmemiş kompozitlere kıyasla kompozitin çekme mukavemetini arttırmıştır. Silan ile muamele edilmiş kompoziti, elyaf yapısından nem, lignin ve selülozun çıkarılması sayesinde, alkali ile muamele edilmiş ve muamele edilmemiş kompozitlerin gerilme mukavemetine kıyasla gerilme mukavemetinde %17,5 ve %42,3'lük iyileşme göstermiştir.

Dan-Asabe (2018), yapmış olduğu çalışmada, termoplastik polivinil klorür (PVC) matrisinde takviye olarak Nijeryalı muz sapı partikülü kullanmıştır. Araştırma çalışması, petrol endüstrisinde (dağıtım borusu şebekeleri) ve ev su boruları uygulamasında potansiyel bir uygulamaya sahip olabilecek boru malzemesi olarak kompoziti geliştirmeyi amaçlamıştır.

Üretilen kompozitin fiber matris etkileşimini iyileştirmek amacıyla alkali yöntemi kullanılmıştır. Kompozit, matris malzemesi PVC, takviye malzemesi olarak ise muz sapı partikülü ve dolgu maddesi olarak Kankara kaolin kili kullanılarak üç bileşenli bir bileşim hazırlanmıştır. Optimum mekanik özellikler sırasıyla %8 muz sapı parçacıkları (takviye), %72 PVC (matris) ve %20 Kankara kili (dolgu maddesi) oranlarında elde edilmiştir.. Kompozitin dinamik yükleme altında PVC boruya göre daha yüksek geçiş sıcaklığına ve yüksek sıcaklıkta daha iyi mekanik (sertlik) stabiliteye ve daha iyi sürünme stabilitesine sahip olduğu görülmüştür.

Naili ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada, Juncus bitkisinden alınan doğal lifleri analiz etmişlerdir. Çalışmada liflere uygulanan ve lif çapı, yoğunluğu, elastiklik modülü ve çekme mukavemeti bakımından değişen çeşitli kimyasal işlemlerin etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulamalar sonucu, yüksek sıcaklıkta (100⁰ C) %8 NaOH, sodyum hipoklorit (NaOCl) ve sodyum ditiyonit (Na₂S₂O₄) ile muamele, en yüksek çekme mukavemeti ve elastik modülü değerlerini sağlamıştır.

Haba ve ark., (2017) araştırmanın amacı, %15 hurma lifi içeren bir kompozitin yapı alanında uygulanabilmesi için nem ve ısı iletkenlik parametrelerini (ısı iletkenliği, su buharı geçirgenliği, sorpsiyon izotermi ve nem yayılımı) belirlemektir. Bulgulara göre, hurma liflerinin dahil edilmesinin bu yeni kompozitin etkinliğini ve performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Mechakra ve ark., (2015) çalışmasında, Alfa demetlerinden üretilen kısa bitkisel liflere sahip bir polipropilen matris kompozitin mekanik özelliklerini değerlendirmiştir. Çekme testi, akustik emisyonlar ve Taramalı Elektronik Mikroskop (SEM) kullanılan prosedürler arasındadır. Alkali kimyasal işlemin pozitif etkisi, işlenmemiş PP için Young modülündeki %28,67'den %132,22'ye ve çekme direncinde %30 Alfa takviyeli kompozitin işlenmemiş liflere göre %11.34'ten %30.14'e büyük artışla kanıtlanmıştır.

Kumar ve ark., (2014) çalışmasında, bir epoksi matrisi ve takviye malzemesi olarak ham hindistancevizi kılıfı elyafından yapılan lif işlemleri ve işlemsiz olmak üzere iki çeşit kompozit üretilmiştir. DMA, FTIR, SEM, TGA ve eğilme, çekme ve darbe dayanımları kullanılan teknikler arasındaydı. Termal stabilite ve mekanik dayanım sonuçları, işlenmiş kompozitlerin, işlenmemiş kompozitlerden daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır ve SEM

ile elde edilen sonuçlar işlenmiş kompozitlerin diğer kompozitlerden daha iyi fiber-matris eşleşmesine sahip olduğunu göstermiştir(Chichane ve ark., 2022).

Rokbi ve ark., (2011) yaptığı çalışmada alfa liflerinin eğilme özelliklerini iyileştirme amacı ile, en iyi alkali kimyasal işlem parametrelerinin (NaOH) belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Alfa lifleri 24 saat boyunca %10 NaOH ile işlendikten sonra eğilme modülü ve eğilme mukavemeti sırasıyla 1.16 ila 3.04 GPa ve 23 MPa'dan 57 MPa'ya yükseldi. Ek olarak, alfa 48 saat boyunca %5 NaOH ile işlendiğinde, eğilme özelliklerinin sonucunun, selüloz fibrillerini birbirine bağlayan lignin azalması nedeni ile düştüğü tespit edilmiştir.

4.5. Muz Lifi

Muz lifi, “muz bitkisinin sözde gövdesi” (Musasepientum) işlenerek elde edilen bir doğal lif türüdür. Muz lifi, büyük çoğunlukla lignin, hemiselüloz ve selülozdan meydana gelmektedir. Bu sebeple lignoselülozik lif olarak nitelendirilen doğal bir liftir. Doğal lif takviyeli kompozit malzemeler, kimyasal bileşimlerine ve yapıları ile istenen mekanik özelliklere sahiptirler (Gupta ve ark., 2021). Tablo 4.5'te farklı çaplardaki muz liflerinin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.5. Farklı çaplardaki muz liflerinin mekanik özellikleri (Kulkarni ve ark. 1983)

Çap. (μm)	Başlangıç Modülü (GPa)	SD Başlangıç Modülleri (GPa)	Kırılma Mukavemeti (MPa)	SD Kırılma Dayanımı (MPa)	Yüzde % Gerilme	SD Yüzde % Gerilme
50	32.703	8.19	779.078	209.3	2,75	0,957
100	30.463	4.689	711.661	239.614	2.469	0,798
150	29.748	8.561	773.002	297.104	3.583	1.114
200	27.698	7.083	789.289	128.558	3.34	0,688
250	29.904	4.059	766.605	165.515	3.244	1.284

Muz Lifi, muz bitkisinin gövdesinden geliştirilen bir sak lifidir. Muz lifinin %60-65 selüloz, %6-19 hemiselüloz, %5-10 lignin, %3-5 pektin, %1-3 kül ve %3-6 özütleyici içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Muz lifinin mekanik testlerini Kulkarni ve ark. (1983) yapmış ve elastik modül, çekme mukavemeti ve uzama yüzdesini sırasıyla 27 ile 32 GNm², 711 ila 789 MNm² ve %2,5 ila 3,7 aralığında olduğunu bulmuşlardır. Muz liflerinin yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu lifler, endüstride faydalı bileşenler üretmek için kolay bulunabilirliği olan muz yetiştiriciliğinin biyolojik atıklarından hazırlanır. Kompozit malzemeler için kusursuz olmalarına rağmen, mekanik özelliklerde, su emme ve dolayısıyla reçine ile zayıf uyum gibi tutarsız dezavantajları vardır. Ancak bu dezavantajlar, fiziksel ve kimyasal yüzey iyileştirme teknikleri kullanılarak giderilebilir. Doğal elyafın mekanik özelliklerini iyileştirme için yüzey işlemi yaygın olarak uygulansa da araştırmacılar tarafından silan işlemi ve muz lifinin alkali işlemleri gibi yaygın kimyasal işlem yöntemleri incelenmiştir (Kulkarni ve ark., Gupta ve ark., 1983,2021). Resim 4.2’de kurutularak lif haline getirilen muz lifleri görülmektedir.



Resim 4.2. Muz lifi görseli, (URL-7, 2022)

Son alışmalar, muz türleri için yaşam döngüsü envanter verilerini analiz ederek, lif çıkarma ve üretimiyle ilgili düşük çevresel, ekonomik etkileri olduğunu doğrulamıştır. Daha yüksek etkili biyopolimerlerin (PLA) yerine düşük etkili muz lifi kullanımı, küresel boyutta çevresel iyileştirmeye de katkı sağlayacağı görülmektedir (Prasad ve ark., 2016). Öte yandan, diğer çalışmalar, enjeksiyon kalıplama süreçlerinde çevresel etkiyi etkileyebilecek farklı değişkenleri ve kullanılan Yařam Döngüsü Envanteri değerleri verilerine dayanarak elde edilebilecek sonuçların değişkenliğini analiz etmiştir (Elduque ve ark., 2015).



5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Kompozit Numune Üretimi

Bu çalışmada üretilen kompozit numunelerde, matris malzemesi olarak Polioksümetilen (POM), takviye olarak ise muz lifi kullanılmıştır. POM malzemesi, Çin menşeli CNOOC Tianye markasına ait olup $1,41 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu granül halinde tedarik edilmiştir. Muz lifi piyasadan hasır şeklinde alınmış olup, bu çalışma kapsamında çeşitli işlemler uygulanarak deneysel çalışmalara uygun hale getirilmiştir.

5.2. Muz Lifinin İşlenmesi

Hasır şeklinde piyasadan temin edilen muz lifi kompozit üretimine uygun hale getirilmek üzere boyutlandırılmıştır. Öncelikle hasır halde olan lifler makas kullanılarak en fazla 5 cm uzunlukta olacak şekilde doğranmıştır. Doğrama işlemi sonrası liflerin kalınlıkları 3-4 mm civarında olduğundan inceltmek için öğütücü kullanılarak 1-2 mm kalınlık elde edilene kadar işlenmiştir. Sonrasında sırası ile 2.5 mm ve 1.4 mm elekler kullanılarak Vibrasyonlu eleme makinesinden 1 mm ile 1.4 mm arasındaki eleklerde toplanan lifler kullanılmıştır. Resim 5.1’ de bu süreçler gösterilmiştir.



Resim 5.1. Muz liflerinin hazırlanması

5.3. Liflere Alkali Muamelesi (NaOH)

Deneyde kullanılacak olan Sodyum Hidroksit (NaOH), granül halde Tekkim Kimya San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. NaOH çözeltileri, Munzur Üniversitesi Kimya Laboratuvarında bulunan endüstriyel tip su distile cihazından temin edilen distile su ile seyreltilmiştir. Kullanılan NaOH kimyasal özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Deneyde kullanılan NaOH özellikleri (URL-2).

Molar Kütle	40.00 g/mol
CAS Numarası	1310-73-2
EC Numarası	215-185-5
Konsantrasyon	% 98 =>
PH Değeri	14 0 g/l
Erime Noktası/Donma Noktası	320-325
İlk Kaynama Noktası	1390 ⁰ C
Su Çözünürlüğü (g/l)	1090 g/l °C

Matris/elyaf arayüzeyinin yapışma kuvvetini artırma ve diğer organik bileşikleri liflerin yüzeyinden uzaklaştırmak için 1.4 mm ve altında elenerek boyutlandırılan muz lifleri %2,5 ve %5 hacimsel oranlarda (v/v) NaOH çözeltileri hazırlanarak çözeltilerde 24 saat bekletilmiştir. 24 saatlik bekleme süresi sonrası lifler süzülerek yüzeylerinde kalan NaOH bileşiklerden temizlenmesi için distile su ile en az 4 defa yıkanmıştır. Daha sonra nemin giderilmesi için 24 saat oda sıcaklığında kurutulmuştur (Binu ve ark., 2022; Rokbi ve ark., 2011). Bu süreçler Resim 5.2’de gösterilmiştir.



Resim 5.2. Muz liflerine NaOH muamelesi uygulaması

5.4. Ekstrüzyon Yöntemi ile Homojen Karışım Üretimi

Deneysel numunelerin üretimi için matris malzemesi olarak POM, takviye malzemesi olarak ise muz lifleri seçilmiş ve sırası ile saf muz lifi, %2,5 NaOH işlenmiş muz lifi ve %5 NaOH işlenmiş muz liflerinden her biri için ağırlıkça %3, %6, %9 oranlarında POM-muz lifi karışımları hazırlanmıştır. Malzemeler 0,1 mg hassasiyete sahip dijital analitik terazi kullanılarak tartılmıştır. POM ve muz lifi karışımlarının havadaki nemden etkilenmemesi için Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Binder marka etüv de nem alma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem Resim 5.3'te gösterilmiştir.



Resim 5.3. Etüv ile nem alma işlemi

Nem alma işlemi sonrası karışımlar üç bölge ısıtılmalı tek vidalı ekstrüzyon makinesi kullanılarak kompozit şeritler elde edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sırasında muz liflerinin yüksek sıcaklık altında ısıl oksidasyona uğrama ihtimali göz önünde bulundurularak POM erime sıcaklığı 180-230° C aralığından düşük olan seçilmiş, üç bölge 175-180-180° C ve kalıp sıcaklığı 175° C olarak ayarlanmıştır (URL-1, 2022). Ekstrüzyon hızı malzemenin homojenliğini etkilediğinden devir sayısı 10 rpm olarak seçilmiştir. Ekstrüzyon işlemi Resim 5.4’de verilmiştir.

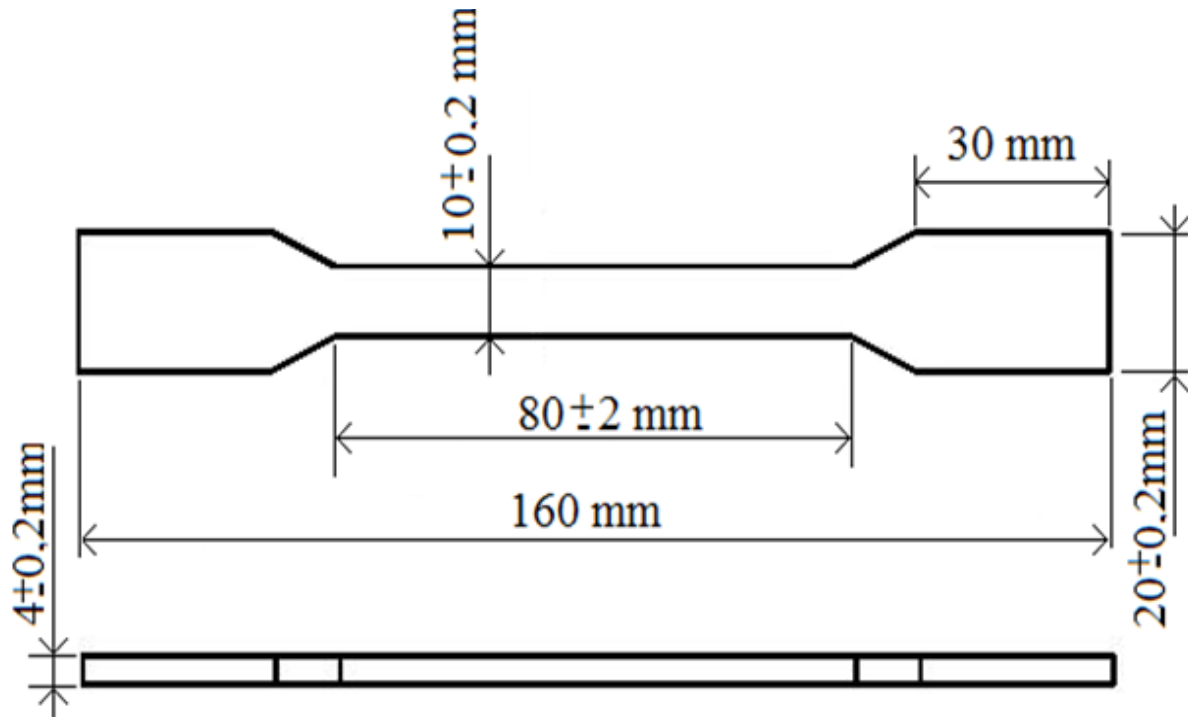


Resim 5.4. Ekstrüzyon yöntemi ile homojen karışım üretimi

Ekstrüzyon makinesinde 3 mm çapında şerit eldesi sağlayan kalıp ile kompozit şeritler elde edilmiştir. Şeritler kalıp çıkışında su havuzuna daldırılarak nihai şekli alması sağlanmıştır. Şerit şeklinde elde edilen kompozitler enjeksiyon makinesinde kalıplama işlemine uygun hale getirmek için otomatik kırıcı peletleyici cihaz kullanılarak 2-3 mm boyutlarında granüller elde edilmiştir. Elde edilen granüllerin bir kısmı Eriyik Akış İndeksi (MFI) testlerinde kullanılmak üzere ayrılmıştır.

5.5. Polimerlerin Mekanik Testleri için ASTM ve ISO Standartları

Plastiklerin test edilmesi için American Society for Testing and Materials (ASTM) Standartları, çekme testi için ASTM D638'i içerir, test numuneleri dambıl şeklindedir ve genellikle elde edilen özellikler arasında çekme dayanımı, akma dayanımı, akma uzaması, kopma uzaması ve elastisite modülü bulunur. Kauçuk ve termoplastik elastomerlerin çekme testi için ASTM D412'i içerir. ASTM D882, ince plastik kaplama için çekme testini kapsar. Ayrıca ASTM D3039, polimer matrisli kompozit malzemelerin, özellikle yüksek modüllü fiberlerle takviye edilenlerin on sile özelliğini kapsar. Plastiklerin çekme karakterizasyonunu belirlemek için Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) ISO 527'yi oluşturmuştur (Iso, E. 2012). Ayrıca ISO 37, termoplastik ve ayrıca vulkanize kauçukların çekme özelliklerini elde etmek için bir yöntemi kapsar. ASTM D790, eğilme mukavemeti ve eğilme dahil olmak üzere eğilme özelliklerinin belirlenmesini kapsar (Dizon ve ark., 2018). ISO 527 standart test numune boyutları Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. ISO 527 standart test numune boyutları

5.6. Enjeksiyon Yöntemi ile Numune Üretimi

Granül şeklinde elde edilen muz lifi takviyeli POM kompozit malzemeler ISO 527 tip 1 A standart test numune boyutlarına getirilmek üzere 100 Ton mengene kapama kuvveti kapasiteli plastik enjeksiyon makinesine yüklenmiştir. Enjeksiyon kalıbı tek seferde 4 adet test numuneyi basacak şekilde tasarlanmıştır. Enjeksiyon sıcaklığı yine ekstrüzyon yöntemi gibi 190°C ve basınç 120 MPa geçmeyecek şekilde ayarlanarak test numunelerinin basım işlemi tamamlanmıştır. Enjeksiyon işlemi Resim 5.5'te gösterilen Ekin 100 Orion enjeksiyon makinesi kullanılarak yapılmıştır.



Resim 5.5. Ekin 100 Orion enjeksiyon makinesi

Bu şekilde sırası ile saf POM, işlenmemiş muz lifi, %2,5 NaOH işlenmiş muz lifi ve %5 NaOH işlenmiş muz liflerinden her biri için ağırlıkça %3, %6, %9 oranlarında farklı sayılarda test numuneleri elde edilmiştir. Ürünlerin ilk ve son basımlarında malzeme yetersizliği nedeni ile fire meydana gelmiştir. Üretilen test numuneleri ve kodları Tablo 5.2'de

gösterilmiştir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen standart çekme test numunesi Resim 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.2. Üretilen test numune sayıları

Numune Kodu	POM miktarı	Muz Lifi miktarı	Alkali işlemi	Adet
Saf POM	% 100	%0	%0	15
3-0	% 97	%3	%0	14
3-1	% 97	%3	%2,5	17
3-2	% 97	%3	%5	17
6-0	% 94	%6	%0	16
6-1	% 94	%6	%2,5	14
6-2	% 94	%6	%5	15
9-0	% 91	%9	%0	13
9-1	% 91	%9	%2,5	18
9-2	% 91	%9	%5	17



Resim 5.6. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen standart çekme test numunesi

5.7. Üretilen Numunelerin Analizi

Ekstrüzyon yöntemi sonrası üretilen muz lifi takviyeli POM kompozit granüller kullanılarak eriyik akış endeksi (MFI) değerleri belirlenmiş, Enjeksiyon yöntemi ile üretilen test numuneleri ile üç nokta eğilme mukavemeti ve çekme mukavemeti testleri gerçekleştirilmiştir.

Eğilme ve çekme testleri için Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan 100 kN yük kapasitesine sahip universal Shimadzu AG-IC çekme cihazı kullanılmıştır. Ayrıca Munzur Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan “Hitachi su3500” marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak üretilen test numunelerinden kesitler alınmış, farklı oranlarda matris ve dolgunun bağlanma mekanizmasının tespiti için elde edilen görüntüler yorumlanmıştır.

5.7.1. Erime Akış İndeksi (MFI)

Erime akış indeksi (MFI) ölçümleri, saf POM bileşikler ve kompozitler için ASTM D1238'e normuna göre 2.16 kg yük altında 190 °C'de MFI cihazları (JPT EQUIPMANT marka XRL-400 Melt Flow Index cihazı) kullanılarak yapıldı. Resim 5.7.'de MFI test cihazı, Resim 5.8.'de test sonrası numunelerin resimleri görülmektedir.



Resim 5.7. MFI test cihazı



Resim 5.8. MFI testi sonrası elde edilen numuneler

5.7.2. Çekme Testi

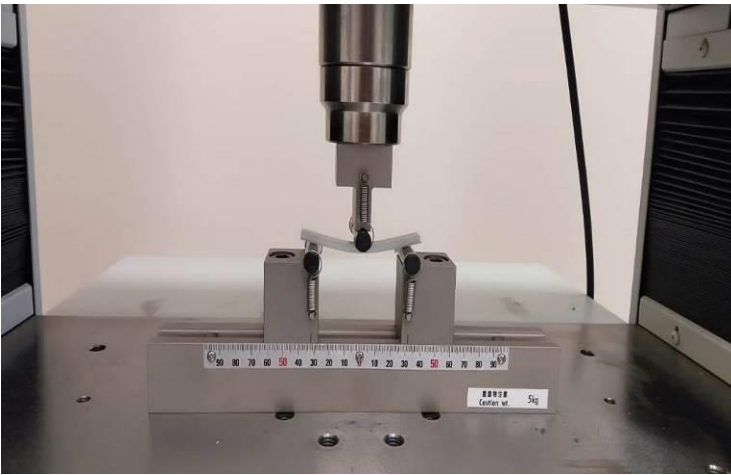
Çekme Testi, bir tür gerilim testidir. Malzemeye tamamen kopana kadar kontrollü kuvvet uygulandığı bir mühendislik ve malzeme bilimi testidir ve en yaygın mekanik test tekniklerinden biri olarak bilinmektedir. Malzemenin dayanımını ve esnekliğini öğrenmek için uygulanır. Bu test yöntemi, akma dayanımını, nihai çekme dayanımını, sünekliği, gerinim sertleşme özelliklerini, Young modülü ve Poisson oranını belirlemek için kullanılır. Malzemeye uygulanan kuvvet ile plastik deformasyonun meydana geldiği değer akma dayanımını vermektedir. Gerilme Dayanımı ise malzemeye uygulanan maksimum stresin ölçümü ile elde edilir. Bu, numunenin kırılgan, yumuşak veya her iki özelliklerine sahip olmasına bağlı olarak kırılma sırasındaki mukavemetinden farklı olabilir. Malzeme özellikleri ortam koşullarına (sıcaklık) bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Süneklik, bir çekme testinin uzaması ile ilgilidir. Uzama yüzdesi, numunenin gerilme altında azami uzama miktarının orijinal uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanır. Elastisite modülü ya da Young modülü ise, yük kaldırıldıktan sonra malzemenin orijinal durumuna geri döneceği bir numunenin sertliğini tayin eder. Malzeme, kalıcı deformasyon gösterdiği noktaya kadar gerildiğinde Hooke Yasası geçerliliğini kaybeder. Bu, elastik veya orantılı sınır (aynı zamanda akma dayanımı) olarak bilinir (URL-3, 2022). Resim 5.9’da çekme testi düzeneği verilmiştir. Çekme test hızı 10mm/dak. olarak seçilmiştir.



Resim 5.9. Numunelere çekme testi uygulaması

5.7.3. Üç Nokta Eğilme Testi

Üç nokta eğilme testi ise ASTM D 790 standardına uygun olarak 10 mm/dak hız ile 100 kN yük kapasitesi sahip Shimadzu marka AG-IC model (Japonya) üniversal çekme test cihazında yapılmıştır. Üç nokta eğilme 80mm×10mm×4mm boyutlarında ki numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca destekler arası mesafe 64 mm ve destek çapları 6 mm olarak seçilmiştir. Resim 5.10’da üç-nokta eğilme test düzeneği gösterilmiştir.



Resim 5.10. Numunelere üç nokta eğilme testi uygulaması

5.7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) – (EDS) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), görüntü oluşturmak için bir yüzey üzerinde odaklanmış elektron akışını yansıtır ve tarar. Elektronlar numune ile etkileşime girerek yüzeyin topografyası ve bileşimi hakkında kullanılabilecek çeşitli sinyaller gönderir. Numuneler mikroskopun içerisinde bir tablaya yerleştirilir ve kolon üst noktasında üretilen ve hızlandırılan elektron demetleri malzemenin yüzeyine çarpar (URL-4, 2022).



Resim 5.11. Hitachi Su 3500 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve numune kaplama

POM-ML kompozit numunelerin, dayanımını hesaplayabilmek için çekme testi uygulanmış, numunelerin koptuğu yerlere en yakın kısımlarından kesilerek taramalı elektron mikroskobu (SEM) numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler mikroskopta incelenmeden önce şarjlanmayı önlemek adına altın ile kaplanmıştır. SEM ile numune kesitlerinden en az 3

fotoğraf alınmıştır. Hitachi Su 3500 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve numune kaplama işlemleri Resim 5.11’de verilmiştir.

5.7.5. Termogravimetrik Analiz Yöntemi

Malzemelerinin termal davranışlarını belirlemek için numunelerin TGA/DTA analizleri gerçekleştirilmiştir. Malzemeler kontrollü bir atmosferde kontrollü bir sıcaklık programına tabi tutularak, ağırlık değişimini sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak izlenmesi ile veri sağlanır. Aynı zamanda maddenin hal değişimi, kimyasal tepkimelerle meydana gelen enerji değişiminin tespitinde Diferansiyel Termal Analiz (DTA) TGA ile birlikte yapılmaktadır (Gomes ve ark., 2018; Inan, 2017).

TGA-DTA yöntemi polimer malzemeler dahil olmak üzere malzemelerin termal kararlılığının ölçümü için tercih edilen bir tekniktir. Bir numunenin sıcaklığı artırılırken ağırlığındaki değişim miktarı ölçülür. Numunedeki nem ve uçucu içeriklerde bu yöntemle ölçülebilmektedir. Kullanılan cihaz, temel olarak ağırlık değişikliklerini ölçmek için yüksek hassasiyete sahip bir teraziden ve numunenin ısınma hızını kontrol edebilen programlanabilir bir fırından ibarettir (Ebnesajjad., 2011).

Tez çalışmasında TGA-DTA analizi için Shimadzu DTG 60 marka cihaz kullanılmıştır. Ortam atmosferi için azot gazı seçilmiş sürekli olarak 100 ml/dk akış hızı ile fırın beslenmiştir. Analiz için saf POM, işlenmemiş %3 ve %9 POM-ML, %2,5 NaOH ile işlenmiş %3 ve %9 POM-ML ve %5,0 NaOH ile işlenmiş %3 ve %9 POM-ML kompozitleri (azami değerlerin elde edildiği numuneler) kullanılmıştır. Numune ağırlıkları 15-25 mg ağırlıkta ayarlanmış, fırın azami sıcaklığı 600⁰ C seçilmiş ve 10⁰ C/dk ısıtma hızı olacak şekilde parametreler ayarlanmıştır.

5.7.6. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

FTIR spektroskopisi, katı, sıvı ve gaz numune karakterizasyonunda kullanılan hassas bir yapısal ve analitik probtur (Zhang ve ark, 2022). Buna ek olarak, FTIR spektroskopisi, bilinmeyen bileşiklerin tanımlanmasında evrensel bir araç ve karmaşık moleküler sistemlerdeki yapısal varyasyonları yansıtmak için hassas bir prob olarak kabul edilir.

Elektromanyetik ışık dizisinin kızıl ötesi bölgesi 14000 cm^{-1} ile 10 cm^{-1} aralığındadır. Orta dalga boylu kızıl ötesi (MIR; $400\sim 4000\text{ cm}^{-1}$) ana bölgeyi oluşturmaktadır. Orta Infrared Bölgesi Absorpsiyon Işık Dizisi MIR spektroskopisi kimyasal olarak belirgin ve tekrarlanabilir biyokimyasal parmak izlerini oluşturan organik bileşenlerin tanımlanmasını sağlar. Bir organik maddenin ışık dizisinde $3600\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ aralığına, ‘fonksiyonel gruplar bölgesi’ denir. $1200\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ bölgesi parmak izi bölgesi olarak tanımlanan ikinci bölgedir. Bu bölge, özellikle moleküldeki küçük yapısal ve bileşim değişikliklerini incelemekte kullanılır (Kılıç ve Karahan, 2010).

Hazırlanan numunelerin FTIR spektrumu (Jasco 6700 cihazı, Japonya) ile 4 cm^{-1} çözünürlükte, $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında kaydedilmiş ve elde edilen materyallerin titreşimsel özellikleri incelenmiştir (Gürler ve ark, 2023)

6. BULGULAR

6.1. Eriyik Akış İndeksi (MFI) Test Sonuçları

Muz lifi takviyesi ve alkali iyileştirilmesi ile malzemelerin eriyik akış indekslerinin (MFI) belirlenmesi amacı ile MFI testleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin MFI deneyi sonucu elde edilen değerler Tablo 6.1. de verilmiştir.

Tablo 6.1. Numunelerden elde edilen MFI sonuçları

No	POM	Muz Lifi Oranı	NaOH Tedavisi	MFR	MVR	Yoğunluk
Saf POM	% 100	% 0	% 0	25,16 g/10 dk	22,20 cm ³ /10 dk	1,133 g/cm ³
3-0	% 97	% 3	% 0	16,28 g/10 dk	15,40 cm ³ /10 dk	1,057 g/cm ³
6-0	% 94	% 6	% 0	14,32 g/10 dk	11,10 cm ³ /10 dk	1,289 g/cm ³
9-0	% 91	% 9	% 0	12,20 g/10 dk	10,63 cm ³ /10 dk	1,147 g/cm ³
3-1	% 97	% 3	% 2,5	16,56 g/10 dk	15,94 cm ³ /10 dk	1,039 g/cm ³
6-1	% 94	% 6	% 2,5	15,08 g/10 dk	13,66 cm ³ /10 dk	1,104 g/cm ³
9-1	% 91	% 9	% 2,5	12,40 g/10 dk	11,88 cm ³ /10 dk	1,043 g/cm ³
3-2	% 97	% 3	% 5	16,68 g/10 dk	16,79 cm ³ /10 dk	0,993 g/cm ³
6-2	% 94	% 6	% 5	16,72 g/10 dk	13,94 cm ³ /10 dk	1,197 g/cm ³
9-2	% 91	% 9	% 5	13,52 g/10 dk	13,66 cm ³ /10 dk	0,989 g/cm ³

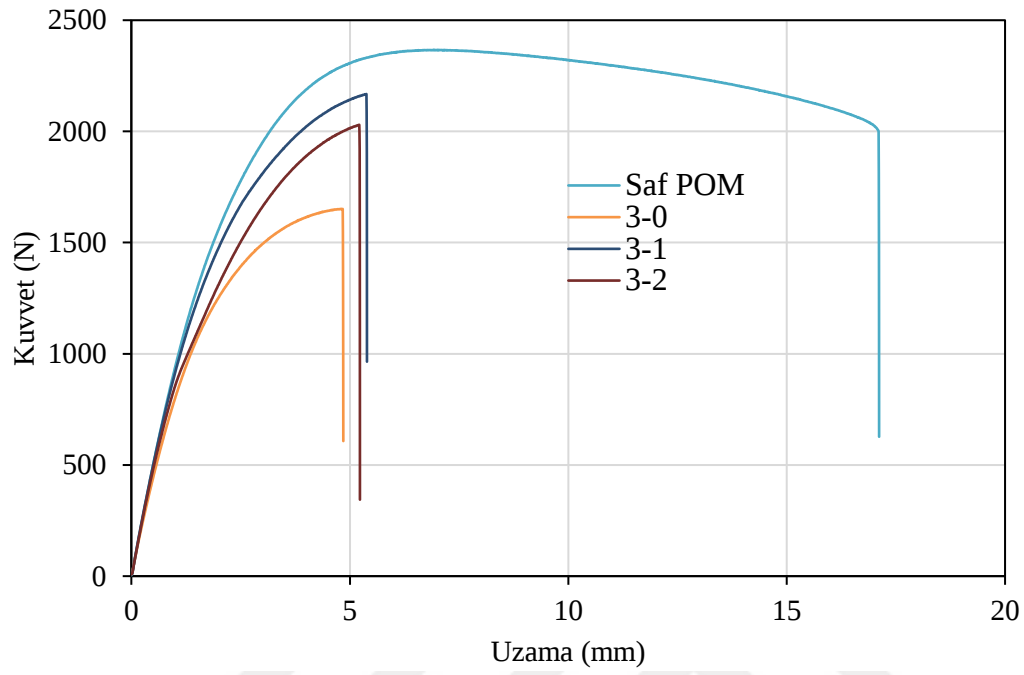
Elde edilen sonuçlar neticesinde kompozitte artan lif miktarına bağlı olarak kütsel (MFR) ve hacimsel (MVR) akış indeksleri düşüş göstermiştir. Saf POM' a ait MFR değeri 25,16 g/10dk iken, işlemsiz %3 POM-ML 16,28 g/10dk, işlemsiz %6 POM-ML 14,32 g/10 dk, işlemsiz %9 POM-ML 12,20 g/10dk olarak elde edilmiştir. Ayrıca, muz lifi takviyesi artışına bağlı olarak MFR değerinde önemli azalma olduğunu görülmüştür. .

Sonuç olarak muz lifi takviyeli POM kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılan doğal lif oranı arttıkça MFI değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Bununla birlikte liflere uygulanan kimyasal iyileştirme ile farklı alkali konsantrasyonlarındaki kimyasal işlemlerin elyaftan hemiselüloz, lignin ve yüzeydeki kir gibi artıkların temizlenmesine bağlı olarak (Borchani ve ark., 2015) MFI değerlerinde artış görülmüştür. Yüzde üç muz lifi takviyeli POM kompozit malzemesinde işlemsiz, %2,5 NaOH ve %5 NaOH çözeltilerinde işlem

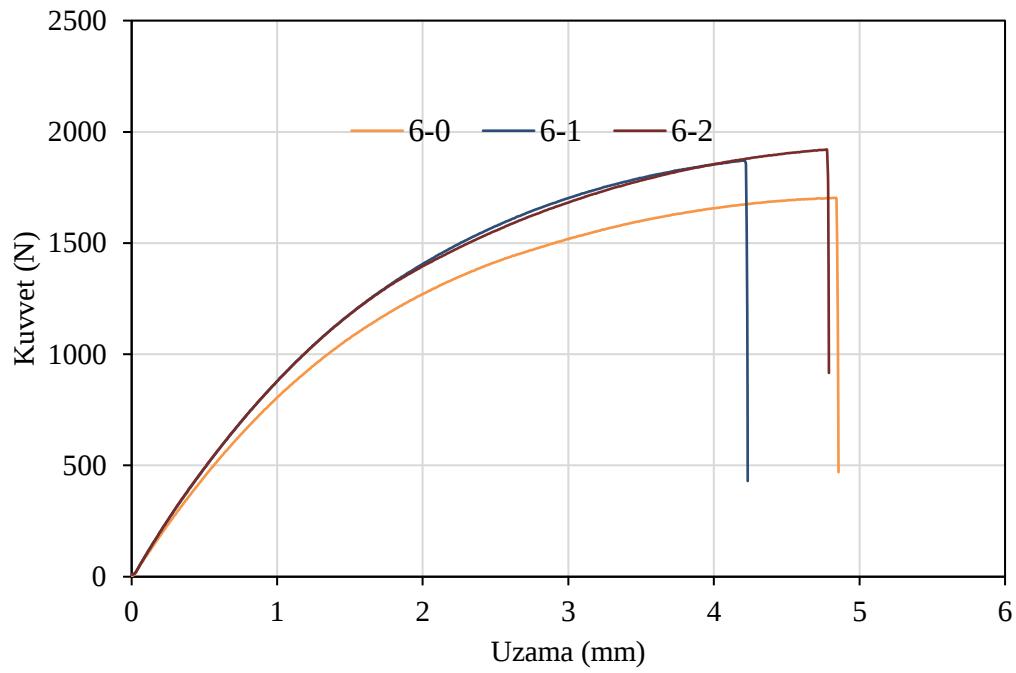
uygulanmış malzemelerin MFI değerleri sırasıyla 16,28 g/10dk, 16,56 g/10dk ve 16,68 g/10dk olarak elde edilmiştir. Değerlerdeki bu trend diğer muz lifi takviye oranları içinde görülmüştür.

6.2. Çekme Testi Sonuçları

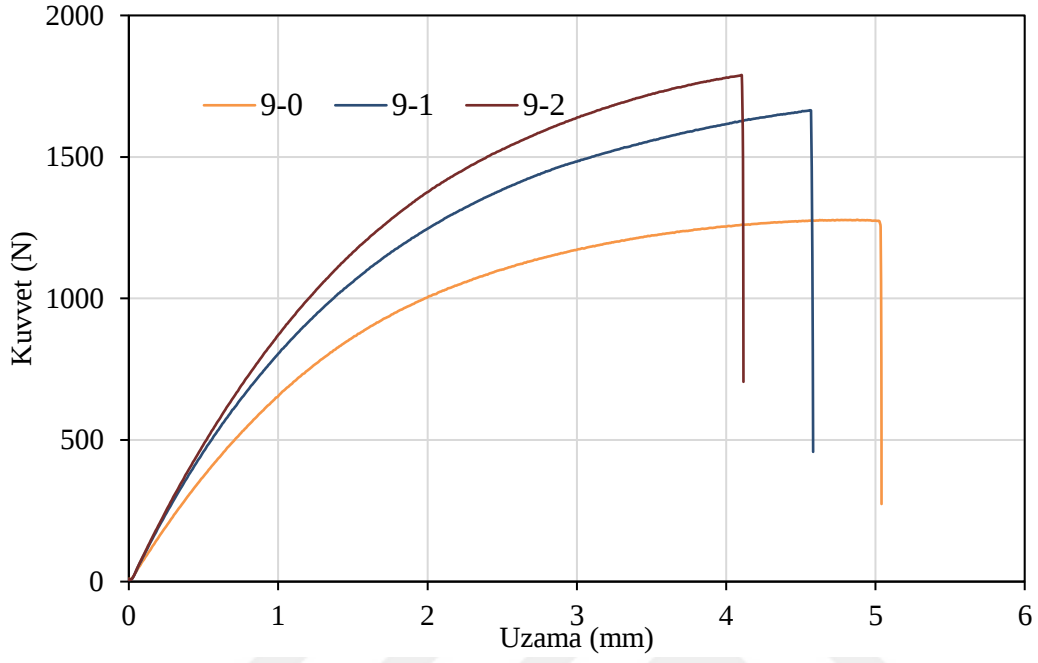
Çekme testi ile malzemelerin maksimum gerilme ve maksimum uzama değerleri elde edilmiştir. Çekme deneyi, saf POM malzemesi için üç, diğer üretilen kompozit malzemelerde her bir üretim parametresi için en az dört kez tekrarlanmıştır. Deneye tabi tutulan numune sayıları elde edilen değerlerin yakınlığı nedeni ile değişkenlik göstermiştir. Çekme testi sırasında elde edilen kuvvet-uzama eğrileri saf POM ve %3 muz lifi takviyesi için Şekil 6.1’de, %6 muz lifi takviyesi için Şekil 6.2’de ve %9 muz lifi takviyesi için Şekil 6.3’te verilmiştir. Burada verilen eğriler ortalama değere en yakın olan eğrilerden seçilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere şekil değiştirme değerlerinde önemli ölçüde bir düşüş meydana gelmiştir. Bu da takviyeli malzemenin saf POM malzemesine göre daha gevrek hale geldiğini göstermiştir. Ayrıca maksimum kuvvet değerlerinde de düşüş gözlenmiştir. Benzer sonuçlar Doğan ve Kısmet (2021) tarafından araştırılan kolza takviyeli polipropilen kompozit malzemelerde elde edilmiştir. Bunun yanında alkali iyileştirmesi yapılan malzemelerde kuvvet değerleri işlemsiz malzemelere oranla daha az bir düşüş göstermiştir. Saf POM malzemenin maksimum uzama miktarı yaklaşık 17 mm civarında iken bu değer muz lifi takviyeli malzemelerde 4 ile 5 mm arasındadır. Bu da yaklaşık %340 oranında bir düşüşe tekabül etmektedir. Bu düşüş, muz lifinin, POM malzemesine oranla daha gevrek bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Kuvvet-uzama eğrileri incelendiğinde, eğriler iki kısımdan oluşmaktadır. Belirli bir miktar doğrusal karaktere sahipken daha sonra eğrisel bir eğilim göstermişlerdir. Buradaki doğrusal kısım malzemenin elastik bölgesini temsil etmektedir. Bu doğrusal eğrinin eğimi elastisite modülünü (Young modülü) vermektedir. Şekil 6.1-6.3 incelendiğinde alkali iyileştirmesi ile malzemelerin elastisite modülünde bir yükseliş olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Çekme deneyi sonunda elde edilen hasarlı malzemelerin görüntüleri Resm 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Saf ve farklı işlem türlerine göre %3 muz lifi takviyeli malzemelerin çekme Kuvvet-Uzama eğrileri



Şekil 6.2. Farklı işlem türlerine göre %6 muz lifi takviyeli malzemelerin çekme Kuvvet-Uzama eğrileri



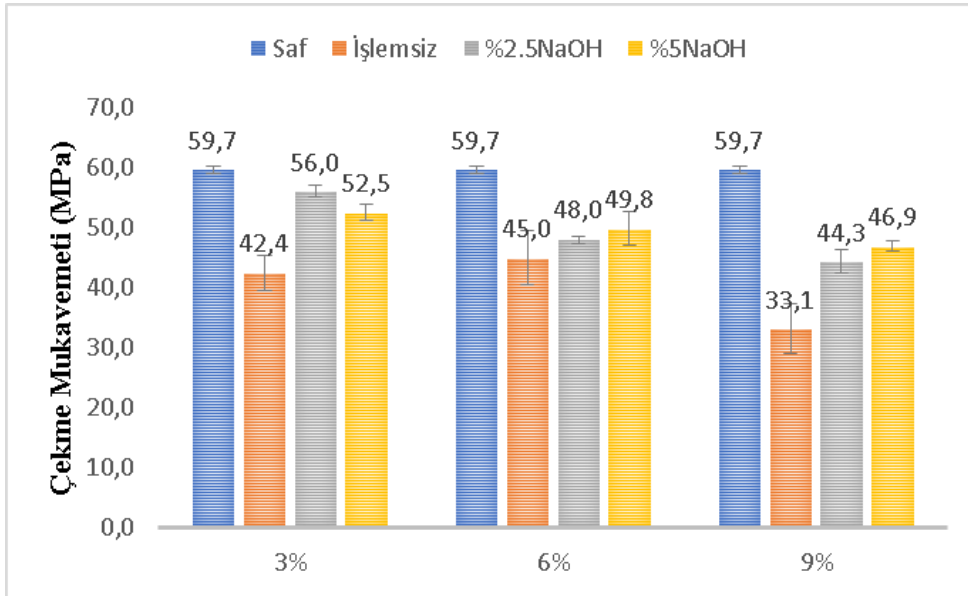
Şekil 6.3. Farklı işlem türlerine göre %9 muz lifi takviyeli malzemelerin çekme Kuvvet-Uzama eğrileri



Resim 6.1. Çekme deneyine tabi tutulmuş kompozit malzemeler

Çekme deneyi sonucunda elde edilen kuvvet-uzama eğrilerinde maksimum kuvvet kesit alana bölünerek, bu çalışmadaki malzemelerin kesit boyutları 4mmx10mm olarak üretilmiştir, malzemelerin sahip oldukları çekme mukavemeti ya da maksimum gerilme

değerleri bulunmuştur. Her numuneden elde edilen test sonuçları ve ortalamaları Tablo 6.2’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 6.4’de elde edilen ortalama değerler ve standart sapmaları grafik halinde gösterilmiştir. Saf POM malzemesinin çekme mukavemeti ortalama 59 MPa olarak elde edilirken, bu değer %3 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerde işlemsiz, %2,5 NaOH ve %5 NaOH oranına sahip çözeltilerde bekletilen malzemelerde sırası ile 42, 56 ve 52 MPa olarak belirlenmiştir. Çekme mukavemeti değeri %6 muz lifi takviyeli malzemelerde sırası ile 45, 48 ve 50 MPa iken, %9 muz lifi takviyeli malzemelerde 33, 44 ve 47 MPa olarak bulunmuştur. Alkali iyileştirmesi yapılmış muz lifi takviyeli malzemelerin çekme mukavemeti herhangi bir işlem yapılmamış muz lifi kullanılan kompozit malzemelere göre bütün muz lifi takviyesi oranlarında artış göstermiştir. Bu değişimin daha detaylı incelenmesi için malzemelerin SEM görüntüleri alınarak ileriki bölümde incelemeler yapılmıştır. Bununla birlikte muz lifi takviyesinin artışı ile malzemelerin çekme mukavemetinde düşüş meydana gelmiştir. Bunun nedenini Tao ve ark. (2009) lif miktarındaki artışın liflerin matris içindeki homojen dağılımı kötüleştirdiğinden dolayı olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 6.4’e bakıldığında çekme mukavemetlerindeki standart sapmanın da alkali iyileştirmesi ile düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.4. Numunelerden elde edilen çekme mukavemetinin ortalama değerleri ve standart sapmaların değişimi

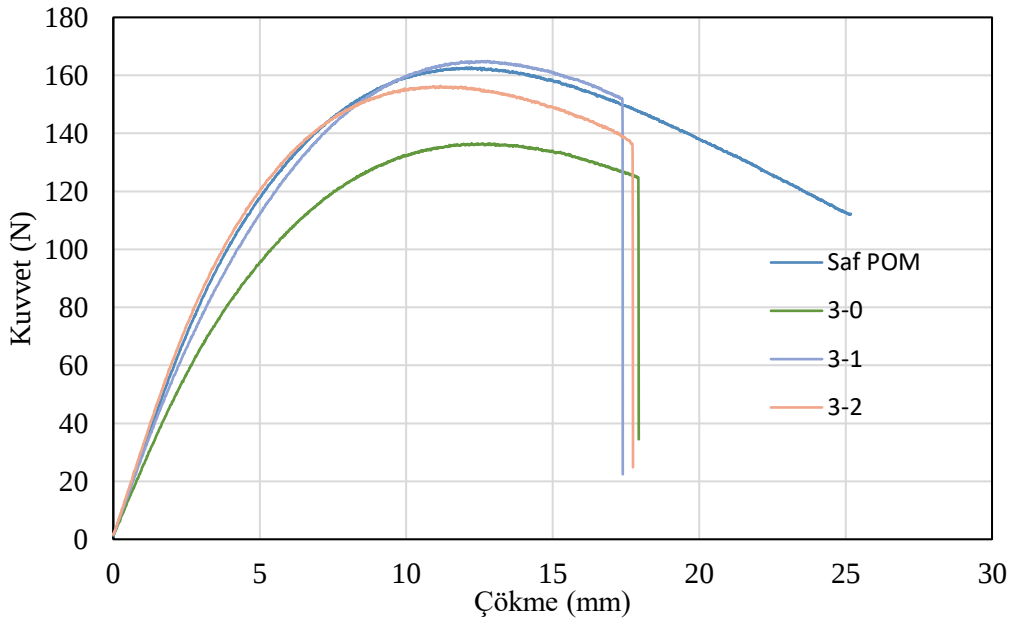
Tablo 6.2. Numunelerden elde edilen çekme testi sonuçları

Numune Numarası	Çekme Gerilmesi	Birim	Ortalama Değer	Birim
Saf POM_1	59,04	MPa	59,70	MPa
Saf POM_2	60,06	MPa		
Saf POM_3	60,00	MPa		
3-0-1	42,00	MPa	42,40	MPa
3-0-2	43,60	MPa		
3-0-3	38,50	MPa		
3-0-4	45,60	MPa		
3-1-1	55,32	MPa	56,00	MPa
3-1-2	55,25	MPa		
3-1-3	56,43	MPa		
3-1-4	57,17	MPa		
3-2-1	53,77	MPa	52,50	MPa
3-2-2	52,84	MPa		
3-2-3	50,52	MPa		
3-2-4	53,00	MPa		
6-0-1	44,35	MPa	45,00	MPa
6-0-2	46,95	MPa		
6-0-3	39,00	MPa		
6-0-4	49,50	MPa		
6-1-1	48,00	MPa	48,00	MPa
6-1-2	48,03	MPa		
6-1-3	48,73	MPa		
6-1-4	47,25	MPa		
6-2-1	50,01	MPa	49,80	MPa
6-2-2	49,80	MPa		
6-2-3	46,26	MPa		
6-2-4	53,15	MPa		
9-0-1	27,14	MPa	33,10	MPa
9-0-2	36,55	MPa		
9-0-3	35,41	MPa		
9-0-4	33,27	MPa		
9-1-1	42,46	MPa	44,30	MPa
9-1-2	43,50	MPa		
9-1-3	47,14	MPa		
9-1-4	44,24	MPa		
9-2-1	46,59	MPa	46,90	MPa
9-2-2	47,36	MPa		
9-2-3	47,76	MPa		
9-2-4	45,95	MPa		

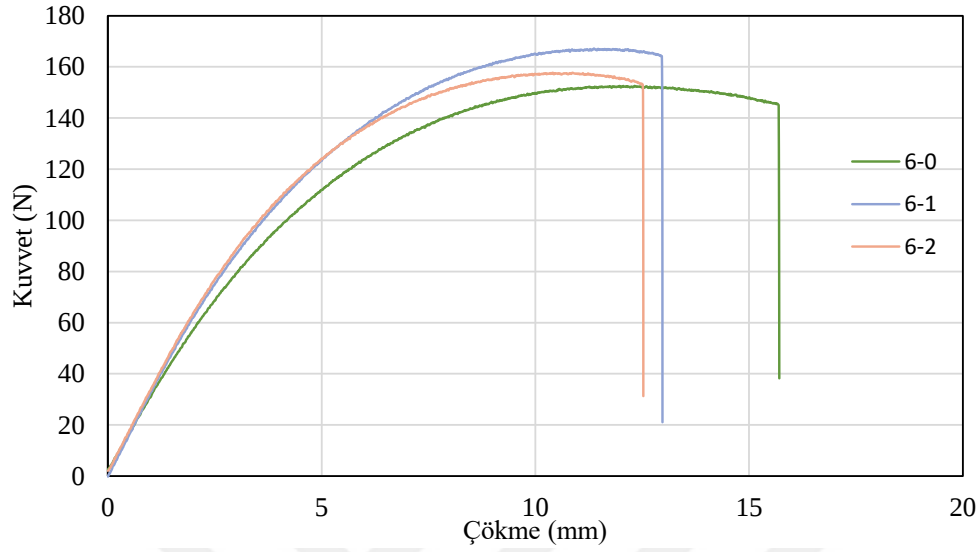
6.3. Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları

Üç-nokta eğilme testi yardımı ile malzemelerin maksimum eğilme gerilmesi ve maksimum çökme değerleri elde edilmiştir. Üç-nokta eğilme deneyi, saf POM malzemesi için üç, diğer üretilen kompozit malzemelerde her bir üretim parametresi için en az dört kez tekrarlanmıştır. Deneye tabi tutulan numune sayıları elde edilen değerlerin yakınlığı nedeni ile değişkenlik göstermiştir. Üç-nokta eğilme testi sırasında elde edilen kuvvet-uzama eğrileri saf POM ve %3 muz lifi takviyesi için Şekil 6.5'te, %6 muz lifi takviyesi için Şekil 6.6'da ve %9 muz lifi takviyesi için Şekil 6.7'de verilmiştir.

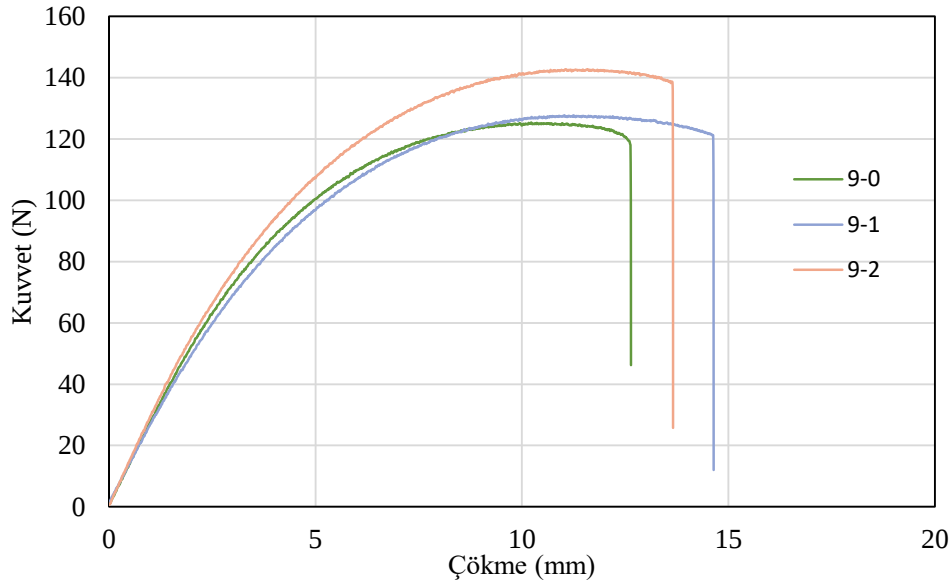
Şekillerden de görüleceği üzere, muz lifi takviyesi ile malzemelerin çökme değerlerinde, çekme deneylerinde olduğu gibi düşüş meydana gelmiştir. İşlem görmemiş muz lifi takviyeli kompozit malzemelerde, tüm muz lifi takviyesi oranları için, alkali işlemi görmüş muz lifi ile takviyeli kompozitlere göre daha düşük kuvvet değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, tüm malzemeler için %9 muz lifi takviyesi ile kuvvet değerlerinde düşüş görülmüştür.



Şekil 6.5. Saf ve farklı işlem türlerine göre %3 muz lifi takviyeli malzemelerin üç-nokta eğilme testi Kuvvet-Çökme eğrileri



Şekil 6.6. Farklı işlem türlerine göre %6 muz lifi takviyeli malzemelerin üç-nokta eğilme testi Kuvvet-Çökme eğrileri



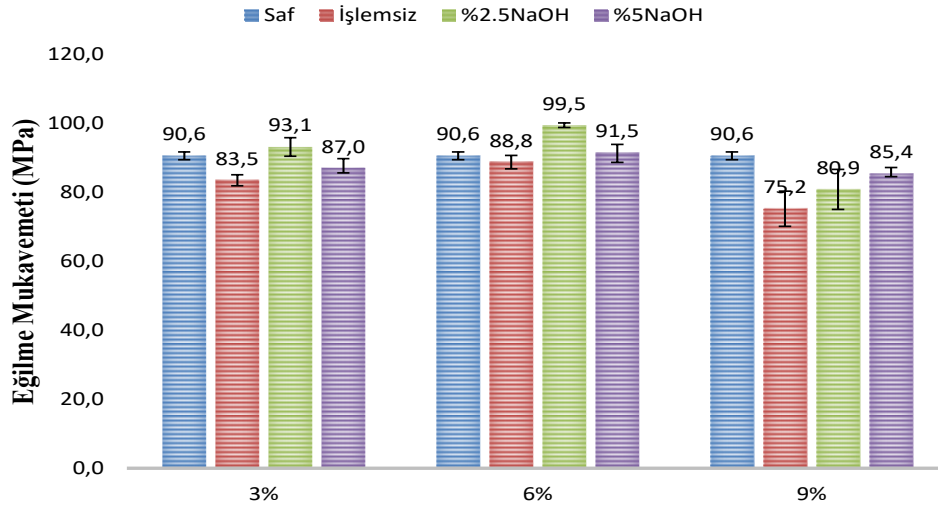
Şekil 6.7. Farklı işlem türlerine göre %9 muz lifi takviyeli malzemelerin üç-nokta eğilme testi Kuvvet-Çökme eğrileri

Kuvvet-çökme eğrilerinden elde edilen maksimum kuvvetin Denklem 6.1’de yerine konulması ile malzemelerin eğilme mukavemetleri bulunmuştur ve Tablo 6.2’de verilmiştir. Ayrıca, Şekil 6.8’de ortalama değerler ve standart sapmalar gösterilmiştir.

$$\sigma_{eğilme} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

6.1

Burada, P maksimum kuvvet, L destekler arası mesafe, b numune genişliği ve h numune kalınlığıdır. Saf POM malzemesinin eğilme mukavemeti 90 MPa iken, işlemsiz, %2,5 alkali ve %5 alkali ile işlem görmüş %3 muz lifi takviyeli malzemelerde sırasıyla 83, 93, 87 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler %6 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerde ise sırasıyla 89, 99 ve 91 MPa olarak elde edilmiştir. Yüzde üç ve yüzde altı muz lifi takviyeli malzemelerde %2,5 alkali işlemi ile saf POM malzemeye göre daha yüksek eğilme mukavemetleri elde edilmiştir. Yüzde altı muz lifi takviyeli ve 2,5 alkali ile işlem görmüş malzemenin eğilme mukavemeti saf POM malzemesinin eğilme mukavemetinden yaklaşık %10 daha yüksektir. Yüzde 5 alkali malzemesi ile işlem görmüş malzemesinin eğilme mukavemeti ise saf POM malzemesi ile hemen hemen aynıdır. Bunun yanında, muz lifi takviye oranının %9'a yükseltilmesi ile malzemelerin eğilme mukavemetlerinde düşüş meydana gelmiştir. Sonuç olarak kompozit malzemelerde muz liflerine uygulanan alkali muamelesi ile alkali çözeltideki NaOH miktarına bağlı olarak eğilme mukavemetlerinde değerlerinde artış sağlandığı görülmüştür.



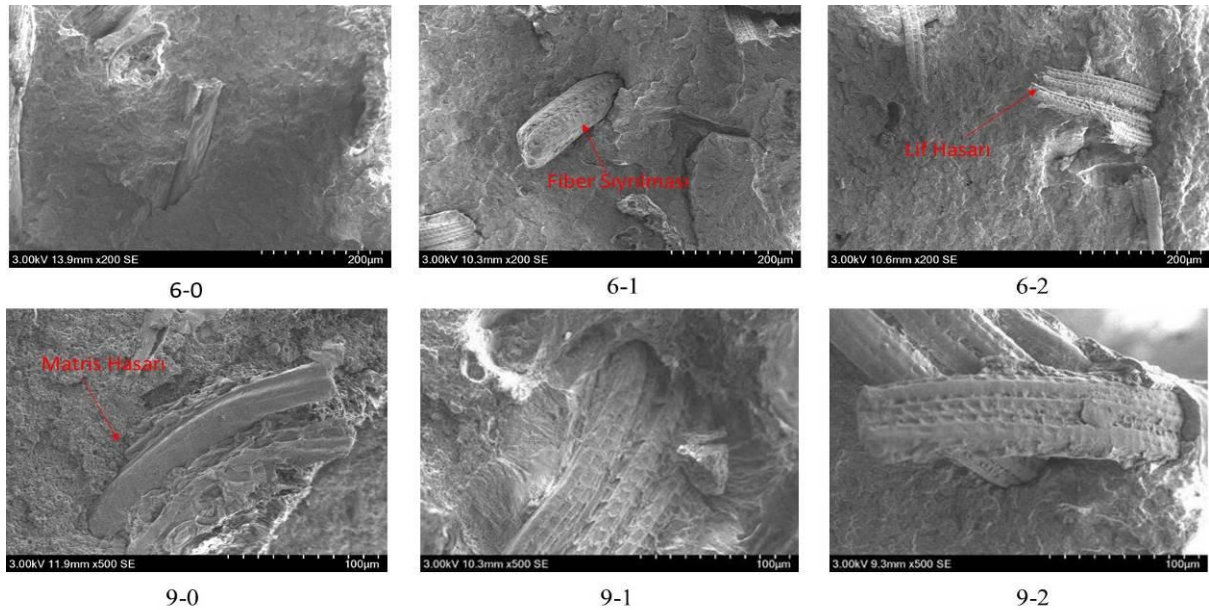
Şekil 6.8. Numunelerden elde edilen eğilme mukavemetini ortalama değerleri ve standart sapmalarının değişimi

Tablo 6.3. Numunelerden elde edilen eğilme testi sonuçları

Numune Numarası	Eğilme Gerilmesi	Birim	Ortalama Değer	Birim
Saf POM_1	91,90	MPa	90,60	MPa
Saf POM_2	89,90	MPa		
Saf POM_3	89,90	MPa		
3-0-1	85,50	MPa	83,50	MPa
3-0-2	82,40	MPa		
3-0-3	82,00	MPa		
3-0-4	84,00	MPa		
3-1-1	88,41	MPa	93,10	MPa
3-1-2	93,50	MPa		
3-1-3	94,83	MPa		
3-1-4	94,90	MPa		
3-1-5	94,08	MPa		
3-2-1	85,80	MPa	87,00	MPa
3-2-2	85,30	MPa		
3-2-3	84,80	MPa		
3-2-4	87,80	MPa		
3-2-5	91,40	MPa		
6-0-1	88,00	MPa	88,80	MPa
6-0-2	87,00	MPa		
6-0-3	91,50	MPa		
6-0-4	88,50	MPa		
6-1-1	99,50	MPa	99,50	MPa
6-1-2	99,80	MPa		
6-1-3	98,50	MPa		
6-1-4	100,00	MPa		
6-2-1	93,00	MPa	91,50	MPa
6-2-2	90,00	MPa		
6-2-3	89,00	MPa		
6-2-4	94,00	MPa		
9-0-1	78,80	MPa	75,20	MPa
9-0-2	81,80	MPa		
9-0-3	71,40	MPa		
9-0-4	69,50	MPa		
9-0-5	74,60	MPa		
9-1-1	80,70	MPa	80,90	MPa
9-1-2	77,10	MPa		
9-1-3	89,10	MPa		
9-1-4	76,50	MPa		
9-2-1	86,30	MPa	85,40	MPa
9-2-2	82,60	MPa		
9-2-3	87,30	MPa		
9-2-4	84,90	MPa		
9-2-5	85,80	MPa		

6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

Şekil 6.9’da muz lifi takviyeli kompozit numunelerinin çekme testi sonrası hasarlı yüzeylerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.9’da, %6-9 muz lifi takviyeli alkali muamelesiz, %2,5 NaOH muamelesi görmüş ve %5 NaOH muamelesi görmüş numunelere ait görüntüler verilmiştir. Kimyasal işlemlerden önce ve sonra muz liflerini morfolojisi karşılaştırılmıştır. Lif yüzeyi, lif ve matris arasındaki ara yüzey bağlanmasında çok önemli bir rol oynar ve iyi bir arayüzey yapışması daha iyi mekanik özellikler sağlar (Asim ve ark., 2016). Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, hemiselüloz, lignin, mumlar, pektin vb. gibi selülozik olmayan bileşiklerin uzaklaştırılmasından etkilenir çünkü bu bileşenlerin doğal liflerin yüzeyinde bulunması, takviye ve matris fazı arasındaki ara yüzey bağını engeller (Latif ve ark., 2019). Doğal liflerin alkali ve silan gibi farklı kimyasallarla işlenmesi, doğal liflerin kimyasal bileşimini, yüzey topografyasını ve morfolojisini değiştirir. Doğal liflerin kimyasal işlemleri, doğal liflerden selülozik olmayan bileşikleri uzaklaştırmak, doğal liflerin matris malzemesi ile uyumluluğunu geliştirmek, doğal liflerin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek, termal kararlılığını iyileştirmek için gereklidir (Komuraiah ve ark., 2014; Amiri ve ark., 2015; Dayo ve ark., 2017).

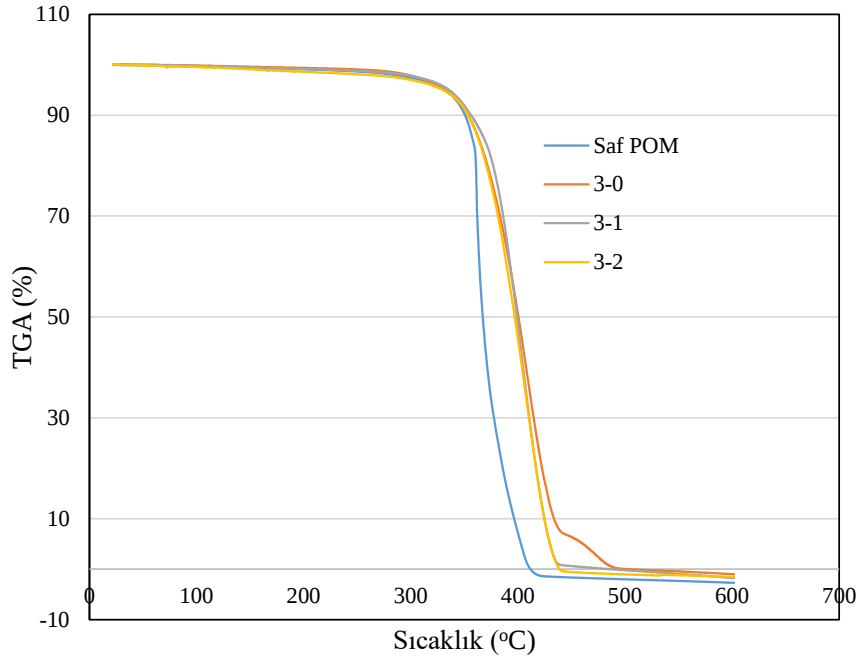


Şekil 6.9. İşlem görmemiş ve alkali işlemi görmüş kompozit malzemelerin SEM görüntüleri

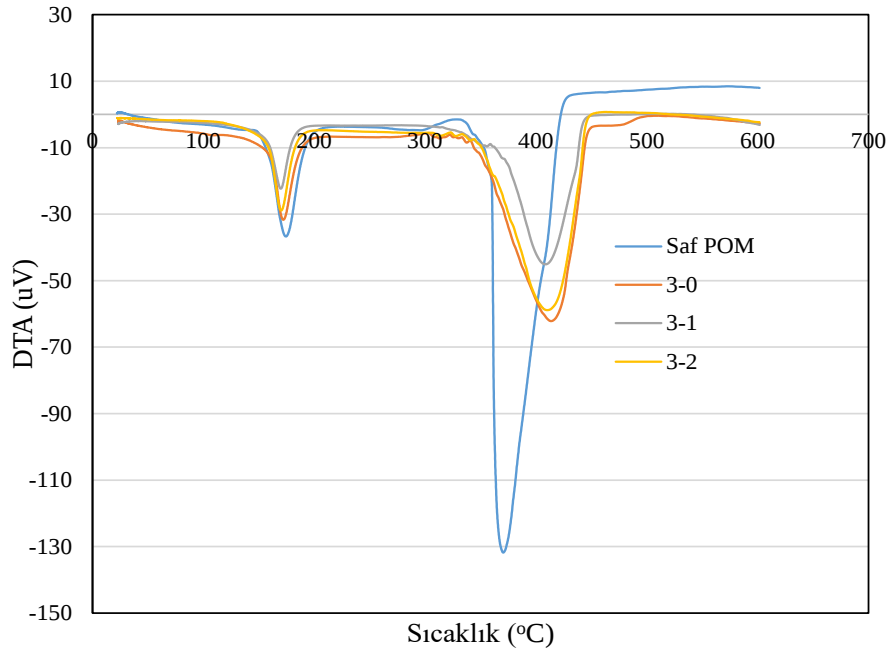
Şekil 6.9’da da görüldüğü üzere doğal elyaflar alkali işlemi sonrasında daha pürüzlü hale gelmiştir. Bu da matris malzemesi ile daha iyi bir arayüzey yapışması sağlayacaktır. Böylece daha iyi mekanik özellikler sağlayacaktır. Çekme ve üç-nokta eğilme mukavemetleri incelendiğinde alkali işlem görmüş muz lifi takviyeli kompozit malzemeler daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Ayrıca, kompozitlerin çekme ve üç nokta eğilme mukavemetindeki ve Young modülündeki artış, lifteki selüloz yüzdesini artıran lignin içeriğinin ve diğer selülozik olmayan malzemenin çıkarılmasından kaynaklanmaktadır (Vishnu ve ark., 2018).

6.5. Termogravimetrik Analiz (TGA/DTA) Sonuçları

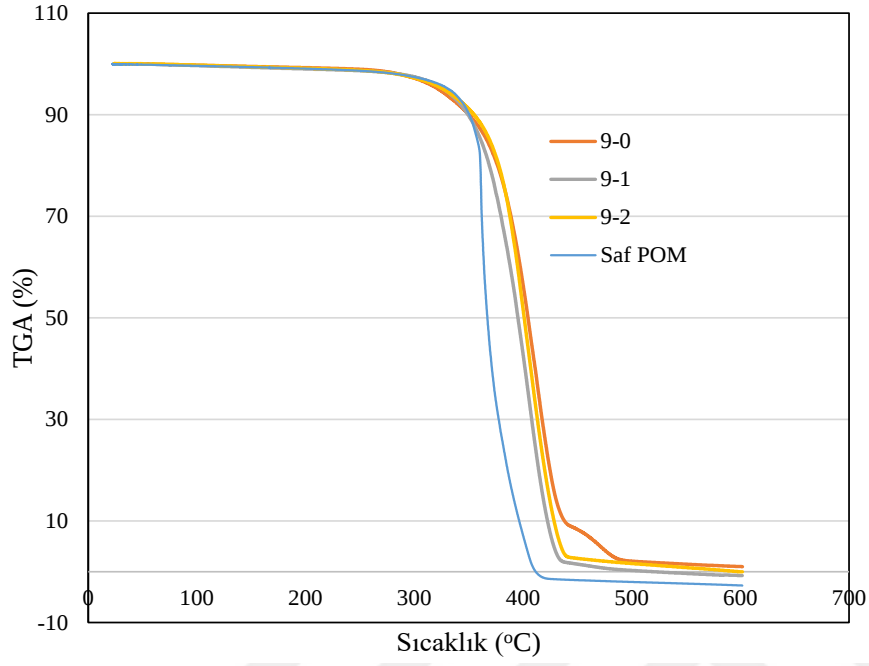
Doğal lif takviyeli kompozitlerin termal kararlılığı, kompozit malzeme için önemli bir özelliktir (Tusnim ve ark., 2022). Hazırlanan kompozitlerin TGA deneyleri, saf POM, %3 muz lifi takviyeli ve %9 muz lifi takviyeli kompozit malzemeler için yapılmıştır. Hazırlanan çeşitli kompozitlerin TGA eğrileri Şekil 6.10 ve Şekil 6.12’de, DTA eğrileri ise Şekil 6.11 ve 6.13’te gösterilmiştir. DTA eğrilerine bakıldığında iki tane endotermik tepe gözükmemektedir. Bunlardan birincisi yaklaşık 170 °C’de gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıkta POM malzemesi erimeye başlamaktadır. İkincisi ise malzemede bozulmanın başladığı yaklaşık 370 °C olan sıcaklıktır. TGA eğrileri incelendiğinde saf POM malzemesi için bozulma 350 °C başlayıp 420 °C son bulmuştur. Bu değerler işlem görmemiş %3 muz lifi takviyeli malzemede ise sırasıyla 350 °C ve 490 °C olarak belirlenmiştir. Ancak, 440 °C malzemenin %93’ü bozulmuştur. Bunun nedeni, alkali işlem görmemiş muz lifinde bulunan yabancı malzemelerin bozulma sıcaklığının muz lifinin bozulma sıcaklığından daha yüksek olmasıdır. Alkali işlemi görmüş malzemelerde ise bozulma aynı derecede başlamış ancak 440 °C’de son bulmuştur. Benzer sonuçlar %9 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerde de elde edilmiştir. Sonuç olarak, muz lifi takviyeli kompozit malzemeler saf POM malzemesi ile karşılaştırıldığında daha yüksek termal kararlılığa sahiptir.



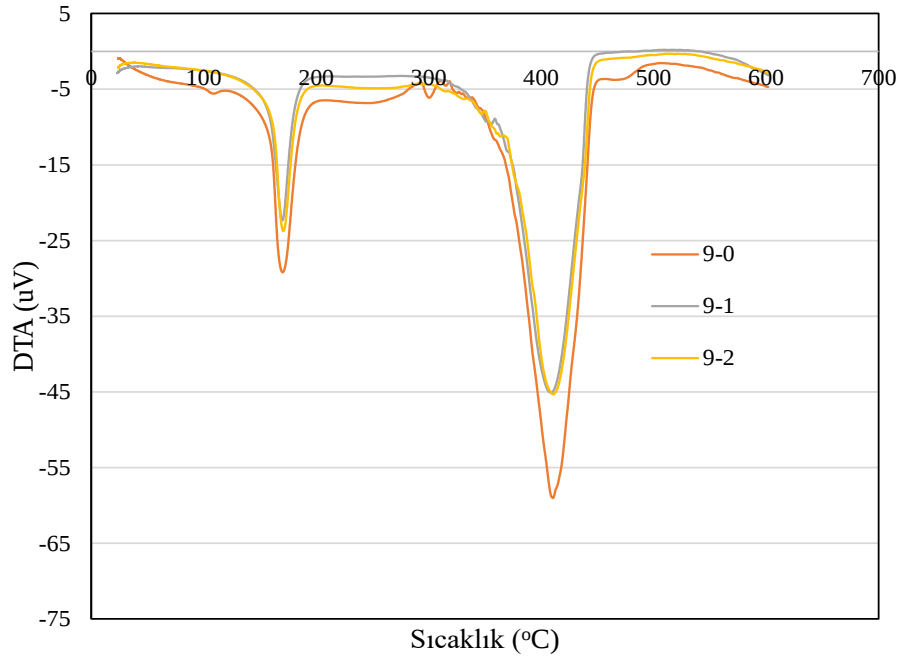
Şekil 6.10. Saf POM ve %3 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin TGA eğrileri



Şekil 6.11. Saf POM ve %3 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin DTA eğrileri



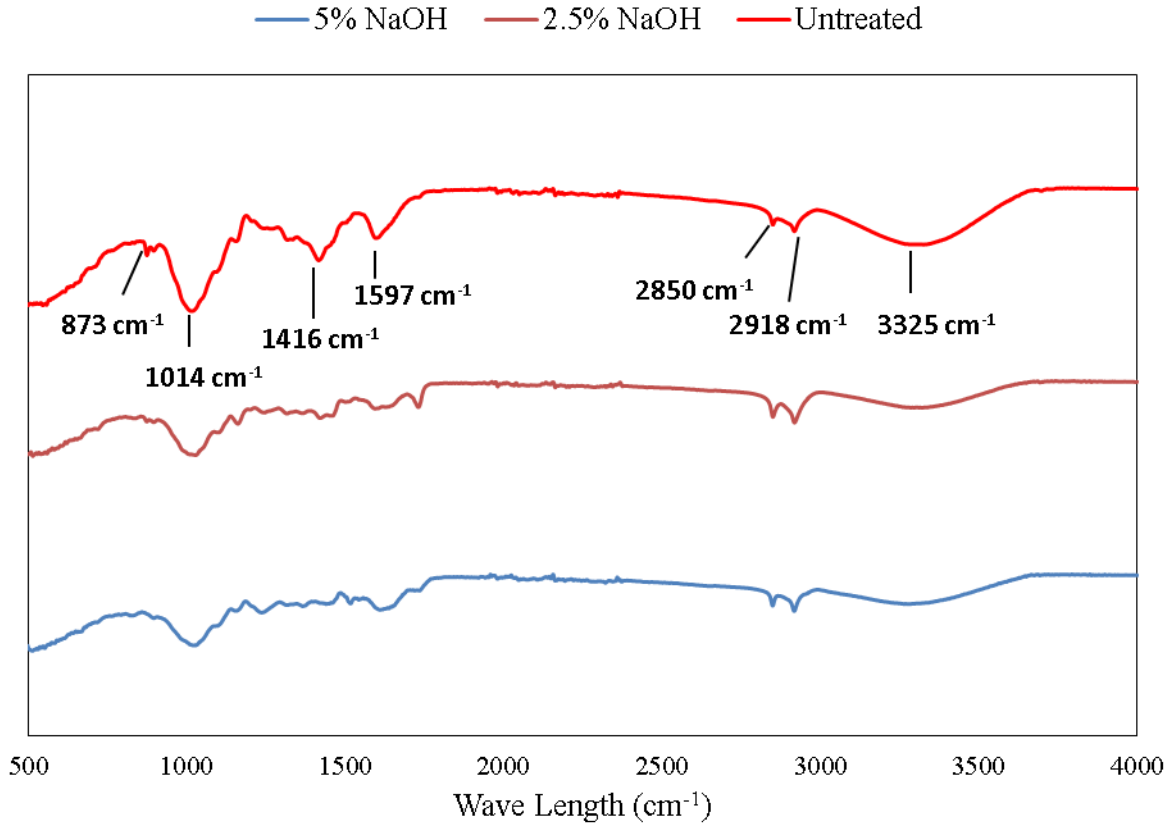
Şekil 6.12. %9 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin TGA eğrileri



Şekil 6.13. %9 muz lifi takviyeli kompozit malzemelerin DTA eğrileri

6.6. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) Analizi Sonuçları

Alkali muamelesiz, %2,5 NaOH muameleli ve %5 NaOH muameleli muz liflerine ait FTIR spektrumları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Alkali muamelesiz, %2,5 NaOH muameleli ve %5 NaOH muameleli muz liflerine ait FTIR spektrumları

Yapılan analiz sonucu alkali muamelesi yapılmış ve ham numuneler arasında 873 cm⁻¹ ve 1014 cm⁻¹ pik yoğunluğunda azalma görülmüştür. Bu absorpsiyon bantlarında bulunan pikler liflerin kristalin ve amorf yapılarına aittir. (Yasemin ve ark, 2017). Alkali muamele sonrası bu bantlardaki düşüşün sebebi olarak glikozidik bağların C-H gerilmesinde azalma, selüloz, lignin ve hemiselülozlarda bulunan alkolün C-O bağlarının esnemesi ve elyaftan selüloz, lignin ve hemiselülozların ayrıldığını gösterir (Vardhini ve ark., 2019). 1416 cm⁻¹'deki pikin C-H deformasyonuna ve aromatik halka titreşimlerine karşılık geldiği ve lignin

varlığından kaynaklandığı belirtilmektedir (Das ve ark., 2017). Bu pik yoğunluğundaki azalma da liflerdeki lignin ve hemiselüloz içeriklerinin giderildiğini gösterir (Vardhini ve ark., 2019). 1597 cm^{-1} 'deki pik bölgesinin bir çalışmada ligninde bulunan alkenlerin C=C gerilmesi ile zirve yaptığı ve buradaki yoğunluğun azalmasında NaOH ile muamelesi sonucu liflerde ligninin uzaklaştırıldığını belirtmektedir (Vardhini ve ark., 2019). Bir diğer çalışmada ise hemiselülozun asetil grubuna ait C=O gerilmesi ve adsorbe edilmiş su ile ilişkili olduğu, alkali muamele sonrası pik yoğunluğundaki azalmanın, hemiselülozların kısmen uzaklaşmasına bağlandığı belirtilmiştir (Narlıoğlu, 2022). 2900–3500 cm^{-1} 'deki güçlü absorpsiyon, selüloz ve hemiselülozun –CH grubuna ait birçok hidroksil (O – H) ve C – H gerilme titreşimlerinin varlığına işaret eder. Çok yoğun ve geniş absorpsiyon görünümü, birçok O - H grubunu veya lifin hidrofilik davranışını gösterir (Twebaze ve ark, 2022). Liflerdeki C-H gerilme titreşimine ~2925 cm^{-1} 'deki bantların karşılık geldiği bilinmektedir (Das ve ark, 2017). 2850 cm^{-1} ve 2918 cm^{-1} piklerindeki alkali muamelesi sonrası yoğunluk azalması hemiselülozların giderildiğini gösterir (Twebaze ve ark, 2022). Alkali muamelesi sonucu 3325 cm^{-1} pik noktasındaki bant yoğunluklarında hafif bir azalma görülmüştür. Yapılan literatür taramasında Bazı çalışmalar, bunun nedeninin hidroksil (OH) gruplarındaki azalmalardan kaynaklandığını bildirmişler ve alkali ile muamele edilen liflerin 3400 cm^{-1} bölgesindeki FTIR spektrumundaki azalmanın, alkali muamelesinden sonra liflerin hidrofobik hale gelmesine bağlanmışlardır (Narlıoğlu, 2022). Bu çalışmada alkali muamele sonucu muz liflerinin yapısındaki hemiselüloz ve ligninin uzaklaştırılması, bu piklerin yoğunluğunun azalmasına neden olmuştur. Böylece FTIR analizi, lignin ve hemiselüloz giderimini doğrulamıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada polimer matrisli kompozitlerde sentetik takviyeler yerine doğal lif kullanımının uygulanabilirliği tartışılmış, doğal liflerin kompozitlerde kullanımı ve uygulanan farklı yüzey işlemleri ile bunların liflerde meydana getirdiği değişimler hakkında literatür taraması yapılmıştır. Doğal lif takviyeli kompozitlerin kimyasal iyileştirme yöntemi uygulanarak mekanik ve termal özelliklerindeki değişimi inceleyebilmek adına matris malzemesi olarak POM, takviye malzemesi olarak ise muz lifi seçilmiş, ağırlıkça %3,%6,%9 oranlarda POM-Muz Lifi karışımları hazırlanmış, liflere ağırlıkça %2,5 ve %5,0 oranlarda alkali muamelesi (NaOH) uygulanmış ve bu şekilde elde edilen kompozitlerin mekanik ve termal nitelikleri analiz edilmiştir. Yapılan analizlere dayanarak aşağıdaki sonuçlar ve öneriler çıkarılmıştır.

Sonuçlar;

- Mevcut literatür, İşlenmemiş lif yüzeylerin pürüzsüzlüğünün matris malzemesi ile düşük mekanik kilitleme uyumsuzluğu meydana getirdiğini göstermektedir. Genel olarak NaOH kimyasal iyileştirme yöntemi ile elde edilen kompozitlerde çekme deneyi verilerinden görüldüğü üzere alkali çözünürlük seviyesi ile doğru orantılı olarak çekme değerlerinde artış sağlandığı görülmüştür. Benzer şekilde eğilme deneyi sonuçlarında da genel olarak artış gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinden, lif yüzeyinde bulunan atık maddelerin alkali muamelesi (NaOH) ile çözünürlük seviyesine bağlı olarak giderildiği ve doğal lif takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin alkali muamelesi (NaOH) ile iyileşme gösterdiği görülmüştür.
- Elde edilen MFI değerleri Doğal lif takviyeli kompozitlerin üretiminde, ekstrüzyon ve enjeksiyon gibi malzemenin ısı maruziyeti ile akışkan hale gelerek kalıplandığı yöntemlerin kullanılabilirliğini göstermiş fakat lif takviyesinin artışı ile uygunluğunun test edilmesi gerektiği görülmüştür. Liflere uygulanan alkali muamelesinin MFI değerlerinde iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir.
- Termogravimetrik analiz sonuçları karşılaştırıldığında kompozitlerin termal kararlılığının saf POM malzemesine göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. NaOH muamelesi uygulanan kompozit numunelerde ise işlemsiz kompozit numunelere kıyasla bozulma

sıcaklığının düştüğü görülmüştür. Bu durumun NaOH muamelesi ile liflerin içerisindeki yabancı malzemelerin uzaklaştırılması sonucu oluştuğu tespit edilmiştir.

- Alkali muamelesi uygulanan ve ham muz liflerinin FTIR spektrumları incelenmiş ve alkali muamelesi sonucu muz liflerinin yapısındaki hemiselüloz ve ligninin uzaklaştırıldığı görülmüştür. Yapılan literatür taraması ile hemiselüloz ve ligninin lif yapısından uzaklaştırılmasının, liflerin hidrofobik özellik kazanmasını ve kompozitlerin mekanik özelliklerinde artış sağladığı görülmüştür. Alkali muamelesi uygulanan kompozit numunelerin, muamelesiz kompozitlerle çekme ve üç nokta eğilme testlerinde elde edilen verileri karşılaştırıldığında liflerin mekanik özelliklerindeki artış tespit edilmiş olup FTIR spektrum analiz sonuçları da bu iyileşmeyi destekler niteliktedir.

Öneriler;

- Matris malzemesi ve takviye lif malzemesinin daha düşük tane boyutlarında kullanımı ile daha homojen karışımlar elde edilebilir.
- Tek vidalı ekstrüzyon makinesi yerine çift vidalı ekstrüzyon makinesi kullanılarak daha homojen karışımlar elde edilebilir.
- POM ve muz lifi malzemelerinin nem tutma eğilimleri göz önünde bulundurulduğunda ısıtma işlemleri öncesi nem alma işlemi uygulanması sağlıklı olacaktır.
- POM-ML kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini artırmak adına üçüncü bir takviye malzemesi kullanılabilir. Ayrıca liflere uygulanan NaOH muamelesi sonrası farklı bir kimyasal iyileştirme yöntemi denenebilir.
- Üretilen kompozitler gama ışımasına tabi tutularak matris ve dolgu malzemesi arasındaki fiziksel bağlanma mekanizması güçlendirilebilir.

8. KAYNAKLAR

- Abdullah-Al-Kafi., Abedin, M.Z., Beg, M.D.H., Pickering, K.L., Khan, M.A.,** 2006. Study on the mechanical properties of jute/glass fiber-reinforced unsaturated polyester hybrid composites: Effect of surface modification by ultraviolet radiation. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(6): 575-588.
- Adekunle, K.F.,** 2015. Surface treatments of natural fibres—A review: Part 1. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 5(03): 41.
- Amiri, A., Ulven, C.A., Huo, S.,** 2015. Effect of chemical treatment of flax fiber and resin manipulation on service life of their composites using time-temperature superposition. *Polymers*, 7(10): 1965-1978.
- Arumugam, C., Arumugam, G.S., Ganesan, A., Muthusamy., S.,** 2021. Mechanical and Water Absorption Properties of Short Banana Fiber/Unsaturated Polyester/Molecular Sieves+ ZnO Nanorod Hybrid Nanobiocomposites. *ACS Omega*, 6(51): 35256-35271.
- Asim, M., Jawaidd, M., Abdan, K., Ishak, M.R.,** 2016. Effect of alkali and silane treatments on mechanical and fibre-matrix bond strength of kenaf and pineapple leaf fibres. *Journal of Bionic Engineering*, 13(3): 426-435.
- Awais, H., Nawab, Y., Amjad, A., Anjang, A., Akil, H.M., Abidin, M.S.Z.,** 2021. Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review. *Composites Part C. Open Access*, 4: 100082.
- Bar, M., Belay, H., Ramasamy, A., Das, A., Ouagne, P.,** 2021. Refining of banana fiber for load bearing application through emulsion treatment and its comparison with other traditional methods. *Journal of Natural Fibers*, 1:18.
- Beć, K. B., Grabska, J., Badzoka, J., Huck, C.W.,** 2021. Spectra-structure correlations in NIR region of polymers from quantum chemical calculations. The cases of aromatic ring, C= O, C≡ N and C-Cl functionalities. *Spectrochimica Acta Part A. Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 262: 120085.
- Binu Kumar, V.J., Bensam Raj, J., Karuppasamy, R., Thanigaivelan, R.,** 2022. Influence of chemical treatment and moisture absorption on tensile behavior of neem/banana fibers reinforced hybrid composites: an experimental investigation. *Journal of Natural Fibers*, 19(8): 3051-3062.
- Bledzki, A.K., Mamun, A.A., Lucka-Gabor, M., Gutowski, V.S.,** 2008. The effects of acetylation on properties of flax fibre and its polypropylene composites. *Express Polymer Letters*, 2(6): 413-422.
- Bledzki, A.K., Reihmane, S., Gassan, J.,** 1996. Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 59(8): 1329-1336.

- Borchani, K. E., Carrot, C., & Jaziri, M.,** 2015. Untreated and alkali treated fibers from Alfa stem: effect of alkali treatment on structural, morphological and thermal features. *Cellulose*, 22(3): 1577-1589.
- Bordón, P., Elduque, D., Paz, R., Javierre, C., Kusić, D., Monzón, M.,** 2022. Analysis of processing and environmental impact of polymer compounds reinforced with banana fiber in an injection molding process. *Journal of Cleaner Production*, 379: 134476.
- Chang, W.P., Kim, K.J., Gupta, R.K.,** 2009. Ultrasound-assisted surface-modification of wood particulates for improved wood/plastic composites. *Composite Interfaces*, 16(7-9): 687-709.
- Chichane, A., Boujmal, R., El Barkany, A.,** 2022. Bio-composites and bio-hybrid composites reinforced with natural fibers. *Materials Today: Proceedings*.
- Dayo, A.Q., Gao, B.C., Wang, J., Liu, W.B., Derradji, M., Shah, A.H., Babar, A.A.,** 2017. Natural hemp fiber reinforced polybenzoxazine composites: curing behavior, mechanical and thermal properties. *Composites Science and Technology*, 144: 114-124.
- Dan-Asabe, B.,** 2018. Thermo-mechanical characterization of banana particulate reinforced PVC composite as piping material. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 30(4): 296-304.
- Das, D., Mukherjee, M., Pal, A.K., Ghosh, A.K.,** 2017. Extraction of xylem fibers from *Musa sapientum* and characterization. *Fibers and Polymers*, 18: 2225-2234.
- Devnani, G.L., Sinha, S.,** 2019. Effect of nanofillers on the properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 18: 647-654.
- Dizon, J.R.C., Espera Jr, A.H., Chen, Q., Advincula, R.C.,** 2018. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive manufacturing*, 20: 44-67.
- Doğan, A., Kısmet, Y.,** 2021. Gama Işımasının Kolza Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(3): 490-499.
- Ebnesajjad, S.,** 2011. Surface and material characterization techniques. In Handbook of Adhesives and Surface Preparation. *William Andrew Publishing*, 31-48.
- Ernest, E.M., Peter, A.C.** 2022. Application of selected chemical modification agents on banana fibre for enhanced composite production. *Cleaner Materials*, 5: 100131.
- European Environment Agency,** 2021. European Environment Agency Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990–2019 and Inventory Report 2021, Copenhagen.

- European Parliament Regulation (EU)**, 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 Establishing the Framework for Achieving Climate Neutrality and Amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')(2021). Brüksel.
- Ezeh, E.M., Onukwuli, O.D., Odera, R.S.**, 2019. Novel flame-retarded polyester composites using cow horn ash particles. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(5): 1701-1707.
- Ezeh, E.M., Onukwuli, O.D., Ugonabo, V.I., Odera, R.S., Okeke, O.**, 2020. Characterization of fire retardant properties of cow horn ash particles and thermal behaviour of polyester/Banana peduncle fibre/cow horn ash particle hybrid composites. *J Chem Process Eng Res*, 62: 37-46.
- Fiore, V., Di Bella, G., Valenza, A.**, 2015. The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. *Composites Part B. Engineering*, 68: 14-21.
- Gomes, J., Batra, J., Chopda, V.R., Kathiresan, P., Rathore, A.S.**, 2018. Monitoring and control of bioethanol production from lignocellulosic biomass. In *Waste biorefinery, Elsevier*. 727-749
- Gregersen, E.** 2021. Polymers. <https://www.britannica.com/science/polymer>, 05 Aralık 2022.
- Gupta, U.S., Dhamarikar, M., Dharkar, A., Chaturvedi, S., Tiwari, S., Namdeo, R.**, 2021. Surface modification of banana fiber: a review. *Materials Today: Proceedings*, 43: 904-915.
- Gürler, N., Pekdemir, M.E., Torğut, G., Kök, M.**, 2023. Binary PCL–waste photopolymer blends for biodegradable food packaging applications. *Journal of Molecular Structure*, 1279, 134990.
- Haba, B., Agoudjil, B., Boudenne, A., Benzarti, K.**, 2017. Hygric properties and thermal conductivity of a new insulation material for building based on date palm concrete. *Construction and Building Materials*, 154: 963-971.
- Ho, M.P., Wang, H., Lee, J.H., Ho, C.K., Lau, K.T., Leng, J., Hui, D.**, 2012. Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3549-3562.
- Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., Elharfi, A.**, 2021. Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262: 113640.
- Hsissou, R., Elharfi, A.**, 2020. Rheological behavior of three polymers and their hybrid composites (TGEEBA/MDA/PN),(HGEMDA/MDA/PN) and (NGHPBAE/MDA/PN). *Journal of King Saud University-Science*, 32(1): 235-244.

- Inan, T.Y.**, 2017. Thermoplastic-based nanoblends: preparation and characterizations. In *Recent Developments in Polymer Macro, Micro and Nano Blends*. Woodhead Publishing. 17-56..
- Islam, M.R., Beg, M.D.H., Gupta, A., Mina, M.F.**, 2013. Optimal performances of ultrasound treated kenaf fiber reinforced recycled polypropylene composites as demonstrated by response surface method. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(5): 2847-2856.
- Iso, E.** 2012. 527-1. Plastics—Determination of tensile properties—Part 1: General principles. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland.
- Kılıç, G.B., Karahan, A.G.**, 2010. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve laktik asit bakterilerinin tanısında kullanılması. *Gıda*, 35(6): 445-452.
- Komal, U.K., Lila, M.K., Singh, I.**, 2020. PLA/banana fiber based sustainable biocomposites: a manufacturing perspective. *Composites Part B. Engineering*, 180: 107535.
- Komuraiah, A., Kumar, N.S., Prasad, B.D.**, 2014. Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties. *Mechanics of composite materials*, 50(3): 359-376.
- Kulkarni, A.G., Satyanarayana, K.G., Rohatgi, P.K., Vijayan, K.**, 1983. Mechanical properties of banana fibres (*Musa sepientum*). *Journal of Materials Science*, 18(8): 2290-2296.
- Facts, P.E.P.T.** 2019. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Plastics Europe. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf>, 13 Aralık 2022.
- Kumar, S.S., Duraibabu, D.A., Subramanian, K.**, 2014. Studies on mechanical, thermal and dynamic mechanical properties of untreated (raw) and treated coconut sheath fiber reinforced epoxy composites. *Materials and Design*, 59: 63-69.
- Latif, R., Wakeel, S., Zaman Khan, N., Noor Siddiquee, A., Lal Verma, S., Akhtar Khan, Z.**, 2019. Surface treatments of plant fibers and their effects on mechanical properties of fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 38(1): 15-30.
- Li, X., Tabil, L.G., Panigrahi, S.**, 2007. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1): 25-33.
- Lin, J.X., Su, J.Y., Pan, H.S., Peng, Y.Q., Guo, Y.C., Chen, W.S., Lan, X.W.**, 2022. Dynamic compression behavior of ultra-high performance concrete with hybrid polyoxymethylene fiber and steel fiber. *Journal of Materials Research and*

Technology, 20: 4473-4486.

- Maldas, D., Kokta, B.V., Daneault, C.,** 1989. Influence of coupling agents and treatments on the mechanical properties of cellulose fiber–polystyrene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 37(3): 751-775.
- Masuelli, M.A.,** 2013. Introduction of fibre-reinforced polymers– polymers and composites: concepts, properties and processes. In *Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/41941>, 01 Aralık 2022.
- Mechakra, H., Nour, A., Lecheb, S., Chellil, A.,** 2015. Mechanical characterizations of composite material with short Alfa fibers reinforcement. *Composite Structures*, 124: 152-162.
- Motaleb, K.A., Ahad, A., Laureckiene, G., Milasius, R.,** 2021. Innovative Banana Fiber Nonwoven Reinforced Polymer Composites: Pre-and Post-Treatment Effects on Physical and Mechanical Properties. *Polymers*, 13(21): 3744.
- Mukhopadhyay, S., Fanguero, R.,** 2009. Physical modification of natural fibers and thermoplastic films for composites—a review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 22(2): 135-162.
- Nampoothiri, E.N., Bensam Raj, J., Thanigaivelan, R., Karuppasamy, R.,** 2022. Experimental investigation on mechanical and biodegradation properties of indian almond–kenaf fiber-reinforced hybrid composites for construction applications. *Journal of Natural Fibers*, 19(1): 292-302.
- Naili, H., Jelidi, A., Limam, O., Khiari, R.,** 2017. Extraction process optimization of Juncus plant fibers for its use in a green composite. *Industrial Crops and Products*, 107: 172-183.
- Narlıoğlu, N.,** 2022. Alkali Konsantrasyonunun Odun Unu Takviyeli PVC Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1): 1-1.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD),** 2022 <https://www.oecd.org/environment/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>, 20.11.2022.
- Otani, L.B., Pereira, A.H.A., Melo, J.D.D., Amico, S.C.,** 2014. Elastic Moduli characterization of composites using the Impulse Excitation. Technical-Scientific Informative ATCP Physical Engineering: White Paper. 25 Kasım 2022.
- Parre, A., Karthikeyan, B., Balaji, A., Udhayasankar, R.,** 2020. Investigation of chemical, thermal and morphological properties of untreated and NaOH treated banana fiber. *Materials Today: Proceedings*, 22: 347-352.

- Park, S., Baker, J.O., Himmel, M.E., Parilla, P.A., Johnson, D.K.,** 2010. Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnology for Biofuels*, 3(1): 1-10.
- Pickering, K.L., Efendy, M.A., Le, T.M.,** 2016. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing*, 83: 98-112.
- Pichandi, S., Rana, S., Parveen, S., Fangueiro, R.,** 2018. A green approach of improving interface and performance of plant fibre composites using microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 197: 137-146.
- Pil, L., Bensadoun, F., Pariset, J., Verpoest, I.,** 2016. Why are designers fascinated by flax and hemp fibre composites?. *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing*, 83: 193-205.
- Prasad, N., Agarwal, V.K., Sinha, S.,** 2016. Banana fiber reinforced low-density polyethylene composites: effect of chemical treatment and compatibilizer addition. *Iranian Polymer Journal*, 25(3): 229-241.
- Racca, L.M., Pacheco, E.B.A.V., Bertolino, L.C., Campos, C.X.D.S., Andrade, M.C.D., de Sousa, A.M.F., Silva, A.L.N.D.,** 2018. Composites based on polypropylene and talc: processing procedure and prediction behavior by using mathematical models. *Advances in Condensed Matter Physics*, 2018.
- Rokbi, M., Osmani, H., Imad, A., Benseddiq, N.,** 2011. Effect of chemical treatment on flexure properties of natural fiber-reinforced polyester composite. *procedia Engineering*, 10: 2092-2097.
- Saba, N., Jawaid, M.,** 2018. A review on thermomechanical properties of polymers and fibers reinforced polymer composites. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 67: 1-11.
- Sakata, I., Morita, M., Tsuruta, N., Morita, K.,** 1993. Activation of wood surface by corona treatment to improve adhesive bonding. *Journal of Applied Polymer Science*, 49(7): 1251-1258.
- Sanjay, M.R., Madhu, P., Jawaid, M., Senthamaraiannan, P., Senthil, S., Pradeep, S.,** 2018. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 566-581.
- Science History Institute:** Science of Plastics, 2022. <https://www.sciencehistory.org/sites/default/files/science-of-plastics-2.pdf>, 05 Aralık 2022.
- Sever, K., Sarikanat, M., Seki, Y., Erkan, G., Erdoğan, Ü.H.,** 2010. The mechanical properties of γ -methacryloxypropyltrimethoxy silane-treated jute/polyester

- composites. *Journal of Composite Materials*, 44(15): 1913-1924.
- Spurnins, E.**, 2009. Mechanical properties of flax fibers and their composites (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).
- Tao, Y. U., Yan, L. I. ve Jie, R. E. N.** 2009. Preparation and properties of short natural fiber reinforced poly (lactic acid) compo sites. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19: 651-655.
- Twebaze, C., Zhang, M., Zhuang, X., Kimani, M., Zheng, G., Wang, Z.**, 2022. Banana Fiber Degumming by Alkali Treatment and Ultrasonic Methods. *Journal of Natural Fibers*, 19(16): 12911-12923.
- Tusnim, J., Jenifar, N.S., Hasan, M.**, 2022. Effect of chemical treatment of jute fiber on thermo-mechanical properties of jute and sheep wool fiber reinforced hybrid polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 35(11): 1981-1993.
- URL-1**, 2022. <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyacetal-polyoxymethylene-pom-plastic>, Polyacetal: Detailed Information on POM and Its Features. 01 Aralık 2022.
- URL-2**, 2022. <https://www.tekkim.com.tr/detail.php?pcode=TK.170511.01002&groupcode=TK.170511#documentation>, TK.170511 Sodium Hydroxide (Granulles), 01 Aralık 2022.
- URL-3**, 2022. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-tensile-testing>. What Is Tensile Testing?. 17 Aralık 2022.
- URL-4**, 2022. <https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-electron-microscopy/>, 17 Aralık 2022.
- URL-5**, 2022. <https://aveonj.com/hava-uzay-yapilarinda-kompozit-malzeme-kullanimi/>, 17 Aralık 2022.
- URL-6**, 2022. <https://fr.retif.be/raphia-naturel-en-floche-de-1-kg.html>, 14 Aralık 2022.
- URL-7**, 2022 <https://www.tarlasera.com/galeri-41-alanya%E2%80%99da-muz-lifinden-mucizeler-yaratiliyor!>, 11 Aralık 2022.
- Vardhini, K.J., Murugan, R., Rathinamoorthy, R.** 2019. Effect of alkali treatment on physical properties of banana fibre. *Indian Journal of Fibre and Textile Research (IJFTR)*, 44(4): 459-465.
- Vijay, R., Vinod, A., Singaravelu, D.L., Sanjay, M.R., Siengchin, S.**, 2021. Characterization of chemical treated and untreated natural fibers from Pennisetum

orientale grass-A potential reinforcement for lightweight polymeric applications. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(1), 43-49.

- Vishnu Vardhini, K.J., Murugan, R., Surjit, R.,** 2018. Effect of alkali and enzymatic treatments of banana fibre on properties of banana/polypropylene composites. *Journal of Industrial Textiles*, 47(7): 1849-1864
- Xie, Y., Hill, C.A., Xiao, Z., Militz, H., Mai, C.,** 2010. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing*, 41(7): 806-819.
- Yasemin, S., Selli, F., Korhan, Ş., Erdoğan, Ü.H.,** 2017. Kompozit malzeme üretiminde kullanılacak bitkisel liflerin alkali modifikasyonu sonrası morfolojik ve kimyasal yapılarındaki değişimin incelenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 24(108): 222-232.
- Youbi, S.B.T., Tagne, N.R.S., Harzallah, O., Huiskens, P.W.M., Stanislas, T.T., Njeugna, E., Bistac-Brogly, S.,** 2022. Effect of alkali and silane treatments on the surface energy and mechanical performances of *Raphia vinifera* fibres. *Industrial Crops and Products*, 190: 115854.
- Zhang, X., He, A., Guo, R., Zhao, Y., Yang, L., Morita, S., .. Ozaki, Y.** 2022. A new approach to removing interference of moisture from FTIR spectrum. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 265, 120373.
- Zheng, H., Gong, H., Cao, L., Lin, H., Ye, L.,** 2021. Photoconjugation of temperature-and pH-responsive polymer with silica nanoparticles for separation and enrichment of bacteria. *Colloids and Surfaces B. Biointerfaces*, 197: 111433.
- Zheng, S., Bellido-Aguilar, D.A., Hu, J., Huang, Y., Zhao, X., Wang, Z., Chen, Z.,** 2019. Waterborne bio-based epoxy coatings for the corrosion protection of metallic substrates. *Progress in Organic Coatings*, 136: 105265.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Çağdaş GÜNEŞ

Yabancı Dil: İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı:

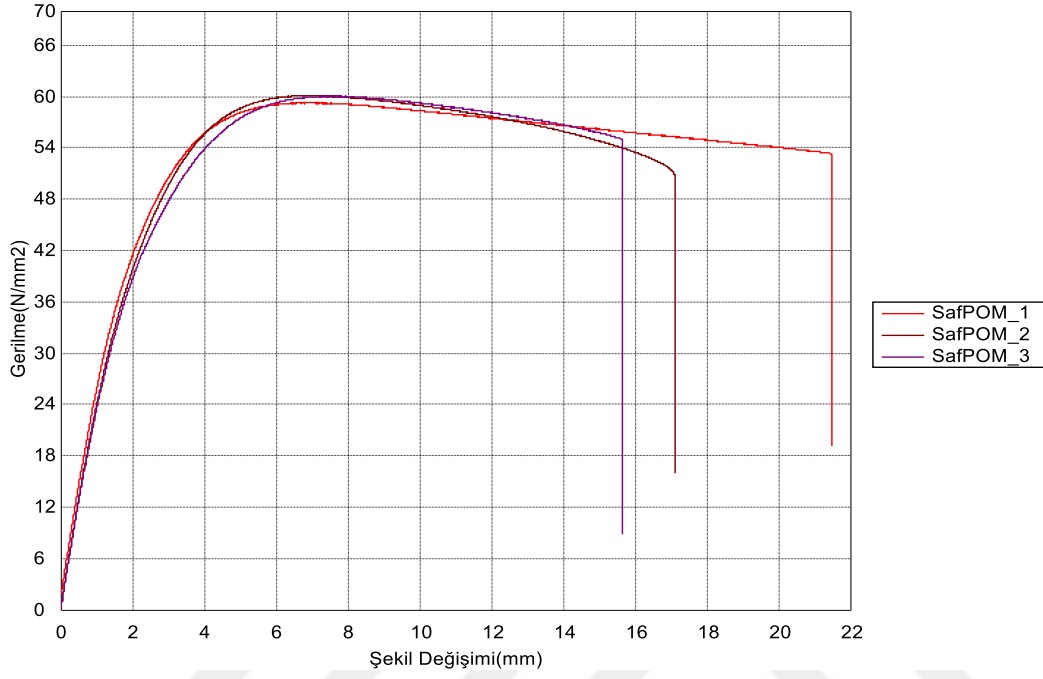
E-Posta:

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

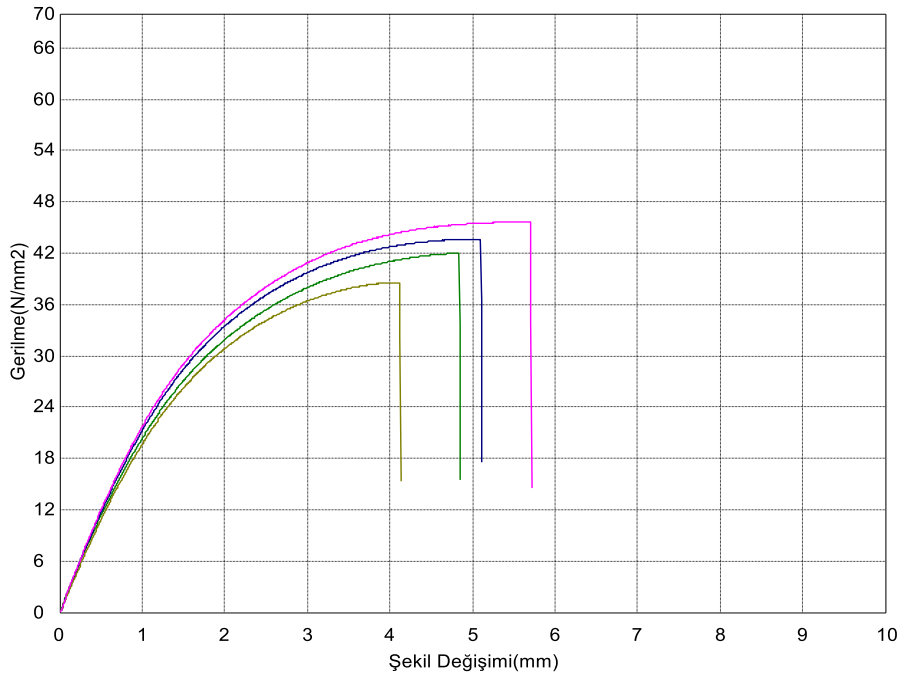
- 2010, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
- 2014, Makine Mühendisi, Munzur Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı



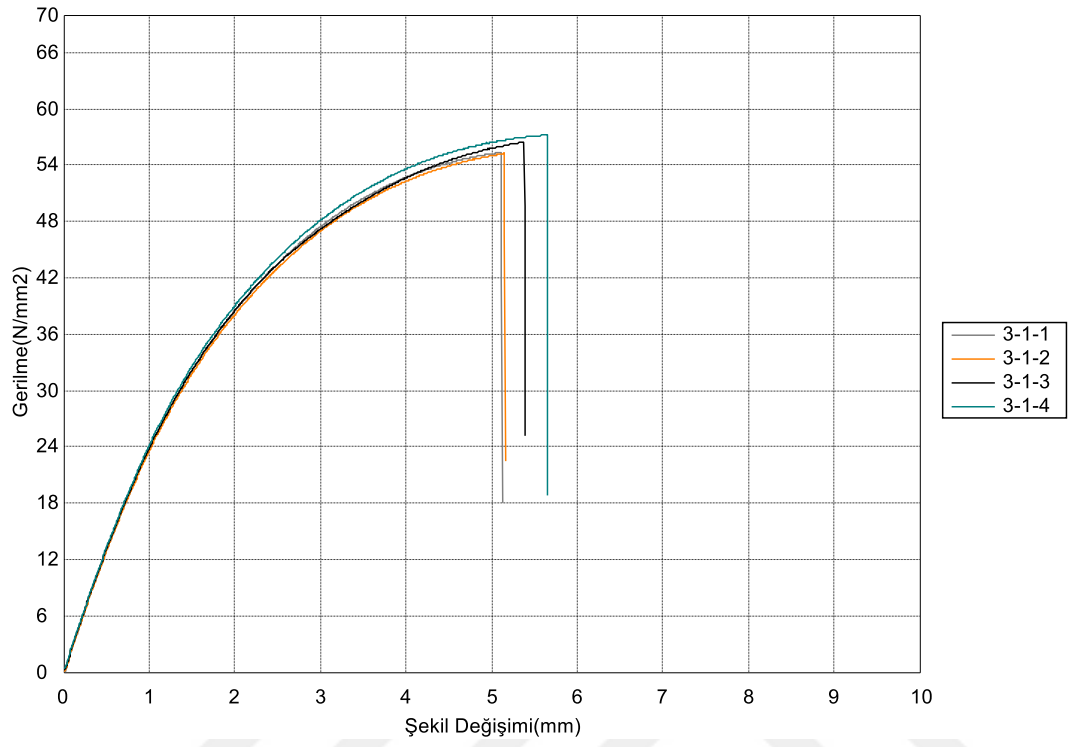
EKLER



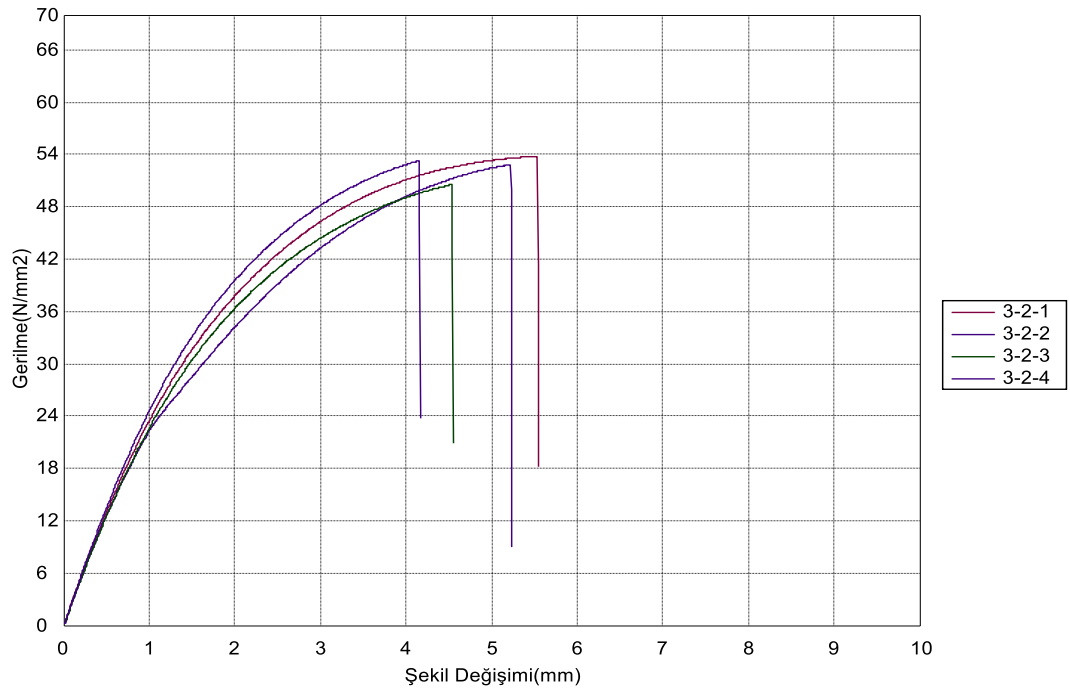
Ek Şekil 1. Saf POM 1-2-3. Numune çekme testi grafiği



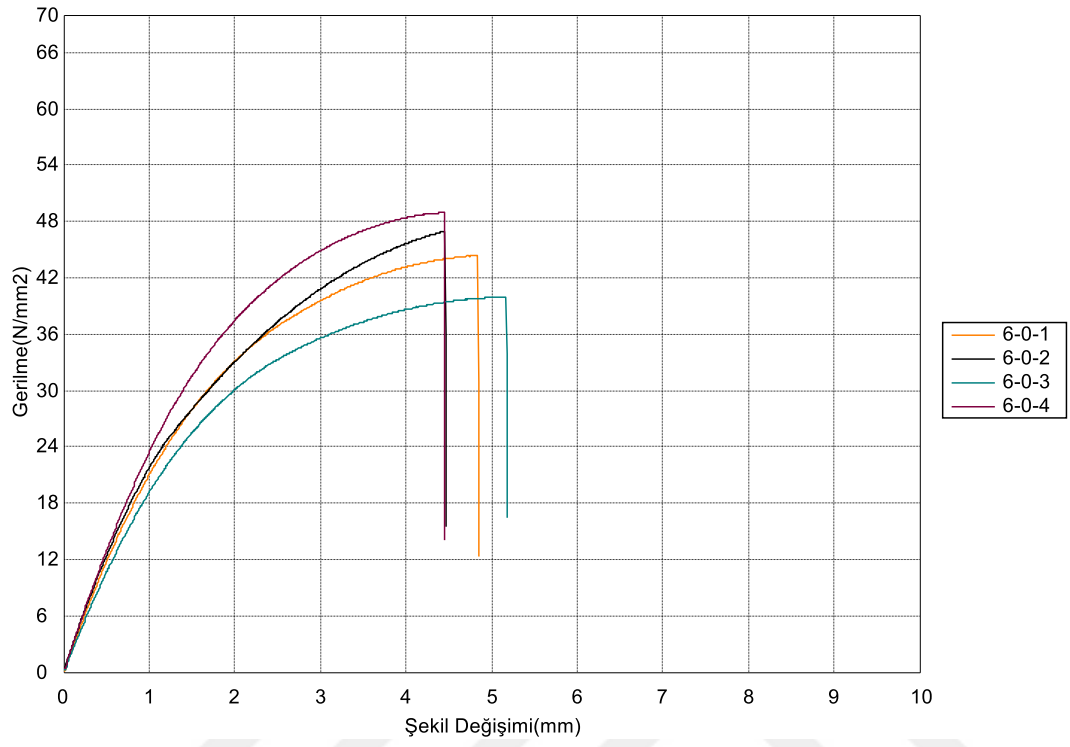
Ek Şekil 2. %3 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



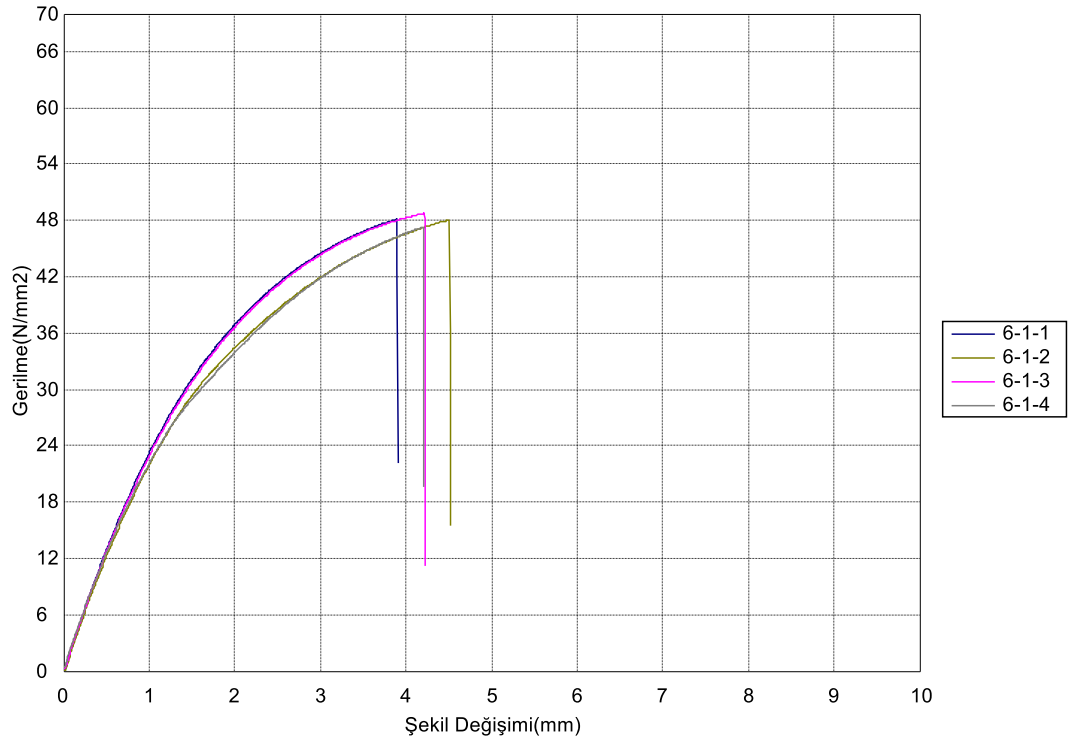
Ek Şekil 3. %3 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



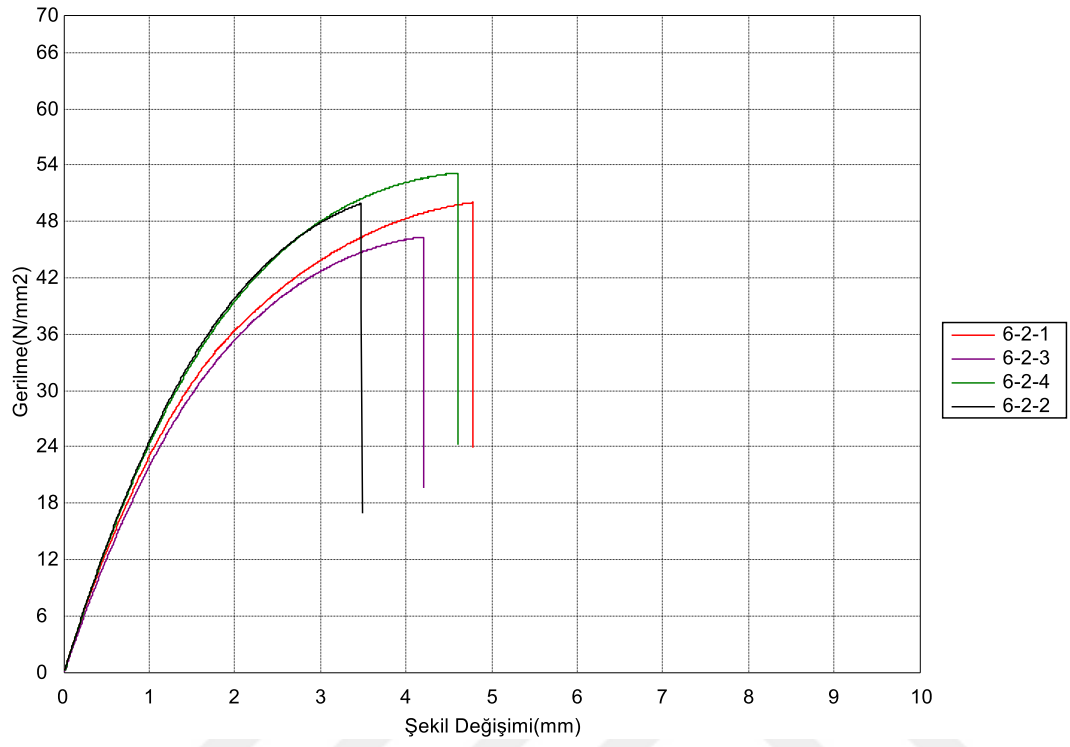
Ek Şekil 4. %3 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



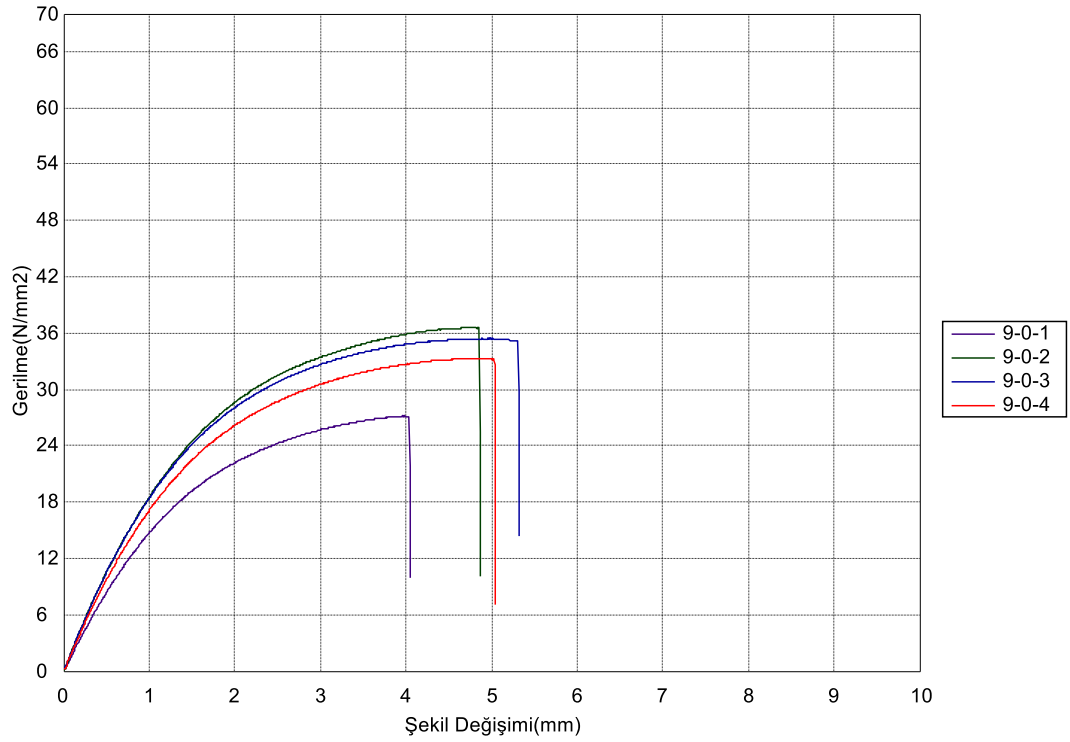
Ek Şekil 5. %6 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



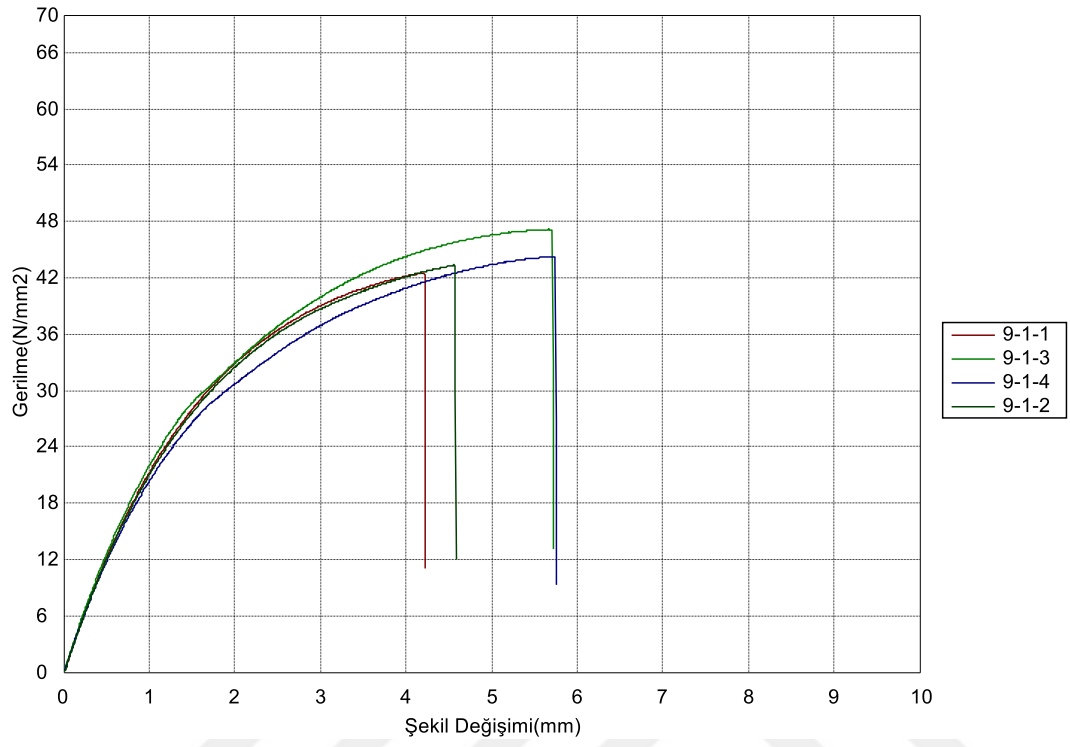
Ek Şekil 6. %6 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



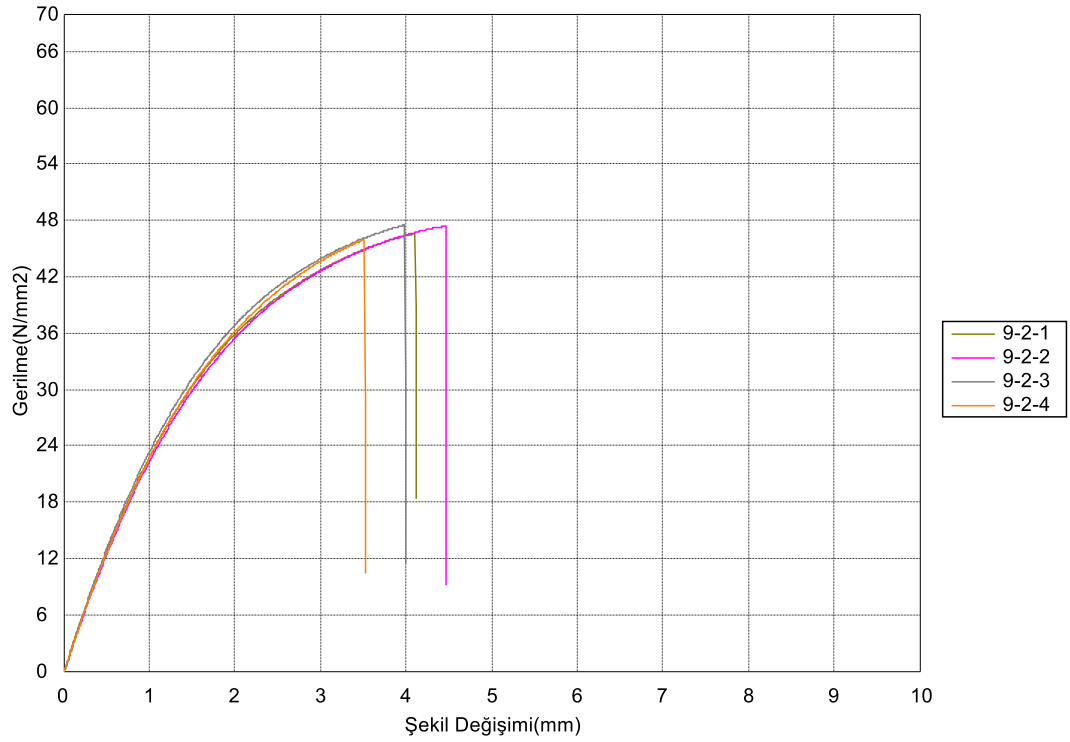
Ek Şekil 7. %6 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



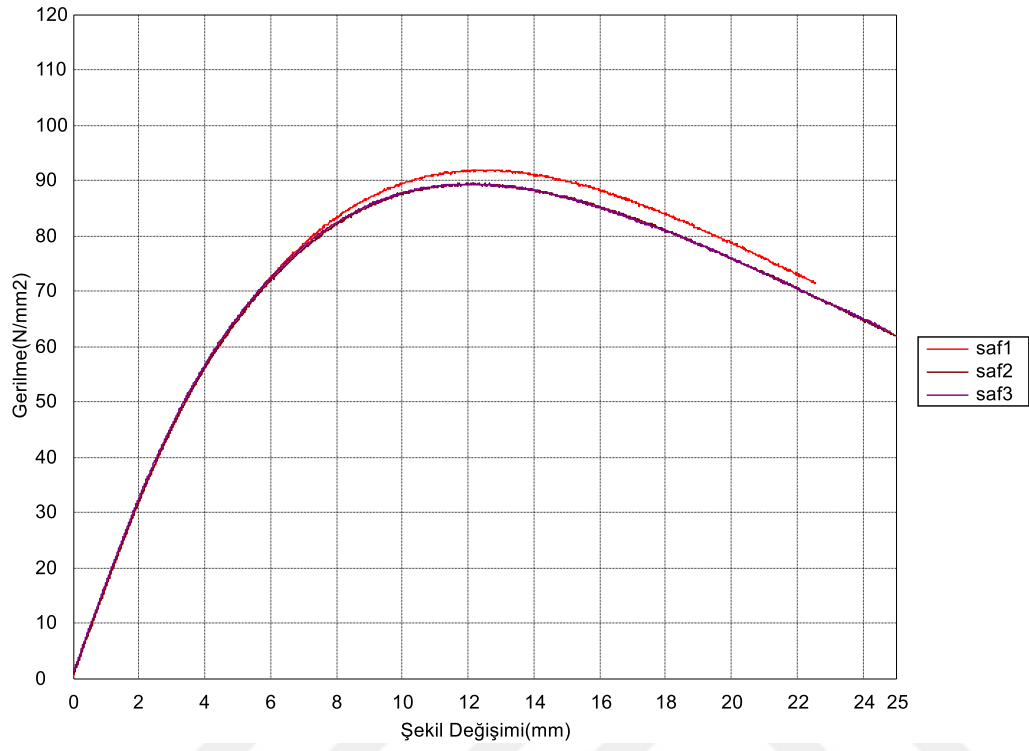
Ek Şekil 8. %9 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



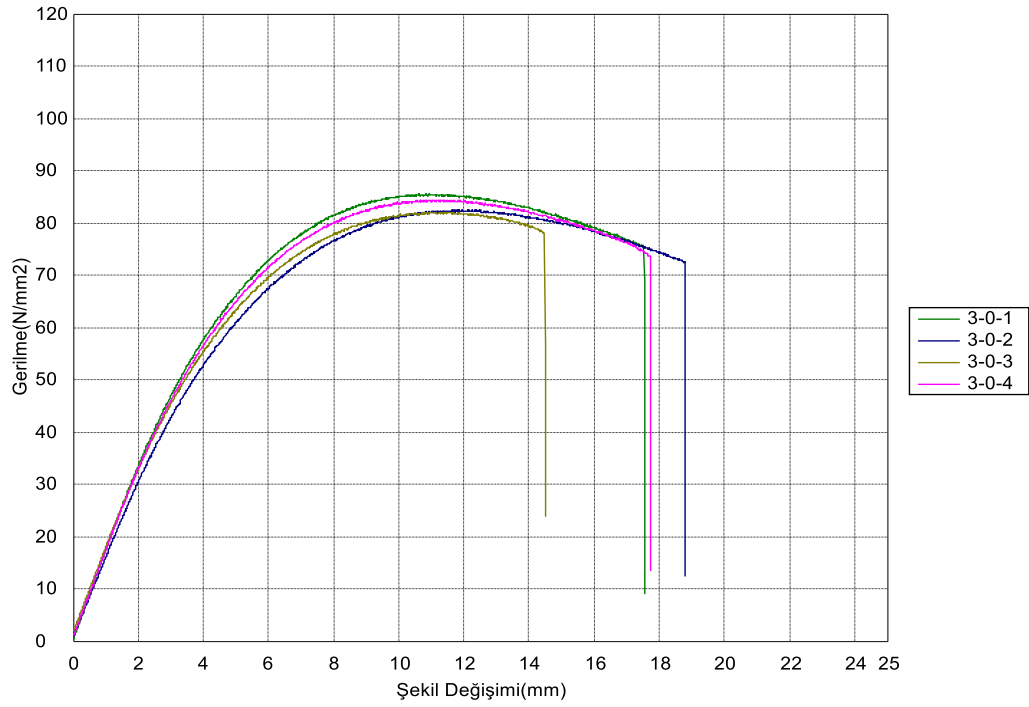
Ek Şekil 9. %9 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



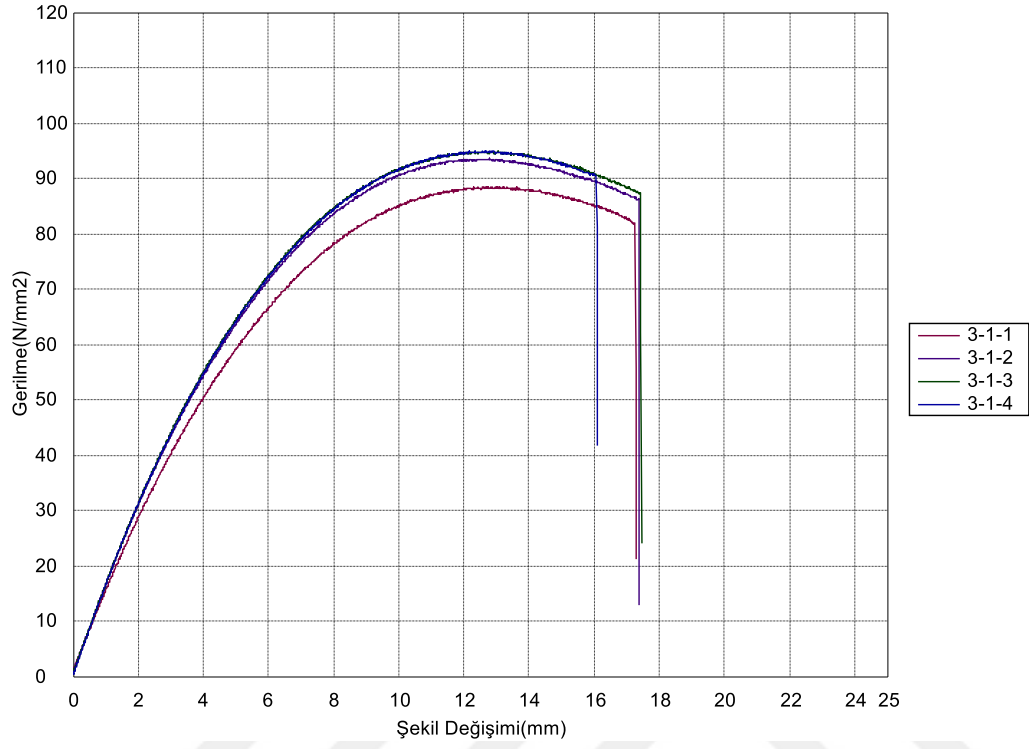
Ek Şekil 10. %9 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune çekme testi grafiği



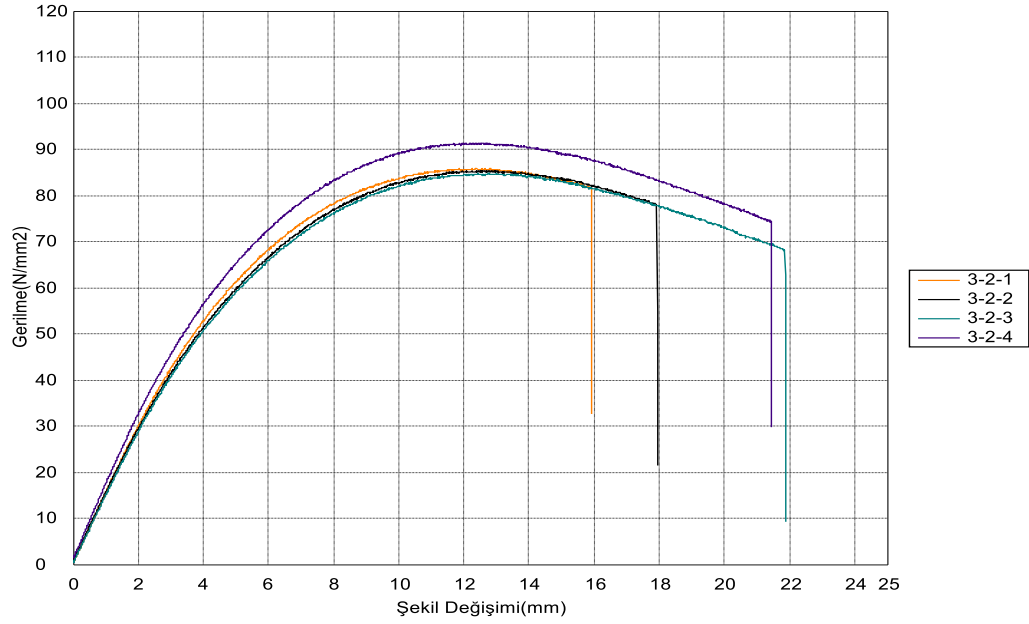
Ek Şekil 11. Saf POM 1-2-3. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



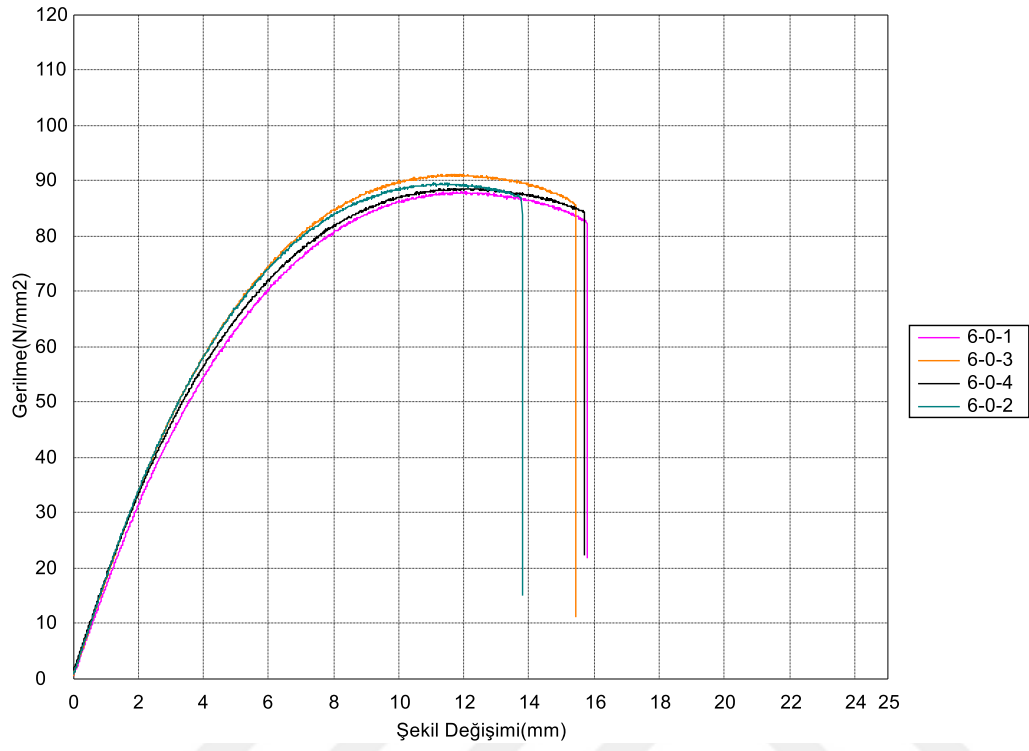
Ek Şekil 12. %3 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



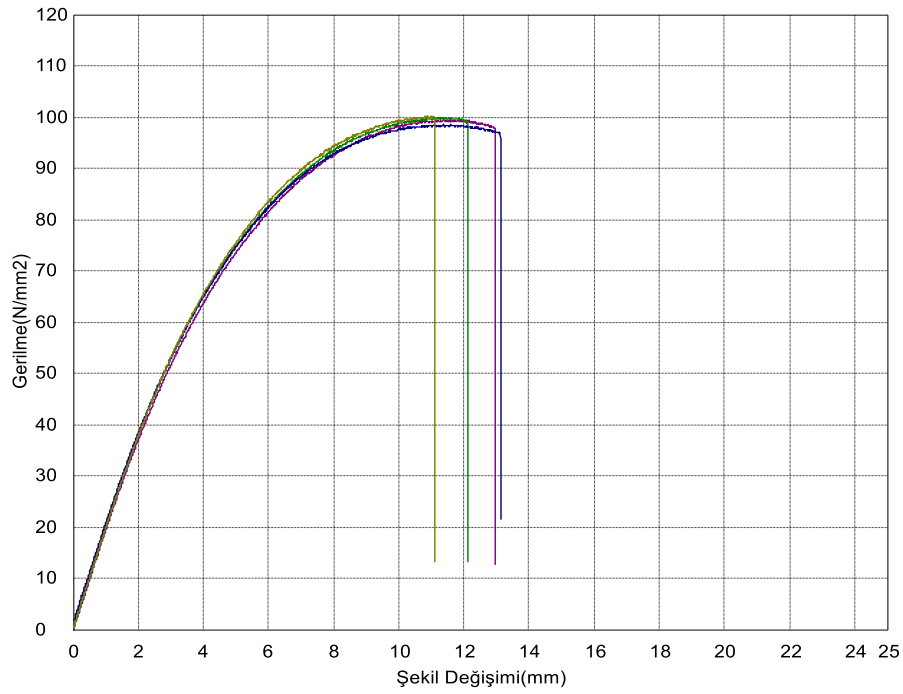
Ek Şekil 13. %3 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



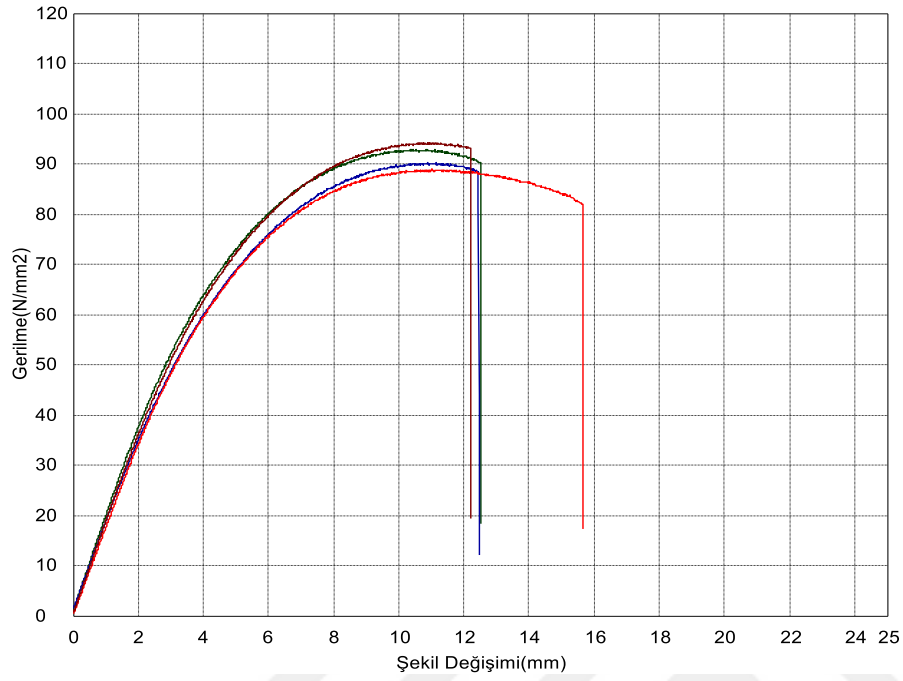
Ek Şekil 14. %3 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



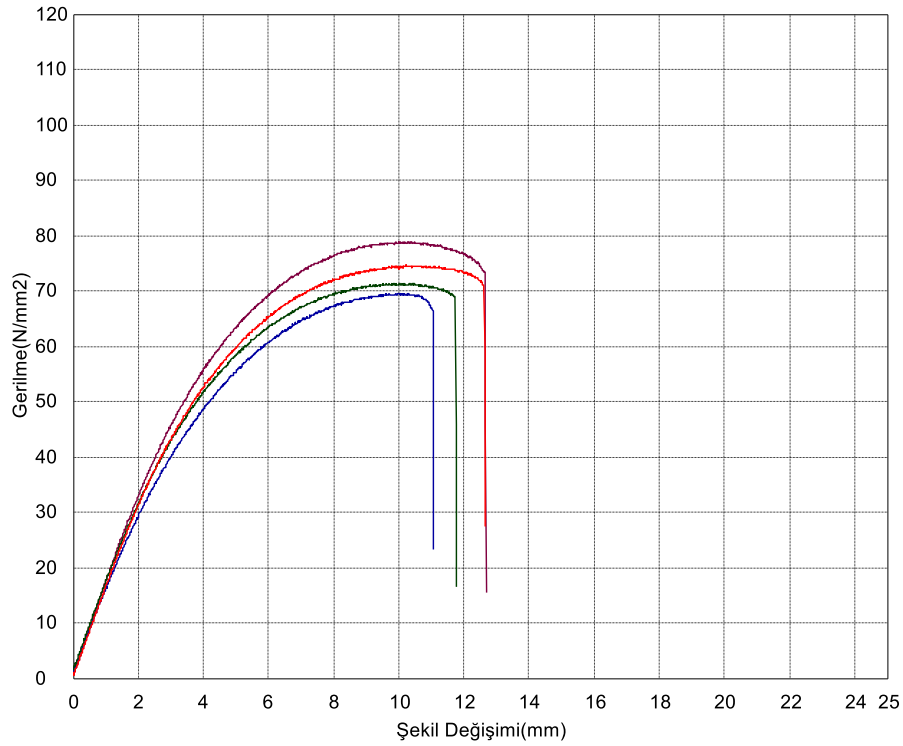
Ek Şekil 15. %6 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



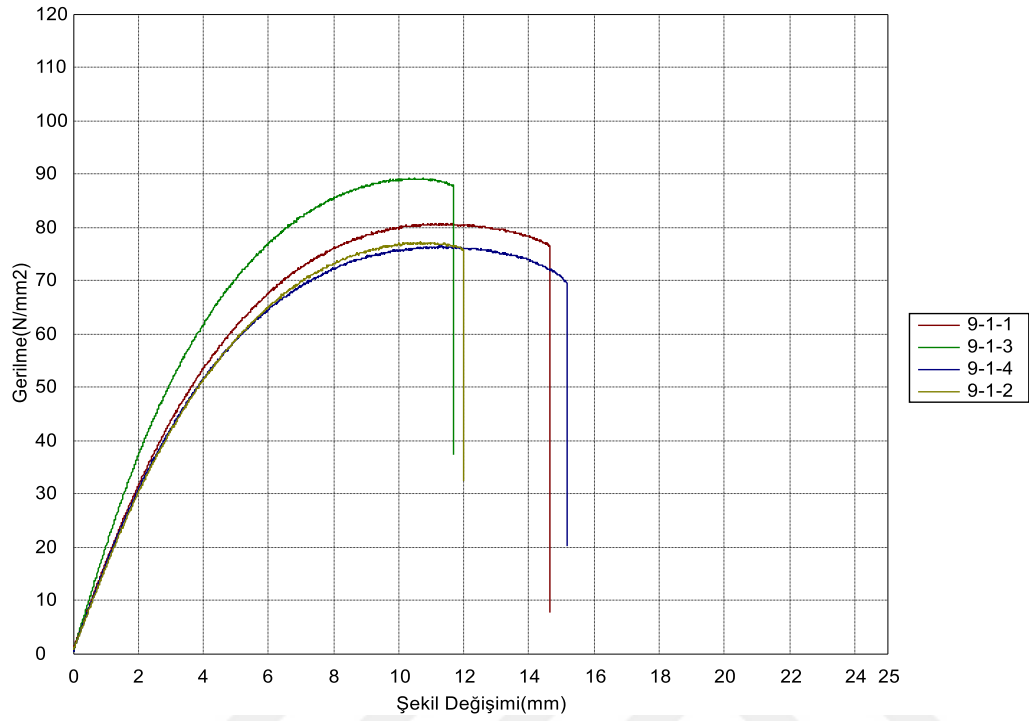
Ek Şekil 16. %6 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



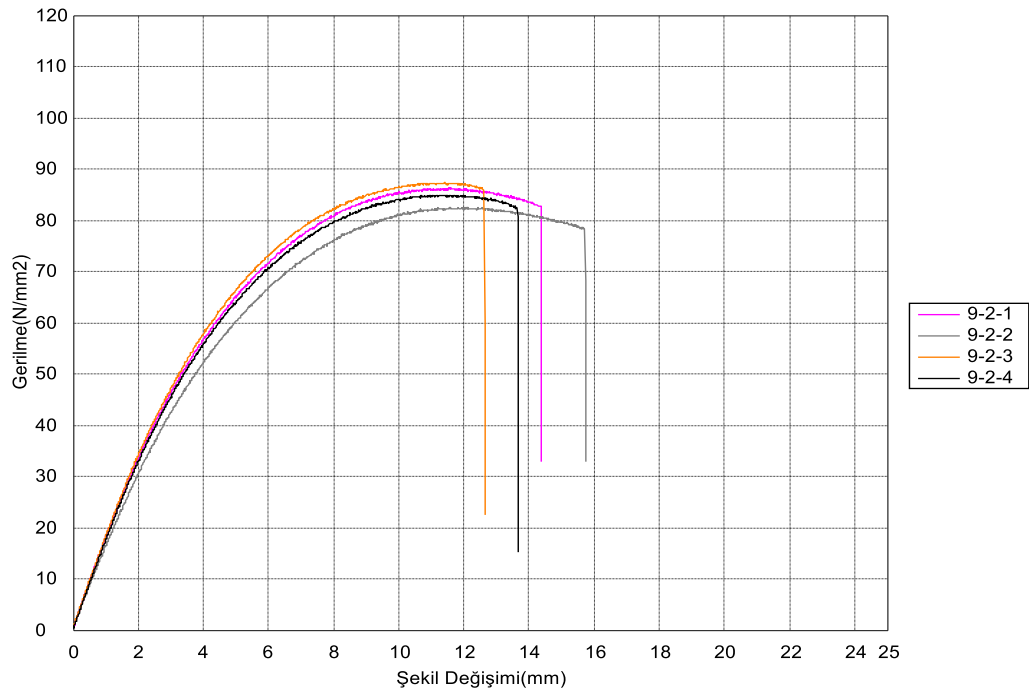
Ek Şekil 17. %6 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



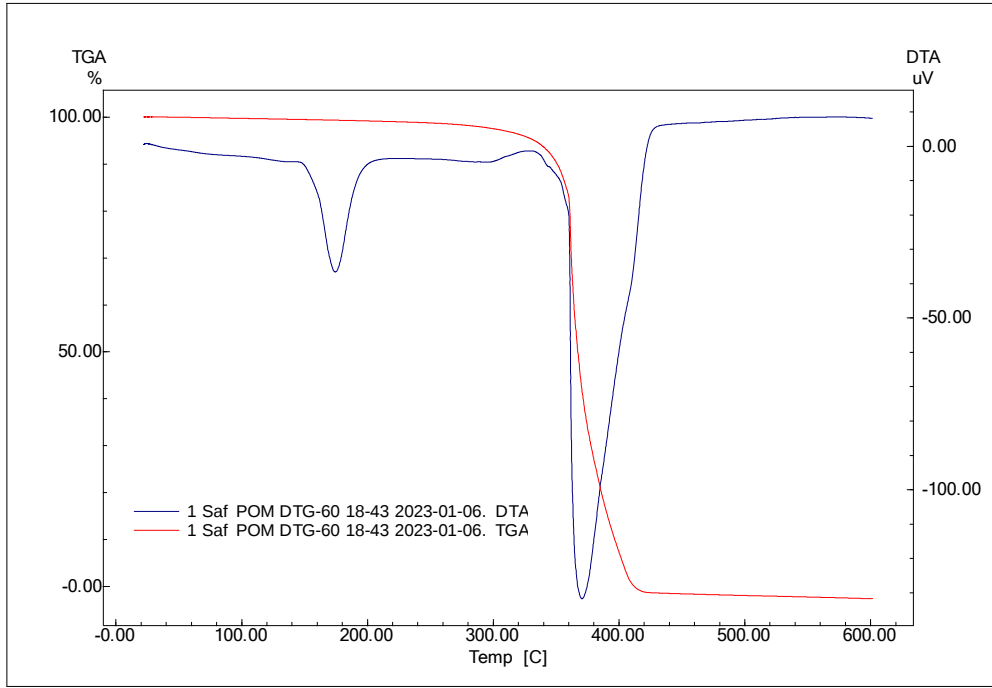
Ek Şekil 18. %9 POM-ML İşlemsiz 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



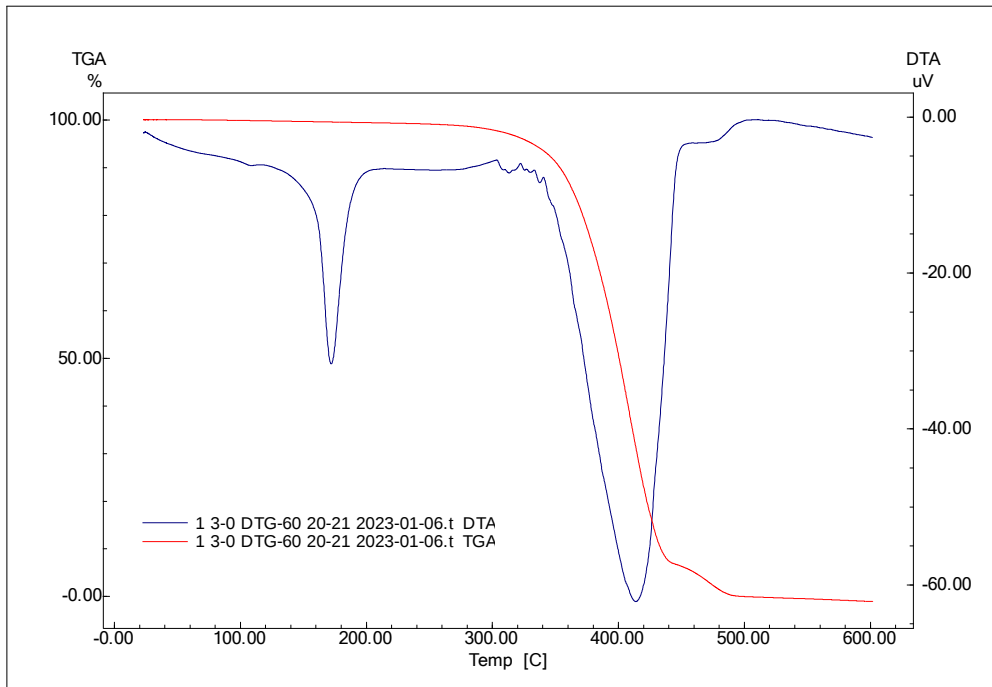
Ek Şekil 19. %9 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



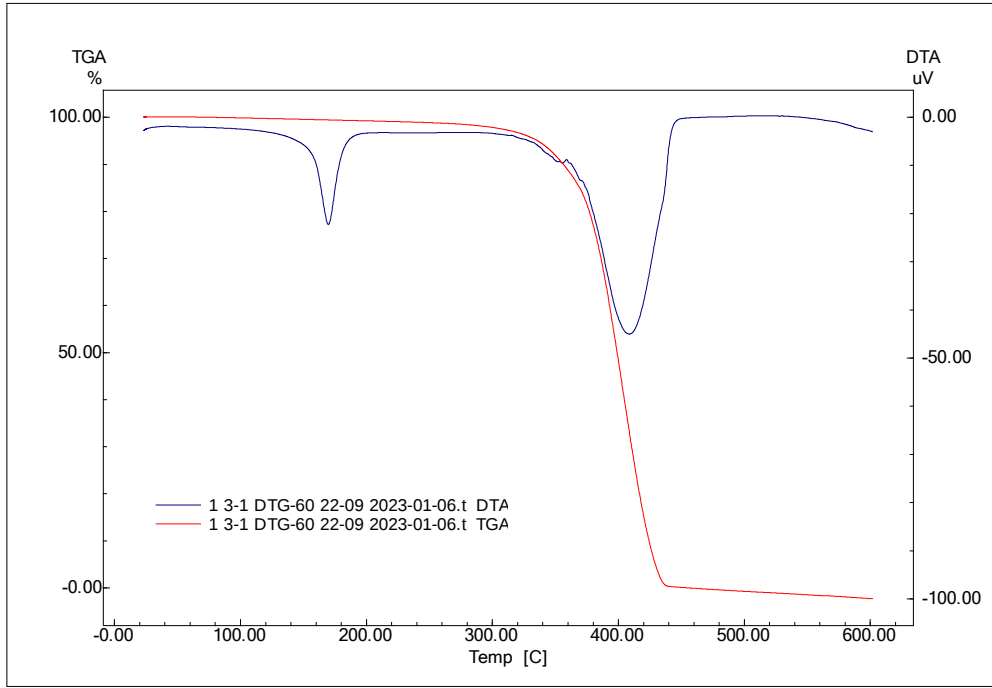
Ek Şekil 20. %9 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş 1-2-3-4. Numune üç nokta eğilme testi grafiği



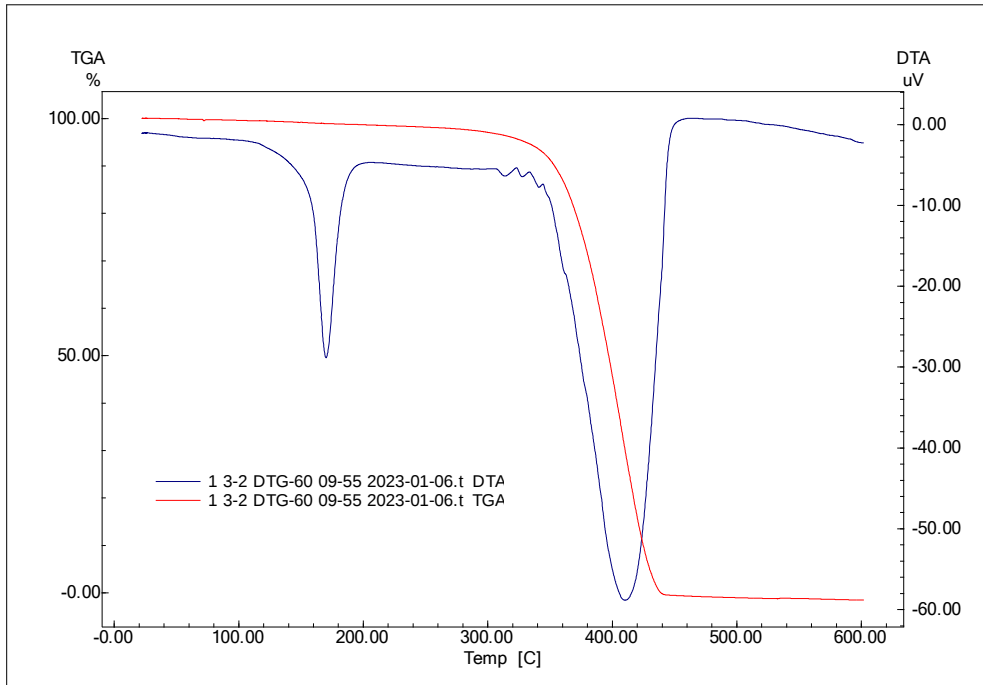
Ek Şekil 21. Saf POM TGA/DTA testi grafiği



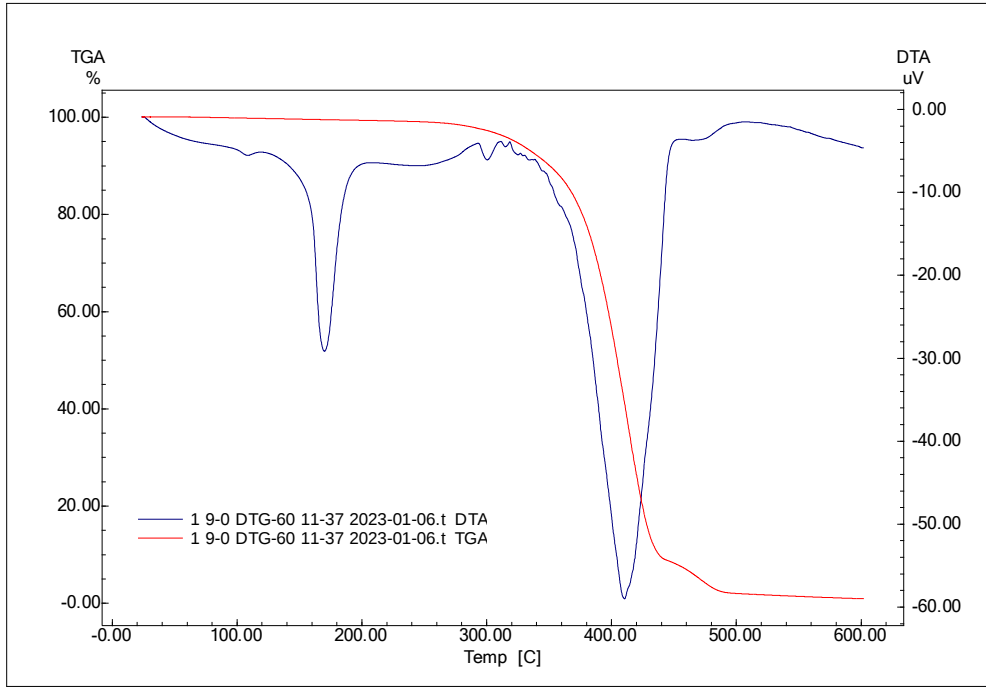
Ek Şekil 22. %3 POM-ML İşlemsiz TGA/DTA testi grafiği



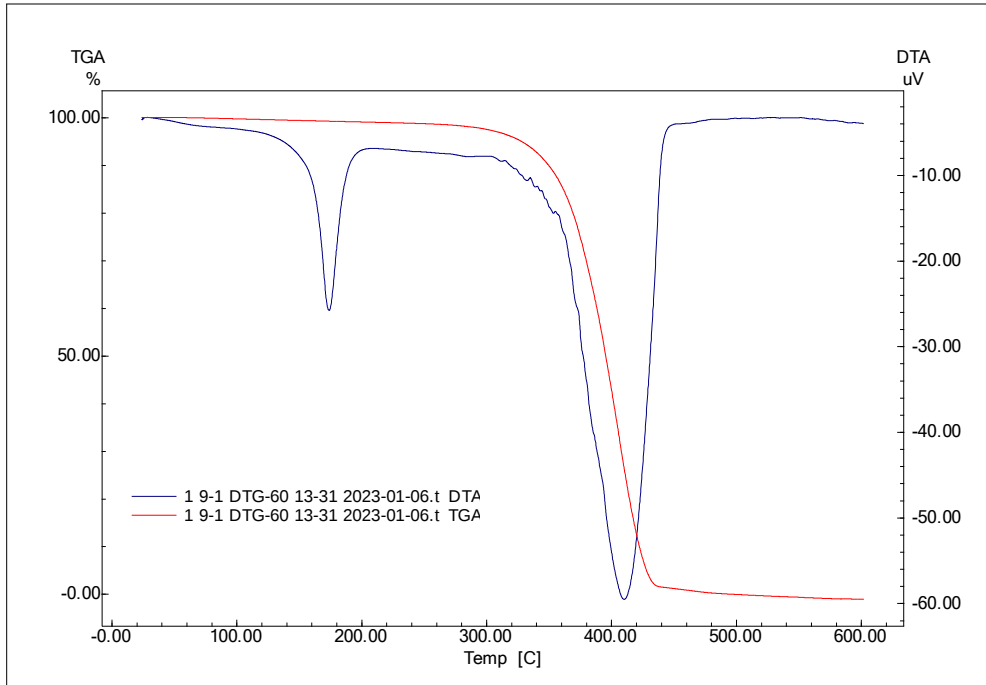
Ek Şekil 23. %3 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği



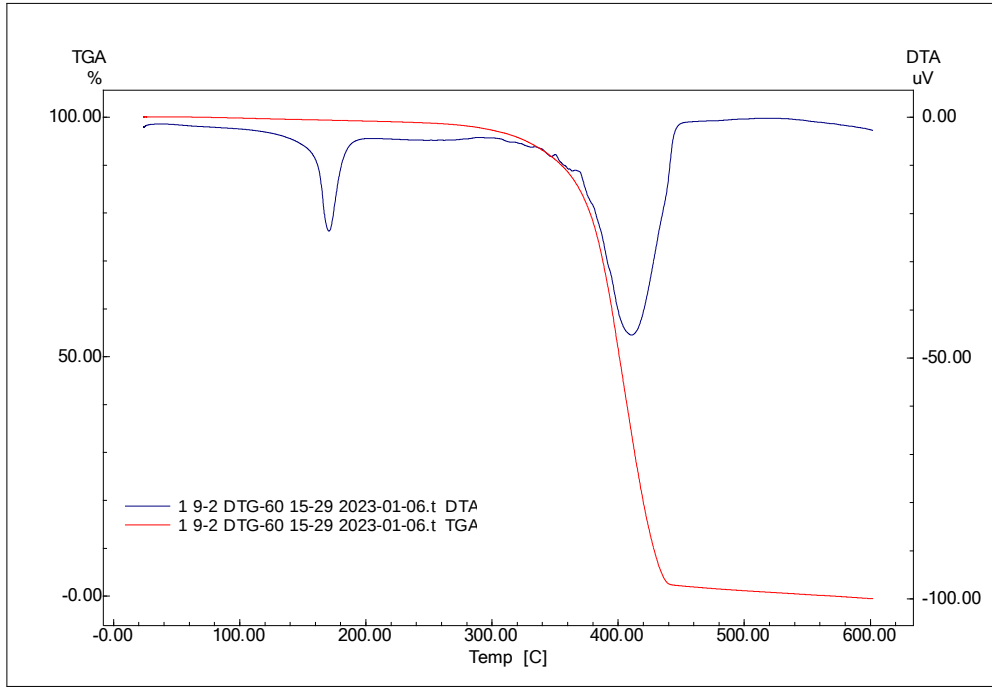
Ek Şekil 24. %3 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği



Ek Şekil 25. %9 POM-ML İşlemsiz TGA/DTA testi grafiği



Ek Şekil 26. %9 POM-ML %2,5 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği



Ek Şekil 27. %9 POM-ML %5,0 NaOH İşlenmiş TGA/DTA testi grafiği