

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ORANLARDA JÜT ELYAF
TAKVİYELİ POLİOLEFİN KOMPOZİT
MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ayça Şahika ŞAHİN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sami SAYER

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

İzmir

2019



Ayça Şahika ŞAHİN tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “FARKLI ORANLARDA JÜT ELYAF TAKVİYELİ POLİOLEFİN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 06/09/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı

: Doç. Dr. Samed Sayer

İmza

[Handwritten signature]

Raportör Üye

: Doç. Dr. Deniz DURAN

[Handwritten signature]

Üye

: Prof. Dr. Günay Yeni

[Handwritten signature]





EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “FARKLI ORANLARDA JÜT ELYAF TAKVİYELİ POLİOLEFİN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

06/09/2019

Ayça Şahika ŞAHİN





ÖZET**FARKLI ORANLARDA JÜT ELYAF TAKVİYELİ POLİOLEFİN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ŞAHİN, Ayça Şahika

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sami SAYER

Eylül 2019, 84 sayfa

Bu çalışmada, endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılan poliolefin esaslı malzemelerde doğal elyaf katkısının malzemenin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, ilk etapta çift vidalı ekstrüderde farklı jüt oranlarında PP kompozit malzeme üretilmiştir.

İkinci aşamada ise farklı jüt oranlarındaki PP malzemenin 450 µm kalınlığında üretilen filmler, kalınlığı 1 mm olan HDPE (S 0464) levha arasına yerleştirilerek 190 °C sıcaklıkta ve 8,163 bar basınç altında preslenerek hibrit yapıda poliolefin kompozit levhalar elde edilmiştir.

Hibrit kompozit malzemenin mekanik mukavemetini artırmak amacıyla, elyaf ve polimer esaslı malzemelerin arayüzlerinde sırasıyla; PP ile jüt elyaf arasına Silan (Dow Corning) ve Maleik Anhidrit Asit (Sigma Aldrich) çözeltisi, HDPE plaka ile jüt katkılı PP film arasına ise sadece Maleik Anhidrit Asit uygulanmıştır.

Farklı jüt takviyeli PP filmlerin mekanik mukavemeti incelendiğinde, jüt oranının artması malzemenin mekanik mukavemetini olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak hibrid yapıdaki poliolefin kompozit levhalarda mekanik mukavemetin arttığı gözlenmiştir.

Hibrit kompozit levhalarda iyileşme % 8.6 seviyesinde olup, en yüksek mekanik mukavemet % 5 jüt takviyeli kompozit levhalarda 18.41 MPa olarak ölçülmüştür. FTIR karakterizasyonu sonucunda, mekanik mukavemeti olumlu yönde etkileyen arayüzey ajanlarının belirgin olduğu gözlenmiştir.

Çekme testi sonrası oluşan kırılma yüzeylerine SEM analizi yapıldığında elyaf ve polimer arasında etkin bir arayüz oluştuğu, ancak üretim tekniğinden dolayı yön değiştiren elyafların mekanik mukavemeti olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Poliolefin, hibrit kompozit plaka, jüt lifi, mekanik özellikler



ABSTRACT**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF POLYOLEFIN
COMPOSITE MATERIALS WITH DIFFERENT JUTE FIBER RATIOS**

ŞAHİN, Ayça Şahika

MSc in Material Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sami SAYER

September 2019, 84 pages

In this study, effects of natural fiber reinforcement on mechanical properties of polyolefin based hybrid composites widely used in different industrial areas were investigated. In this context, jute – PP composites having different jute ratios were produced in twin screw extruder on the first stage of the production.

In the second stage, the films produced at 450 µm thickness of PP material with different jute ratios were placed between HDPE (S 0464) plates with a thickness of 1 mm and pressed under a pressure of 8.163 bar and temperature of 190°C and consequently hybrid polyolefin composite sheets were obtained.

In order to increase the mechanical strength of the hybrid composite material, in the interfaces of fiber and polymer based materials, Silane (Dow Corning) and Maleic Anhydride Acid (Sigma Aldrich) solution between the PP and jute fiber and only Maleic Anhydride Acid were applied between HDPE sheets and jute/PP film composites respectively

When the mechanical strength of different jute reinforced PP films was examined, it was observed that the increase in the jute ratio had a negative effect on the mechanical strength of the material. However, it was observed that the mechanical strength increased in hybrid polyolefin composite sheets.

While the improvement of hybrid composite sheets was 8.6 %, the highest mechanical strength was 18.41 MPa in 5 % jute reinforced composite sheets. As a result of FTIR characterization, it was observed that the interface agents affecting the mechanical strength positively were significant.

When SEM analysis of fracture surfaces formed after tensile test was performed, it was determined that an effective interface was formed between the fiber and the polymer, whereas the fibers that change direction due to production methods adversely affected the mechanical strength.

Keywords: Polyolefin, hybrid composite sheets, jute fiber, mechanical properties



ÖNSÖZ

“Farklı Oranlarda Jüt Eyaf Takviyeli Poliolefin Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışmasında, PE ve PP poliolefin malzemelerin birlikte kullanılarak, hibrit yapıdaki kompozit malzemelerin endüstriyel kullanım alanlarının genişletilmesi ve takviye malzemesi olarak kullanılan jüt doğal lifinin çevre dostu, yenilenebilir olması ve düşük maliyetli bir hammadde kaynağı olması sebebiyle; sentetik liflere alternatif olarak kullanılabileceği konuları üzerinde durularak, bilim dünyasına katkı sağlaması amacı ile yazılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, üç yıl boyunca değerli bilgilerini paylaşan, danışman hocam Doç.Dr.Sami SAYER’ e teşekkürlerimi sunarım.

Ayça Şahika ŞAHİN

07/08/2019

İZMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	VII
ABSTRACT	IX
ÖNSÖZ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVII
TABLolar DİZİNİ	XXIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XXIV
1.GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması	4
2.KOMPOZİT MALZEMELER	17
2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	18
2.1.1 Tabakalı kompozit malzemeler	19
2.1.2 Biyokompozit malzemeler.....	19
2.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler.....	19
2.2 Matris Malzemeler.....	20
2.2.1 Polimer malzemelerin genel olarak sınıflandırılması.....	22
2.2.1.1 Polimerlerin kaynağına göre sınıflandırılması	22

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.1.2 Polimerlerin zincir yapısına göre sınıflandırılması	22
2.2.1.3 Polimerlerin monomer kompozisyonuna göre sınıflandırılması	22
2.2.1.4 Polimerlerin ısı davranışlarına göre sınıflandırılması	23
2.2.2 Polietilen (PE) ve Polipropilen (PP).....	24
2.2.1 Polietilen (PE)	24
2.2.1 Polipropilen (PP)	26
2.3 Takviye Malzemeler	27
2.3.1 Sentetik lifler	28
2.3.1.1 Poliamid lifler	28
2.3.1.2 Aramid/Kevlar lifler	29
2.3.1.3 Polyester lifler	29
2.3.1.4 Poliolefin lifler.....	29
2.3.1.5 Bor lifler	30
2.3.1.6 Karbon lifler	30
2.3.1.7 Cam lifler.....	30
2.3.1.8 Silisyum karbür lifler.....	31

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.2 Doğal lifler.....	31
2.3.2.1 Madensel lifler	31
2.3.2.2 Hayvansal lifler.....	31
2.3.2.3 Bitkisel lifler	31
2.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	34
2.4.1 Termoset reçineli kompozit üretimi	35
2.4.1.1 Elle yatırma yöntemi (hand lay-up).....	35
2.4.1.2 Hazır kalıplama yöntemi	35
2.4.1.3 Püskürtme yöntemi (spray-up)	36
2.4.1.4 Reçine transfer yöntemi(RTM)	37
2.4.1.5 Profil çekme yöntemi/pultrüzyon (pultrusion)	37
2.4.1.6 Elyaf sarma yöntemi (filament winding).....	38
2.4.1.7 Vakum torbalama yöntemi (vacuum bagging)	38
2.4.2 Termoplastik reçineli kompozit üretimi	39
2.4.2.1 Enjeksiyon kalıplama yöntemi	39
2.4.2.2 Ekstrüzyon kalıplama yöntemi	40

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.4.2.3 Termoform şekillendirme yöntemi.....	41
2.4.2.4 Otoklav yöntemi	41
3. YÜZEY MODİFİKASYONU	43
3.1 Silan Yüzey Modifikasyonu	43
3.2 Maleik Anhidrit Asit Yüzey Modifikasyonu.....	45
4. MALZEME VE YÖNTEM	47
4.1 Numune Üretimi	47
4.1.1 Jüt takviyeli PP granül üretimi	47
4.1.2 Jüt takviyeli PP granülden film üretimi.....	50
4.1.3 Poliolefin Esaslı Hibrit Kompozit Üretimi.....	52
5. TESTLER VE KARAKTERİZASYON.....	56
5.1 Yoğunluk Tayini.....	56
5.1 Çekme Testi.....	57
5.2.1 Çekme testi-1.aşama üretim	58
5.2.2 Çekme testi-2.aşama üretim	59
5.2.3 Çekme testi-3.aşama üretim	62

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3 MFI (Melt Flow Index) Testi.....	64
5.4 FTIR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre) Karakterizasyonu	65
5.5 SEM (Scanning Electron Microscope) Karakterizasyonu.....	67
6. SONUÇ VE BULGULAR.....	70
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	73
TEŞEKKÜR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	83
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Üretim akış diyagramı	3
2.1 Lif - Matris - Arayüzey yapısı	17
2.2a Lif yapısı - Sürekli	18
2.2b Lif yapısı - Kısa (kesilmiş) lif yapısı	18
2.3a Polimer zincir ve biçimlerinin şematik gösterimi - lineer	22
2.3b Polimer zincir ve biçimlerinin şematik gösterimi - dallanmış	22
2.3c Polimer zincir ve biçimlerinin şematik gösterimi - çapraz	22
2.4 Etilenin polietilene dönüşüm tepkimesi	24
2.5 Termoplastiklerin tüketim oranları	24
2.6 Termoplastiklerin 2004-2010 tüketim oranlarındaki değişimler	25
2.7 PE molekül yapısı	25
2.8a PE zincir yapısı HDPE	26
2.8b PE zincir yapısı LDPE	26
2.8c PE zincir yapısı LLDPE	26
2.9 LDPE ve HDPE ürünler ve geri dönüşüm sembolleri	26
2.10 Propilenin polipropilene dönüşüm tepkimesi	26
2.11 PP molekül yapısı	27

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.12 PP ürünler ve geri dönüşüm sembolleri.....	27
2.13 Tekstil liflerinin sınıflandırılması.....	28
2.14 Jüt lifi.....	33
2.15 Jüt lifinin katmanlı yapısı	34
2.16 Elle yatırma yöntemi (Hand Lay-Up)	35
2.17 Hazır kalıplama yöntemi	36
2.18 Püskürtme yöntemi (Spray-up)	36
2.19 Reçine transfer kalıplama yöntemi (RTM)	37
2.20 Profil çekme yöntemi/Pultrüzyon(Pultrusion).....	38
2.21 Elyaf sarma yöntemi.....	38
2.22 Vakum torbalı kalıplama yöntemi (Vacuum Bagging)	39
2.23 Enjeksiyon kalıplama yöntemi	39
2.24 Ekstrüzyon kalıplama yöntemi.....	40
2.25 Termoform şekillendirme yöntemi.....	41
2.26 Otoklav yöntemi	42
4.1 Numune üretim şeması	47
4.2a 15-18 mm jüt iplikler b) Hava basıncına maruz kalmış jüt yöntemi	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.2b Hava basıncına maruz kalmış jüt iplikler	48
4.3a MH 418 PP granül	48
4.3b Toz halinde PP.....	48
4.4 Çift vidalı ekstrüderde granül üretimi	49
4.4a Malzemelerin eklenmesi	49
4.4b Birleşimin kalıptan çıkışı.....	49
4.4c Kompozit ipin silindirden geçişi.....	49
4.5a Farklı oranlarda jüt takviyeli PP kompozit üretim sonucu elde edilen granüller-JP150	
4.5b Farklı oranlarda jüt takviyeli PP kompozit üretim sonucu elde edilen granüller-JP250	
4.5c Farklı oranlarda jüt takviyeli PP kompozit üretim sonucu elde edilen granüller-JP350	
4.6 Lab Tech Engineering çift vidalı ekstrüder	50
4.7a Jüt takviyeli PP granül	51
4.7b Jüt/PP malzemenin silindirden geçiş aşaması	51
4.7c Jüt takviyeli PP film.....	51
4.8a Jüt takviyeli oranına göre kompozit filmler-JP0	51
4.8b Jüt takviyeli oranına göre kompozit filmler-JP1	51
4.8c Jüt takviyeli oranına göre kompozit filmler-JP2	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.8d Jüt takviyeli oranına göre kompozit filmler-JP3	51
4.9 S 0464 HDPE levha.....	52
4.10a Fontijne Grotres Lab Econ hidrolik pres	53
4.10b Makine çalışma ayarları	53
4.11 Maleik anhidrit asit uygulaması	54
4.12 Prese yerleştirilmiş hibrit numuneler.....	55
4.13a Üretimi tamamlanmış hibrit kompozit numuneler-JPE0.....	55
4.13b Üretimi tamamlanmış hibrit kompozit numuneler-JPE1.....	55
4.13c Üretimi tamamlanmış hibrit kompozit numuneler-JPE2.....	55
4.13d Üretimi tamamlanmış hibrit kompozit numuneler-JPE3.....	55
5.1 AND GR-200 analitik terazi.....	56
5.2 Farklı üretim yöntemlerine göre elde edilmiş numunelerin gerilim grafiği	57
5.3 ISO EN 527 standartı çekme çubuğu tipleri.....	58
5.4 Dr BOY 50 T enjeksiyon makinesi	58
5.5 Enjeksiyon üretimi çekme çubuğu (ISO EN 527, 1A).....	58
5.6 Shimadzu AG 100 çekme test cihazı.....	59
5.7a Jüt/PP film çekme test numuneleri-JP1	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7b Jüt/PP film çekme test numuneleri-JP2	60
5.7c Jüt/PP film çekme test numuneleri-JP3	60
5.8 Cihaz çenelerine bağlı test numuneleri (Jüt/PP film)	60
5.9a Çekme testi sonrası tahribatlı numuneler-JP1	60
5.9b Çekme testi sonrası tahribatlı numuneler-JP2	60
5.9c Çekme testi sonrası tahribatlı numuneler-JP3	60
5.10 WDW-5 HENSGRAND çekme test cihazı	61
5.11 DARDI DWJ2040 flying arm su jeti CNC kesim makinası.....	62
5.12 Su jeti ile kesimi yapılmış numuneler-JPE1	62
5.12 Su jeti ile kesimi yapılmış numuneler-JPE2.....	62
5.12 Su jeti ile kesimi yapılmış numuneler-JPE3.....	62
5.13 Çenelere bağlı test numuneleri (hibrit kompozit).....	63
5.14 Çekme testi sonunda hibrit kompozit numunelerin görünümü	63
5.15 JJ Test Melt Flow Indexer	64
5.16 Perkin Elmer Spectrum FTIR analiz cihazı.....	65
5.17 FTIR analiz numunesi	66
5.18 Hibrit kompozit FTIR transmisyon grafiği.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.19 Thermo Scientific Apreo S SEM analiz cihazı.....	67
5.20a Hibrit kompozitlerin SEM görüntüleri-JPE0.....	68
5.20b Hibrit kompozitlerin SEM görüntüleri-JPE1.....	68
5.20c Hibrit kompozitlerin SEM görüntüleri-JPE2.....	68
5.20d Hibrit kompozitlerin SEM görüntüleri-JPE3.....	68

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kompozit malzeme üretiminde kullanılan bazı polimerler ve bazı mekanik özellikleri... 21	21
2.2 Bazı polimerlerin camsı geçiş sıcaklıkları(Tg) ve erime noktaları(Tm) 21	21
2.3 Polimer esaslı kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan doğal lifler ve mekanik özellikleri..... 32	32
2.4 Jüt lifinin fizikokimyasal özellikleri..... 34	34
4.1 Film üretimi yapılan numunelerin kodlaması..... 52	52
4.2 Hibrit kompozit üretimi yapılan numunelerin kodlaması..... 54	54
5.1 PP-PE hammadde ve jüt/PP granül kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri 56	56
5.2 Üretim 1. aşama çekme testi sonuçları 59	59
5.3 Jüt takviyeli PP film kompozit numunelerin çekme testi sonucu mekani değerleri..... 61	61
5.4 PE S 0464 levhanın çekme testi sonucu mekanik değerleri 61	61
5.5 Hibrit kompozit numunelerin çekme testi sonucu mekanik değerleri..... 64	64
5.6 PP-PE hammadde ve jüt/PP granül kompozitelerin MFI değerleri..... 65	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
E'	Depolama modülü
E''	Kayıp modülü
tany	Sönümlenme parametresi
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Tm	Erime noktası
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
g	Gram
µm	Micron

Kısaltmalar

PP	Polipropilen
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
LLDPE	Lineer düşük yoğunluklu polietilen
UHMWPE	Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen
SEM	Scanning electron microscopy
FTIR	Fourier transform infrared spektrofotometre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

TGA	Thermal gravimetric analysis
DTG	Differantial thermogravimetric analysis
DSC	Differential scanning calorimetry
FA	Fluorocarbon agent
ILSS	Interlaminar shear strength
XPS	X-ray photoelectron spectorscopy
MS	Micro-emulsion silicone
MFI	Melt Flow Indexer
PA6 GF 30	% 30 cam fiber takviyeli Poliamid 6

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel çevre sorunlarının artışı, araştırmacıların ve mühendislerin, kompozit malzeme tasarımı ve üretiminde biyolojik bazlı materyallere yönelimiyle birlikte son on yılda pek çok araştırma, doğal lif takviyeli termoplastik kompozitlere odaklanmıştır. 20. yüzyılın başlarında geliştirilmeye başlanan plastik malzemelerin hızla yaygınlaşmaya başlamasının sebepleri; düşük yoğunluklu ve hafif olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri, yüzey kalitesi ve korozyona karşı mukavemetlerinin iyi olması gibi avantaj sağlayan özelliklerdir. Tek başlarına kullanıldıklarında yeterli mekanik özellikler sağlayamayan plastik malzemeler, 1940'lı yıllarda çeşitli malzemeler ile takviyelendirilerek kullanılmaya başlanmış böylelikle polimer matrisli kompozitler ortaya çıkmıştır (Arıcasoy, 2006). Özellikle, poliolefin esaslı doğal lif takviyeli kompozitlere artan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Son derece spesifik özelliklere sahip oldukça hafif kompozit malzeme üretimini sağlayan, düşük yoğunluklu malzeme olmaları tercih sebebidir.

Emisyon oranlarının düşürülmesi için uygulanan yaptırımlar sonucu, doğal, çevre dostu ve yenilenebilir malzemelere olan ilgi, başta Kyoto protokolü olmak üzere araştırmacıların ilgisini üzerine çekmiştir. Bu bağlamda, daha çok otomotiv sanayisinde araçların hafifletilerek, emisyon değerlerinin düşürülmesi için maliyetleri düşük, mekanik dayanım/ağırlık oranları yüksek olan doğal liflerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır (Bakkal ve Savaş, 2012).

Biyo bazlı liflerin termoplastik kompozitlerde kullanımı yenilenebilir ve çevre dostu olmaları nedeniyle gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Jüt, çeşitli uygulamalara sahip kolay bulunabilen ve çok yönlü agro fiberlerden biridir (Aggarwal ve ark., 2012). Fiber takviyeli termoplastik kompozitler, işleme kolaylığı, hızlı üretim döngüsü ve düşük tonaj maliyeti sağlaması ile otomobil ve elektrik endüstrisi için en uygun malzemeler haline gelerek, geleneksel malzemeler üzerinde üstünlük göstermişlerdir (ACCM- I, 1998). Bu kompozitler farklı statik ve dinamik koşullarda üretimi yapılabilecek şekilde tasarlanabilmektedir.

2003 yılında yaklaşık 43.000 tonluk doğal elyaf, takviye malzemesi olarak Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılmıştır. Bu miktar 2010 yılına gelindiğinde 315.000 ton seviyelerine ulaşarak toplamda kullanılan takviye malzemelerinin (cam, karbon ve doğal lif) % 13'ünü oluşturmaktadır. 2020 yılında bu miktarın yaklaşık olarak 830.000 ton olması tahmin edilmekte ve takviye malzemelerin toplamın % 28'ini oluşturması öngörülmektedir. Amerika Birleşik

Devletleri 2020 yılına kadar tüm temel kimyasal yapıların en az % 10' unun, 2050 yılına kadar ise % 50' sinin yenilenebilir ve bitki esaslı kaynaklardan oluşturulmasını hedeflediklerini belirtmişlerdir. Gelecek yıllarda, biyo-kompozitlerin yeni nesil yapısal malzemeler olarak geniş kullanım alanı bulacağı tahmin edilmesi, bu alandaki çalışmaların hızlı bir şekilde artışına sebep olmuştur (Yan ve ark., 2014).

Jüt, keten ve kenevir gibi doğal lifler ile yapılan araştırmalar, kompozit malzemeler için etkili takviye elemanı olarak doğal liflerin tercih edilebileceğini göstermiştir. Yenilenebilir ve çevre dostu olmalarının yanı sıra; sentetik liflere göre işleme yöntemleri maliyeti açısından avantajlar ve faydalar sunmaktadır (Hong ve ark., 2007). Bu özellikler de doğal lifleri ambalaj, otomotiv ve inşaat endüstrilerindeki uygulamalar için araştırma ve geliştirme imkanı sunarak; yeni ürün pazarı yaratmaya yönlendirmektedir. Ancak doğal liflerden yapılan ürünlerin nispeten düşük mekanik özellikler sağlaması onları yapısal olmayan ve altyapı uygulamalarında kullanımla sınırlandırmıştır. Matrisin, lifin ya da her iki bileşenin birlikte kimyasal ya da fiziksel olarak değiştirilmesi şeklinde, farklı çalışmalar yapılarak; doğal lif takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin artırılması denenmiştir (Zhang ve ark., 2013).

Jüt lifi de diğer biyo-bazlı lignoselülozik lifler gibi, jüt lifleri de doğada higroskopiktir ve bu nedenle polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi hidrofobik termoplastiklerle kolayca uyumlu değildir (Aggarwal ve ark., 2012). Doğal elyaf ve polimer matrisi arasındaki etkileşimi arttırmak için birçok araştırma yapılmıştır. Zayıf bir yapışma, düşük bir bağlayıcı etki yaratarak fiberden matrise zayıf bir yük transferine sebep olmaktadır (Zadorecki ve ark., 1985; Felix ve ark., 1993). Doğal liflerin hidrofilik karakterini azaltmak ve adhezyon özelliklerini geliştirmek için, yüzeylerinde kimyasal bir değişiklik yapılması gerekmektedir. Alkali muamele (Ray ve ark., 2002; Mohanty ve ark., 2000), maleik anhidrit kopolimerlerinin kullanımı (Gassan ve ark., 1997; Doan ve ark., 2006) , elyafın ön emdirilmesi (Sain ve ark., 1994) ve silan kullanımı (Abdelmouleh ve ark. ,2003 ; Herrera-Franco ve ark., 2004; Demir Topuk Z., 2013; Sever K., 2009) gibi doğal elyaf yüzeylerini değiştirmek için kullanılan birkaç yöntem önerilmiştir.

Bu çalışma, üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama üretimde; doğal liflerden jüt, termoplastiklerden matris malzemesi olarak kullanılan PP'ye takviye edilerek granül şeklinde kompozit malzeme üretimi ekstrüzyon makinasında yapılmıştır. Enjeksiyon makinasında çekme çubukları üretilerek malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir.

İkinci aşamada, jüt takviyeli PP granüllerden, yine çift vidalı ekstrüderde film çekilmiştir. Arayüz yapışmasını iyileştirme hedefiyle; jüt liflere silan çözeltisinde yüzey muamelesi yapılmıştır. Granül üretimi sırasında da jüt takviye edilecek numunelere maleik anhidrit asit çözeltisi de eklenmiştir. Jüt takviyeli (% 1.25, % 2.5, % 5) PP filmlere, çekme testleri yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir.

Üçüncü aşama üretiminde ise üretilen jüt takviyeli PP kompozit filmler, HDPE levhaların arasına yerleştirilerek hibrit bir kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Kombinasyon, HDPE levha, jüt takviyeli PP film, HDPE levha şeklindedir. Arayüzey yapışmasını iyileştirmesi amacıyla plakalar arasında maleik anhidrit asit çözeltisi uygulanmıştır. Hibrit kompozit plakalar, 190 °C sıcaklıkta ve 100 kN yükteki hidrolik pres ile birleştirilerek üretimi sağlanmıştır. Üretilen levhalardan, su jeti ile kesim yapılarak çekme çubukları elde edilmiştir. Hibrit yapıdaki kompozit malzemelerden elde edilen numunelere çekme testi uygulanarak malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, hibrit kompozit malzemeyi oluşturan orijinal malzemelerin (HDPE ve PP) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çekme testi uygulanan numunelerin, kırılma yüzeyleri SEM karakterizasyonu ile incelenmiştir. Arayüz ajanlarının fiber-matris arasında oluşturduğu kimyasal bağ yapısını görmek adına FTIR karakterizasyonu yapılmıştır. Üretim aşamaları proses akış diyagramı Şekil 1.1' de belirtilmiştir.



Şekil 1.1 Üretim Akış Diyagramı

Çalışmanın amacı, tek başına düşük mekanik özelliklere sahip olan doğal liflere, yüzey modifikasyonu uygulanarak, lif-matris arasındaki adhezyonu iyileştirmektir. Ayrıca farklı üretim sektörlerinde düşük maliyet, kolay şekil verilebilirlik, korozyona karşı direnç gibi özellikleri sebebiyle tercih edilen termoplastiklerden PP ve HDPE malzemeye lif takviyesiyle; PP ve HDPE malzemedan daha üstün mekanik özelliklere sahip yeni bir kompozit malzeme üretmektir.

1.1 Literatür Taraması

Doğal lif takviyeli poliolefin matrisli kompozit malzeme üretimi, bu malzemeler arası yüzey modifikasyonu iyileştirmeleri ve mekanik özelliklerindeki değişimler ile ilgili literatürde yer alan bir çok araştırma bulunmaktadır. Doğal elyaf takviyeli poliolefin matrise sahip kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili yapılan bazı araştırmalara aşağıda yer verilmiştir:

Abdelmouleh ve arkadaşları (2003), selülozik elyafların yüzey modifikasyonunu, bir etanol/su ortamında organo-fonksiyonel silan birleştirme maddeleri kullanılarak gerçekleştirmiştir. Selülozik substrat üzerine önceden hidrolize edilmiş silanların, denge adsorpsiyonuna ulaştıktan sonra bir ısı işlem (kürleme) uygulanmıştır. Yüzey modifikasyonu uygulanan lifler daha sonra dağınık yansıma kızılötesi spektroskopisi ve temas açıları ile karakterize edilmiştir. Selüloz yüzeyindeki Si-O-Selüloz ve Si-O-Si bağlarının varlığı, silan birleştirme ajanının, selüloz hidroksil grupları ile yoğunlaştırma ve silanol grupları arasında kendi kendine yoğunlaşma yoluyla lif yüzeyinde etkin bir şekilde tutulduğunu doğrulamıştır. Yüzey modifikasyonundan sonra yüzey özelliklerinin değişmesi, temas açısı ölçümleri ve ters gaz kromatografik analizi ile tespit edilmiştir. Lif yüzeyine eklenen silan fonksiyonel gruplarının, lifler ve polimer matrisi arasında kovalent bir bağ sağlamak için uygun monomerlerin zincir büyümesine katılabildiği gösterilmiştir.

Faruk ve arkadaşları (2012), 2000 - 2010 yılları arasında kullanımı artışa geçen biyo-polimerleri ve doğal lifleri içeren çalışmaların bir derlemesini yapmışlardır. Çalışmada, biyo-kompozitlerde kullanılan takviye liflerin kaynak, tip, yapı, kompozisyon ve mekanik özelliklerini, fiziksel ve kimyasal modifikasyon uygulamalarını, biyo-kompozitlerin üretim şeklini etkileyen faktörleri (nem içeriği, elyaf tipi ve içeriği, arayüz ajanları ve kompozit özelliklerine etkileri) ve bazı üretim yöntemlerini kapsamaktadır. Ayrıca doğal elyaf takviyeli

kompozitlerde kullanılan en popüler petrokimyasal ve yenilenebilir kaynaklı matrisler malzemeler de incelenmiştir.

Bledzki ve arkadaşları (2015), tarafından sunulan araştırma çalışması, plastik kompozit endüstrisinde takviye olarak kullanılan farklı tipte doğal lifleri karşılaştırmaktadır. Her elyaf tipi için karakterizasyonu, hazırlama yöntemi, kimyasal ve fiziksel özellikleri anlatılmıştır. Polipropilen biyo-kompozit üretim işleminin tarifi ve elde edilen biyo-teknolojik malzemelerin fiziksel özelliklerini içermektedir. Biyo-kompozitler aynı şekilde üretim yöntemi ile üretilmiştir. Hepsi ağırlıkça % 40 fiber içerecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece, takviye olarak kullanılan liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve bunların biyo-bileşiklerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilebilir hale getirilmiştir. Bu yaklaşım, basitçe bir matris takviyesi olarak yeterli bir lif tipini seçerek, PP biyo-kompozitlerin özelliklerinin nasıl ayarlanacağına dair pratik araçlar sağlamaktadır. Çalışma sonucunda; kenaf liflerinin, biyo-kompozitleri için olağanüstü dayanım özelliği gösterdiği, abaca liflerinin darbe direncinde en iyi gelişmeyi sağladığı, jüt liflerinin ,incelenen lifler arasında en yüksek sıcaklıkta kararlı kalabildiği ve ahşap mikrofiberlerinin düşük maliyetle iyi bir mukavemet sağlayabileceği bilgileri verilmiştir.

Corrales ve arkadaşları (2007), çalışmalarında, bir yağ asidi türevi olan oleoil klorürü jüt lifleri üzerinde kullanarak, liflere hidrofobik özellik kazandırmayı ve biyo-fiberlere karşı direnç sağlaması için malzemeyi kimyasal modifikasyona uğratmayı amaçlamışlardır. Bu reaksiyonda sırasıyla şişen ve şişmeyen çözücüler olmak üzere, piridin ve diklorometan uygulanmıştır. Oleoil klorürün hidroksil selüloz grubu ile tepkimesinden kaynaklanan ester gruplarının oluşumu, elementel analiz (EA) ve Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile incelenmiştir. Uygulanan karakterizasyon yöntemleri, selülozik malzeme ile birleştirme maddesi arasındaki kimyasal etkileşim olduğunu kanıtlamıştır. Uygulama sonrası selülozik elyafarın yüzey değişimleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Sonuçlara göre, piridin kullanıldığında daha iyi kimyasal özellikler sağlandığı belirtilmiştir.

Bessa ve arkadaşları (2017), bu çalışmada, doğal lifler üzerinde farklı türde yüzey muamelesi uygulamaları yapılarak, özellikle keten için, polimer matristeki mekanik özelliklere etkisini; otomotiv sektörü uygulamalarında kullanılmak için karşılaştırmaktadır. Farklı yüzey işlemleri, temizleme (L); alkali (A); benzoil (B), amino (SA), epoksi (SE), korona (C) gibi farklı fonksiyonel grupların birleştirilmesi olmak üzere uygulanmıştır. Yüzey işlemlerinin uygulanmasından sonra, lifli malzemeler polimerik malzemelerle, özellikle termoplastik

poliolefin (TPO) ile sıkıştırma kalıplaması ile birleştirilmiştir. Farklı yüzey işlemlerinin, keten kumaş takviyeli poliolefin malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bu lifli ürünlere mekanik testler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, keten kumaşlar üzerindeki yüzey işlemlerinin, kopma uzaması ve Young modülü gibi mekanik özelliklerini güçlü bir şekilde etkilediği şeklinde belirtilmiştir. L + A ve L + A + SE işlemlerine tabi tutulan keten kumaşlı kompozit malzemeler, aynı yük için daha büyük uzama değerlerine karşılık gelen Young modülüne göre daha düşük değerleri göstermiştir. Herhangi bir yüzey işlemine tabi olmayan keten liflere göre; yüzey muamelesi uygulanan keten lifin uzama değeri %100 arttırılmıştır. Bu sonuçlardan, yüzey işlemlerinin, mekanik özelliklerin kaybı olmadan, keten kumaşlarla güçlendirilmiş TPO' nun uzama kapasitesini artırabileceği sonucuna varılmıştır.

May-Pat ve arkadaşları (2013), bu çalışmada, henequen, sisal, hindistancevizi lifi, jüt, hurma ve bambu gibi lignoselülozik liflerin, çekici fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı farklı termoset ve termoplastik reçineler için takviye malzemesi olarak kullanımının önemine değinmiştir. Lignoselülozik lifler, geleneksel mühendislik liflerinden farklı olarak, örneğin, cam ve karbon lifleri ve mineral dolgu maddelerinden; düşük yoğunluklu, daha az makine aşınmasına sebep olması, sağlık tehlikesi içermemesi ve kompozite yüksek derecede esneklik gibi bazı avantajlar sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir. Özellikle doğal liflerin esneklik özelliği sayesinde kompozitin işlenmesi sırasında bükülebilmesi, cam elyaf gibi kırılmaması malzemenin kullanım sebebine örnek gösterilmektedir. Bir doğal lif takviyeli polimer kompozitin mekanik özellikleri ve kırılma davranışı, sadece bileşenlerin özelliklerine değil; aynı zamanda, gerilme aktarımının gerçekleştiği interfaz olarak bilinen elyafı çevreleyen bölgenin özelliklerine de bağlıdır. Ayrıca, interfazın yüzey işlemleriyle uyarlanması ve dikkatlice karakterize edilmesi, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin performansının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Takviye malzemesi olarak doğal liflerin kullanılmasından kaynaklanan kırılma tokluğu, sünek ve kırılğan polimerler arasında ve yarı-statik ve darbeli yükleme oranları arasında oldukça fark gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışmanın, kırılma kriterleri kullanılarak yarı statik yükleme altında doğal statik liflerin iyi kontrol edilmiş yüzey işleminden kaynaklanan interfaz özelliklerinin etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Spesifik olarak, farklı fiber-matris arayüzey yapışma seviyelerinin her birinin dağılım enerjisine katkısı analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Plastik bölgede, hem düşük hem de yüksek zorlanma oranları için gözlenen sürtünme ve kimyasal etkileşimler arasında bir sinerji olduğu görülmüştür. Birleştirilmiş çekme-kayma yükleri altındaki doğal lifin, doğrusal olmayan mekanik

davranışının, kırılma davranışı üzerinde etkin olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, farklı lif yüzey işlemleri, doğal lifin mikroyapısal niteliğini değiştirerek, özellikle yüksek yükleme oranları altında davranışını daha da etkilediği belirtilmiştir.

Burrola-Núñez ve arkadaşları (2018), doğal lifler arasında jüt lifinin özellikle dikkat çektiğini, fakat polimer matris arasındaki yapışma konusunda sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu sorunu aşmak için fiber yüzeyinde fiziko-kimyasal değişiklikler uygulanmasının gerekliliği öne sürülmüştür. Buna istinaden, fiziko-kimyasal işlemlerin jüt lifi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Alkali muamelenin en yaygın olduğu görülmüştür. Kimyasal ajanların kullanılmasının polimer matrislerine daha fazla elyaf eklenmesini sağladığı görüşüne varılmıştır. Bununla birlikte, bu işlemler çok fazla atık üretirmekte, üretim maliyetini arttırmakta ve toksik bileşik kullanımını arttırmaktadır. Çevre dostu uygulama olarak, yapışmayı iyileştirmek için ışınlama uygulanması önerilmiştir. Çalışma sonucunda yazarlar tarafından, jüt gibi doğal liflere sahip biyo-kompozitlerin üretiminde polimerik matrislerin, liflerin işlenmesinin ve düzgün bir şekilde dağılım sağlanmasının çok önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu faktörler, yüksek kaliteli biyo-kompozitlerin elde edilmesine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, matrise yapışmalarını arttırmak için bitkisel liflere fiziko-kimyasal tedaviler uygulamak gerekliliği savunulsa da; bu işlemler yapılırken endüstri ölçeğinde uygulandığında, çevre üzerindeki etkilerini de göz önünde bulundurarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. Alkali yüzey muamelesinin, hiç şüphesiz jüt lifi içerisindeki bileşenlerin en iyi şekilde uzaklaştırılma yöntemi olduğu kanısına varılmıştır.

Ramnath ve arkadaşları (2014), çalışmalarında jüt, keten ve cam fiber takviyeli karma kompozitin mekanik özelliklerinin yanı sıra; sırayla jüt ve cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Elle yatırma yöntemi ile üretilen bu kompozitlerde; jüt lif katmanları arasına keten lifler dikine olacak şekilde yerleştirilmiştir. Cam fiber katmanları yüzey düzgünlüğü ve mukavemetini sağlamak adına, her iki dış yüzeyde de kullanılmıştır. Jüt ve keten lifi, toplam hacmin 3'te 1'i oranında kullanılmıştır. Doğal lif takviyeli hibrit kompozitin çekme sonuçlarına göre kopma mukavemetinde % 22 iyileşme sağlanmıştır. Kırılma yüzeylerinin morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir.

Sağbaş ve arkadaşları (2009), çalışmalarında farklı oranlardaki keten lifleriyle polyester matrisli kompozit malzemeleri elle yatırma tekniğiyle üretmişlerdir. Polyestere takviye edilen keten oranı sırayla: % 0/100, % 10/90, % 20/80 ve % 30/70 olacak şekildedir. Üretilen

kompozitlerin takviye oranına göre çekme ve darbe mukavemeti arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuçlara göre, takviye oranı arttıkça çekme ve darbe mukavemetinin arttığı belirtilmiştir. Çekme mukavemetindeki artış oranı % 33 - % 261 arasında gerçekleşirken, darbe mukavemetindeki artış oranı % 11 - % 44 olarak hesaplanmıştır. En iyi çekme mukavemet değeri 65.6 MPa, en yüksek darbe dayanımı ise 13.3 kJ/m² ile sonuçlanarak % 30 keten lifi takviye oranında gerçekleşmiştir.

Priya ve Rai (2005), atık ipek kumaşın takviyeli epoksi kompozitlerin içindeki değişen atık ipek kumaş oranına göre değişen darbe ve sıkıştırma özelliklerini incelemiştir. Optimum kumaş yüklemesi için belirlenen özelliklerde maksimum dayanım gözlenmiştir. Bu kompozitler için yoğunluk, boşluk içeriği ve ağırlık azaltma gibi özellikler de belirlenmiştir. İpek lifin takviye oranı arttıkça, boşluk içeriğinde bariz bir azalma görülmüştür. Kompozitlerde ipek kumaşın ağırlık yüzdesinin artmasıyla, darbe ve sıkıştırma dayanımının arttığı görülmüştür. Bu kompozitler, yüksek darbe dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılabileceği belirtilmiştir. Düşük boşluk içeriğinin görülmesi, ipek kumaş ile matris arasında iyi bir bağ oluşmasının kanıtı olarak yorumlanmıştır.

Sever ve arkadaşları (2011), bu çalışmada, jüt kumaşa, jüt lifi ile matris arasındaki arayüzey yapışmasını arttırmak amacı ile alkali, mikro-emülsiyon silikonu (MS) ve florokarbon bazlı ajanlar (FA) kullanılmıştır. Fiber yüzeylerini karakterize etmek için X-ışını foto elektron spektroskopisi (XPS) ve temas açısı ölçümleri kullanılmıştır. Çeşitli yüzey işlemlerinin, jüt/polyester kompozitlerin mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkileri de incelenmiştir. Uygulanan tüm yüzey işlemlerinin, kompozitlerin çekme, bükülme dayanımları ve interlaminar kayma dayanımlarını iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca, mekanik özelliklerde maksimum iyileştirme FA işlem görmüş jüt / polyester kompozitleri için elde edilmiştir. Alkali, MS ve FA ile işlem görmüş jüt takviyeli doymamış polyester kompozitlerin kırılma yüzeylerine SEM ile bakıldığında, ILSS'de iyileşme olduğu görülmüştür.

Doan ve arkadaşları (2012), çalışmasında, jüt liflerini, epoksi matrisi ile arasındaki arayüzey etkileşimini arttırmak için yüzey işlemine tabi tutmuşlardır. Lifler, organosilan bağlama maddeleri ve sulu epoksi dispersiyonları ile birlikte alkali işlemine maruz bırakılmıştır. Yüzey topografyası ve işlemlerden etkilenen yüzey enerjisi karakterize edilmiştir. Kırılma yüzeylerinin SEM ve AFM karakterizasyonu, tek elyaf çekme testleri birlikte yapılarak; arayüzey kuvvetlerini belirlemek ve hata mekanizmalarını ortaya çıkarmak için kullanılmıştır.

Hossain ve arkadaşları (2013), vakum destekli reçine infüzyon tekniğiyle ön şekillendirmeli jütleri sırasıyla: 0/0/0/0, 0/+45°/-45°/0 ve 0/90°/90°/0 açılı istifleme ile jüt takviyeli kompozitleri üretmişlerdir. Jüt elyaflar, her numune için hacimsel oranı toplam hacmin % 25' i kadardır. Üretilen kompozitlere çekme ve üç nokta eğilme testleri yapılarak mekanik özellikleri, teorik değerler ile karşılaştırılmıştır. Kırılma yüzeyleri, yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu ile her iki mekanik test için de incelenmiştir. 0/0/0/0 ve 0/+45°/-45°/0 istifleme tiplerinde, boyuna gerilme mukavemetinin enine göre olandan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte 0/90°/90°/0 istifleme tipinin her iki yöndeki gerilme mukavemetinin birbirine çok yakın olduğu sonucu bulunmuştur. Sonuç olarak, jüt elyafın gerilme mukavemeti, gerilme özelliklerini belirleyicidir. Gerilme özelliklerinde de etkili olan, jüt elyafın yapısal kusurlarıdır.

Mohanty ve arkadaşları (2004), çalışmalarında jüt lifi takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitlerin mekanik ve viskoelastik davranışları incelemişlerdir. Lif ve birleştirme ajanı eklenmesi ile mekanik mukavemet, depolama modülü (E') yani bir malzemenin enerjiyi elastik olarak saklayabilme özelliği, kayıp modülü (E'') yani bir malzemenin enerjiyi dağıtabilme özelliği ve sönümlenme parametresi (tan γ) arasında gerçekleşen değişiklikler incelenmiştir. Çekme, eğilme ve darbe dayanımlarının, elyaf yüklemesinde % 30 bir artış sağladığı fakat mekanik dayanımda önemli bir azalma olduğu görülmüştür. Maleik anhidritin polietilene aşılama ile üretilen kompozitler, aşılama olmayan kompozitlere kıyasla gelişmiş özellikler göstermiştir. Kompozitlerin ısıl davranışları TGA / DTG analizleri ile değerlendirilmiştir. Aşılama yapılan kompozitlerdeki fiber-matris morfolojisi, kırılma yüzeylerine SEM analizi ile yapılarak doğrulanmıştır. Aşılama yapılmış ve yapılmamış jüt liflerinin FTIR spektrumları, arayüzey bağlarının tipinin varlığını saptamak için incelenmiştir.

Mohanty ve arkadaşları (2010), bambu lifi takviyeli HDPE kompozitler, eriyik harmanlama tekniği ve ardından enjeksiyonla kalıplama kullanılarak hazırlanmıştır. Kompozitlerin mekanik, dinamik, termal ve morfolojik davranışlarının sistematik bir incelemesi yapılmıştır. Elyaf yüklenmesinde oranın % 10' dan % 30' a yükselmesi ile gerilme ve bükülme özelliklerinin arttığı; kompozitlerin mekanik kuvvetlerinde ise bir düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca, maleik anhidrit aşılama polietilen (MAPE) ile işlemden geçirilmiş kompozitler, etkin lif matris yapışmasını doğrulayan gelişmiş mekanik özellikler sergilemiştir. Dinamik mekanik analiz, işlenmemiş ve işlenmiş kompozitlerde depolama modülünün, işlenmemiş HDPE ile karşılaştırıldığında, artış olduğu görülmüş; bu durum matris polimerinin takviye ile sertliğinin arttığının kanıtı olarak bildirilmiştir. Çekme testi sonucu kırılmış

numunelerin morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilerek incelenmiştir. Kompozitlerde termal özellikler sırasıyla DSC, TGA ve HDT kullanılarak çalışılmıştır. Su emme testi ile de, işlenmiş kompozit malzemenin daha az su emilimi yaptığı görülmüştür.

Seki ve arkadaşları (2012), yaptıkları bu çalışmada jüt lifi/ HDPE kompozitlerin alkali ve oligomerik siloksan işleminden geçirildikten sonra mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Yüzey işlemlerinin kompozitler üzerindeki etkisi, çekme testi, kısa kiriş kesme testi, üç noktalı bükme testi ve SEM, TGA ve DSC karakterizasyon yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Jüt kumaş ilk önce alkali çözelti ve sonra oligomerik siloksan çözeltisi ile muamele edildiğinde, sırasıyla çekme ve bükülme mukavemetinde % 34 ve % 49 artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, jüt kumaşın alkali ve siloksan muamelesinden sonra, jüt / HDPE kompozitinin ILSS(Interlaminar Shear Strength) 'sinde % 169 artış görülmesi dikkat çekicidir. Bu, jüt lifi ile HDPE matrisi arasındaki yapışmanın, jüt kumaşına uygulanan alkali ve oligomerik siloksan muamelesiyle büyük ölçüde arttığını göstermektedir. Kompozitlerin kırılma yüzeylerine SEM analizi yapılarak da, lif-matris arası yapışmanın iyileştiği görülmüştür.

Bateman ve Wu (2000), kompozit malzeme elde etmek için halı atıkları sonucu oluşan elyaf ve LDPE kullanmışlardır. Proses sırasında bağdaştırıcıların eklenmesinin, bu tür malzemelerin mekanik performansında bir gelişme sağladığı gösterilmiştir. Sisteme reaktif bir bağdaştırıcının eklenmesinin, hem bağdaştırıcı üzerindeki işlevsel gruplar arasında hem de proses koşullarında halı elyaflarının yüzeyi arasındaki kimyasal reaksiyonlar yoluyla, hem kompozit malzemenin bileşenleri hem de arayüz etkileşimleri arasındaki uyumu arttırdığına savunulmaktadır. Ağırlıkça % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 halı elyafı LDPE matrisine takviye edilmiştir. % 1 ve % 5 oranlarında maleik anhidrit modifikasyonu tüm numunelere yapılmıştır. Ayrıca bir grup numuneye de hiç arayüzey bağdaştırıcı uygulanmamıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonuç % 1 oranda uygulanan maleik anhidrit modifikasyonunda alınmıştır. Morfolojik yapı SEM görüntüleri analiz edilerek de ispatlanmıştır.

Doan ve arkadaşları (2007), Termal, dinamik mekaniği ve yaşlanma davranışlarının, jüt/ polipropilen kompozitlerin uygulanması için kritik konular olduğunu belirtmişlerdir. Enjeksiyon ile kalıplanmış jüt takviyeli PP kompozit, lif içeriğine, matrisin moleküler ağırlığına ve matris modifikasyon işlemine göre araştırılmıştır. Jüt lifi, polipropilen reçinesi ve kompoziti termal gravimetrik davranışı, azot veya hava temizleme gazı altında belirlenmiştir. Nem difüzyon deneyleri, Fickian modeline göre, fiber hacim içeriği, matris moleküler ağırlık ve matris modifikasyonuna bağlı olarak farklı difüzyon katsayılarını nem difüzyon deneyleri

sonucunda ortaya koymuştur. Aynı takviye oranında, yüzey muamelesi yapılan ve yapılmayan malzemeler kıyaslandığında, yüzey modifikasyonu uygulanan numunelerin daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Rana ve arkadaşları (2002), jüt lifi PP granüle takviye etmek için kinetik karıştırıcı kullanmıştır. ASTM standardında yapılacak test için test parçaları enjeksiyon makinasında kalıplanmıştır. Tokluktaki artışın sebebinin ,azalan çekme / bükülme özellikleri ile doğru orantılı olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, artışın / azalmanın derecesi modifikasyon malzemesinin türüne, dozuna ve jüt-PP sistemiyle uyumluluğuna bağlı olarak gerçekleştiği belirtilmiştir. Çentikli / çentiksiz İzod darbe dayanımı, eğilme dayanımı / modülü ve çekme dayanımı / modülü ile farklı darbe arttırıcılar ile birlikte, ağırlıkça % 0, % 4, % 9 ve % 14 arasındaki değişim gösterilmektedir. Darbe arttırıcının % bağdaştırıcı üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir. Bağdaştırıcı oranı arttıkça hem darbe hem de çekme özelliklerinin artış eğilimi gösterdiği, ancak bükülme özellikleri için ters orantıda bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Ayrıca fiber yüklemesi arttıkça, darbe dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Fiber yüzey morfolojisi, fiber çekme ve fiber matris arayüzeyinin araştırılması için saha emisyon taramalı elektron mikroskobu ile arayüz çalışmaları yapılmıştır.

Karmaker ve Youngquist (1996), yaptıkları çalışmada, polipropilen (PP) ve jüt lifi içeren kompozit üretimini enjeksiyon kalıplama tekniği ile hazırlamışlardır. Jüt lifi ve PP arasındaki yapışmayı arttırmak için birleştirme ajanı olarak maleik anhidrid polipropilene aşılanmıştır. Enjeksiyon kalıplama sırasında, kompozitlerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen yüksek bir elyaf yıpranması kaydedilmiştir. Birleştirme ajanının, gerilme ve eğilme dayanımlarını geliştirdiği, ancak elastik ve bükme modüllerinin, birleştirme ajanı tarafından etkilenmediği bulunmuştur. Polipropilene jüt takviyesi ile çekme mukavemeti, işlenmemiş PP hammaddeye oranla, yaklaşık % 8 oranında arttığı, buna ek olarak birleştirme ajanı kullanıldığında ise işlenmemiş PP hammaddeye göre % 100'ün üzerinde bir iyileşme sağlandığı belirtilmiştir. Ortalama lif uzunluğunun kompozitlerin güçlenmesindeki rolü kritik lif uzunluğunun yardımı ile yorumlanmıştır. Kompozitlerin kırılma yüzeyleri ve fiber yönelimleri sırasıyla taramalı elektron mikroskobu ve ışık mikroskobu ile incelenmiştir.

Rahman ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmada, jüt lifi takviyeli polipropilen kompozitleri, enjeksiyonlu kalıplama yöntemi kullanarak üretilmişlerdir. Ham jüt lifleri oksitlenmiştir. Üretim sonrasında kompozitler ürotropin ile işleminden geçirilmiştir. Üretim sırasında, hem ham hem de oksitlenmiş jüt lifi, dört yükleme seviyesinde (ağırlıkça % 20, %

25, % 30 ve % 35) kullanılmıştır. Mikroyapısal analiz ve mekanik testler sonucunda, üretim sonrasında işlem görmüş örneklerin, oksitlenmiş ve ham olanlara kıyasla daha iyi mekanik özellikler gösterdiği belirtilmiştir. Lif yüklemesine dayanarak, % 30 lif takviyeli kompozitlerin, optimum mekanik özelliklere sahip olduğu kanısına varılmıştır. Daha yüksek lif içeriğinde daha iyi mekanik özelliklere sahip olan kompozit malzeme üretimi için polipropilen matris ve ürotropin ile işlenmiş jüt lifi arasındaki bağın iyileştirilmesi gerektiğini yazarlar tarafından önerilmektedir.

Hong ve arkadaşları (2007), bu çalışmada jüt liflerinin ekonomik, düşük yoğunluklu ve üstün spesifik özellikler sağlayacak kompozit üretimi sağladığını savunarak, jüt takviyeli PP matrisli kompozit üretimi yapmışlardır. Bu kompozitler, ağırlıkça % 1, % 5, % 10 ve % 15 jüt takviyesi içerecek şekilde 4 çeşit numuneden oluşmaktadır. Jüt lifine önce yüzey modifikasyonu yapılmıştır. Daha sonra PP granüller eritilerek, karıştırıcı kullanılarak jüt takviyesi ile üretim sağlanmıştır. Karışımdan çıkarılan malzemeye pres uygulaması yapılmıştır ve makas yardımı ile küçük parçalar şeklinde kesilmiştir. Jüt lifi ile polimer matrisi arasındaki arayüzey yapışmasını arttırmak için silan arayüz ajanı olarak kullanılmıştır. Silan ile muamele edilmiş kompozitlerin, çekme testi sonrasında tamamen kopmadığı görülmüştür. Bu durum silan uygulamasının iyi bir kaplama sağlayarak, yapışma derecesini arttırdığı anlamına gelmektedir. Jüt-PP kompozitlerinin gerilme ve dinamik mekanik özellikleri, silanize jüt lifi ve PP matrisi arasındaki geliştirilmiş arayüzey yapışmasının bir sonucu olarak silan muamelesiyle geliştirildiği sonucuna varılmıştır.

Aggarwal ve arkadaşları (2012), Jüt takviyeli PP kompozitlerde birleştirme ajanı olarak, polipropilene m-izopropenil-a-bir dimetilbenzil-izosiyanat aşılama yöntemini kullanmıştır. Takviye konsantrasyonunun ve birleştirme ajanının, kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. FTIR karakterizasyonu ile jüt lifi ile polipropilen arasında etkin bir bağlantı olduğu görülmüştür. Ağırlıkça % 50 jüt içeriğinde, gerilme mukavemeti % 87 artış gösterirken, bükülme mukavemeti işlenmemiş polipropilene göre yaklaşık % 95 artış gösterdiği belirtilmiştir. Böylece, birleştirme ajanının, kompozitlerin mukavemet ve sertlik özelliklerinin geliştirilmesinde etkili olduğu bulunmuştur. Özelliklerdeki gelişme, yükün matristen liflere etkin bir şekilde aktarılmasıyla jüt liflerinin polipropilen matrisine takviye edildiğini göstermiştir. Birleştirme ajanı olmadan, artan dolgu maddesi içeriği ile mukavemet özelliklerinde herhangi bir gelişme göstermediği görülmüştür. Bununla birlikte, sadece gerilme modülünün, dolgu maddesi içeriği ile birlikte artan bir eğilim gösterdiği belirtilmiştir. Kopma uzaması ve kompozitlerin çentiksiz darbe mukavemeti

azalırken, çentikli darbe mukavemeti artan dolgu maddesi içeriği ile artışa geçen bir eğilim sergilemiştir. Birleştirme maddesi içermeyen kompozitlerde, 600 saatin üzerinde ölçülen nem emme kabiliyeti, birleştirme maddesi ile olan kompozitlere kıyasla iki ila üç kat daha yüksek oranda sonuçlanmıştır.

Kim ve arkadaşları (2008), bu çalışmada, polipropilene doğal liflerden pamuk ve odun lifini ayrı ayrı takviye ederek elde ettikleri kompozitleri karşılaştırarak mekanik özelliklerini incelemiştir. PP'nin erime indeksinin kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Hidrofilik doğal elyaflar ve hidrofobik matris PP arasındaki zayıf arayüzey etkileşiminin iyileştirilmesi için, bir uyumlulaştırıcı olarak maleik anhidrit (MAH) aşılansmış PP (PP-g-MAH) kullanılmıştır. PP / ahşap lifli kompozitlerin gerilme mukavemeti, odun liflerinin ağırlıkça % artmasıyla azaldığı, PP / pamuk lifli kompozitlerin ise farklı davranış sergilediği görülmüştür. % 10 pamuk lifi ilavesi ile gerilme mukavemeti azalırken, % 20 ve % 30 pamuk lifi ilavesi ile pamuk lifi dolaşıklığı sebebiyle artış görülmüştür. PP / ahşap lifli kompozitler için PP'nin eriyik akış indeksinin (MFI), mekanik özelliklere (gerilme ve eğilme dayanımları) yön veren önemli bir faktör olduğu bulunmuştur. PP-g-MAH kullanımı, lif ve PP matrisi arasındaki etkileşimini arttırmasıyla, PP/pamuk lifi ve PP/ahşap lifi kompozitlerinin gerilme ve bükülme mukavemetlerini arttırmada da yardımcı olduğu saptanmıştır.

Liu ve Dai (2007), bu çalışmada, film istifleme yöntemiyle hazırlanan jüt / polipropilen (PP) kompozitinin performansını arttırmak için jüt lifi hasırın işleminden geçirilmesi için sodyum hidroksit (NaOH) ve Maleik anhidrit aşılansmış polipropilen (MAPP) emülsiyonunu kullanan yeni bir muamele yöntemi uygulanmıştır. Jüt lifinden hasıra uygulanan yüzey modifikasyonlarının, lif matris arasındaki yapışmasını iyileştirmede çok etkili olduğu bulunmuştur. Bu işlemlerin sadece yüzey topoğrafyasında değil, aynı zamanda jüt liflerinin çap ve kuvvet dağılımını da değiştirdiği, iki parametrelili Weibull dağılımı modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, arayüzlerin kayma mukavemeti, kompozitlerin eğilme ve gerilme mukavemeti özelliklerinin arttığı görülürken, darbe dayanımında az da olsa azalma görülmüştür.

Chand ve Dwivedi (2006), jüt takviyeli polpropilen kompozitin sürtünme aşınması davranışı ile ilgili çalışma yapmıştır. Maleik anhidrit aşılama yapılan polipropilendeki bu birleşme ajanının; kayma mesafesine ve sürtünme kaynaklı aşınma sonucundaki etkileri SUGA aşınma test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Birleştirme ajanı kullanmanın, kullanılmayan kompozit malzemeye göre daha iyi aşınma direncine sahip olduğu belirtilmiştir. Eriyik

karıştırma sırasındaki bağlama maddesinin eklenmesinin, MA-g-PP çözeltisi ile muamele edilmiş jüt liflerine sahip olan jüt PP kompozitlerine kıyasla daha iyi aşınma direnci sağladığı bulunmuştur; bunlar, karıştırılmış jüt-PP kompozitlerinin en yüksek termal stabilitesine dayanarak açıklanmıştır. Kompozitlerin sürtünme aşınması performansı, aşınmış yüzeylerin yüzey mikro yapılarının yardımı ile açıklanmıştır. SEM karakterizasyonu ile işlenmemiş kompozit, çözelti ile yüzey muamelesi yapılan kompozit ve eriyik karıştırma sırasında arayüzey ajanı eklenen kompozit morfolojisi incelendiğinde, lif-matris arayüz görüntülerinden de sonuç doğrulanmıştır.

Gassan ve Bledzki (1997), bu çalışmada MAH-PP kopolimerlerinin, jüt polipropilen kompozitlerindeki birleştirme maddelerine etkinliği incelenmiştir. Life yapılan yüzey muamelesi süresinin ve MAH-PP kontrasyonunun, mekanik özellikleri etkilediği belirtilmiştir. MAH-PP ile muamele edilmiş jüt elyafı kompozitlerin bükülme dayanımının, yüzey modifikasyonu uygulanmamış liften daha yüksek olduğu ve lif yükleme oranı arttıkça da bu özelliğin iyileştiği bildirilmiştir. Artan bir yükteki, periyodik dinamik değerlerin, birleştirme ajanı sayesinde hasarı minimize ettiği belirtilmiştir. Maleik anhidrit aşınmış PP kompozitlerin dinamik mukavemetinin bu nedenle yaklaşık % 40 arttığı sonucuna varılmıştır. SEM analizi ile de bu sonuçlar morfolojik yapı üzerinde de doğrulanmıştır.

Park ve arkadaşları (2006), işlem görmemiş ve işlem görmüş jüt ve kenevir liflerinin farklı matris polipropilen-maleik anhidrit polipropilen kopolimer (PP-MAPP) kompozitlerinin yüzeysel değerlendirilmesi, akustik emisyon (AE) ve dinamik temas açısı ölçümü ile birleştirilen mikro-mekanik teknik ile incelemiştir. Jüt ve kenevir liflerinin istatistiksel gerilme dayanımı için, bimodal Weibull dağılımı, tekli dağılımdan daha iyi yerleştirilmiştir. Doğal elyaf kompozitlerinin, arayüzey kayma dayanımı (IFSS) üzerindeki asit-baz parametresi; yapışmanın etkinliğinin hesaplanmasıyla karakterize edilmiştir. Alkali, silan birleştirme ajanlarının doğal lifler üzerindeki etkisi, PP-MAPP matrislerinde değişen MAPP miktarı ile belirlenmiştir. Alkali işlem görmüş lifler, zayıf sınır tabakalarının yer değiştirmesi ve böylece yüzey alanının artması nedeniyle; yüzey enerjisinin daha yüksek olmasını sağlarken, silan ile muamele edilmiş jüt ve kenevir liflerinin yüzey enerjisinin, yüksek enerji alanlarından dolayı azaldığı belirtilmiştir. PP-MAPP matrisindeki MAPP, asit-baz bölgeleri nedeniyle yüzey enerjisinin artmasına neden olduğu görülmüştür. İki doğal elyaf kompozitinin mikro hata modları, doğal elyafların farklı gerilme dayanımları nedeniyle açıkça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Tahribatsız AE analiziyle, dolaylı olarak tutarlı sonuçlar gösterilmiştir.

Sailesh ve arkadaşları (2017), bu deneysel çalışmada, Kenaf-Aloe Vera-Jüt takviyeli doğal elyaf kompozitler, sıkıştırılmalı kalıplama yöntemi ile üretmişlerdir. Malzeme, 4 tip olmak üzere; 1) Kenaf-Jüt-Aloe Vera-Jüt-Kenaf, 2) Aloe Vera-Kenaf-Jüt-Kenaf-Aloe Vera, 3) Jüt-Kenaf-Aloe Vera-Kenaf-Jüt ve 4) Jüt-Aloe Vera-Kenaf-Kenaf-Kenaf-Aloe Vera-Jüt istifleme kombinasyonları ile üretilmiştir. Çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerin incelenmesi ve karşılaştırılması için malzemelere çekme testi uygulanmıştır. Kopma, bükülme ve darbe dayanımlarının en iyi 4 numaralı örnekte gerçekleştiği, aşınma da en az 2 numaralı örnekte olduğu belirtilmiştir. Yukarıda belirtilen mekanik özelliklerin ve aşınma özelliklerinin test edilmesi için kompozit örnekler ASTM standartlarına göre hazırlanmıştır.

Acha ve arkadaşları (2007), iki yönlü jüt kumaşlardan ve polipropilenden yapılan kompozitlerin dinamik mekanik tepkisi ve kısa süreli sünme-toparlanma davranışı incelemiştir. Polar liflerin ve polar olmayan matrisin uyumluluğunu geliştirmek için iki alternatif karşılaştırılmıştır; bunlar, birleştirme maddelerinin eklenmesi ve liflerin kimyasal modifikasyonu olarak belirtilmiştir. İlk durumda, iki ticari maleatlanmış polipropilen ve doğal bir polimer olan lignin kullanılmıştır. İkinci durumda, elyaflar, ticari bir alkenil süksinik anhidrit kullanılarak esterleştirilmiştir. Arayüzey yapışma derecesi ölçülen özelliklerden çıkarılmıştır ve kompozit malzemenin kırılma yüzeylerinin incelenmesiyle doğrulanmıştır. Lifler ile saf PP arasında arayüzey birleşmesi, maleatlanmış PP'ni bağdaştırıcı gibi davranmasıyla sağlanmıştır. Lignin, bağdaştırıcı madde olarak kullanıldığında ve kimyasal olarak değiştirilmiş lif takviyeli kompoziti hazırlamak için kullanıldığı zaman, lifler ve matris arasında net bir ayrım gözlenebileceği savunulmuştur. Sürünme deformasyonu, arayüzey özellikleri ile doğrudan ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Bürger model parametreleri eğrilerin sürünme kısmından hesaplanmış ve geri kazanım kısmı bu değerler kullanılarak modellenmiştir. İyileşme bölümünde küçük farklılıklar bulunsa da, sürünme bölgesinde deneysel veriler ile teorik eğriler arasında çok iyi bir uyum sağlanmıştır. Kompozitlerin uzun vadeli sürünme davranışını tahmin etmek için (zaman-sıcaklık prensibini kullanılarak) bir ana eğri yapısının fizibilitesi araştırılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında, doğal lif takviyeli kompozit malzemeler üzerine olan çalışmalarda genel olarak aşağıdaki konular üzerine yoğunlaşmıştır:

- Farklı oranlarda lif takviyesinin mekanik özelliklere etkileri,
- Doğal lif kullanımının, sentetik liflere nazaran avantajları,

- Üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin yüzey muamelesi görmüş ve görmemiş tiplerinin incelenmesi ve karşılaştırılması,
- Termoset esaslı malzemeler ile manuel olarak üretilen kompozit malzemelerin, farklı lif oranlarındaki mekanik özelliklerinin incelendiği,
- Farklı tür arayüzey işlemlerinin kompozitin; mekanik, termal ve fizikokimyasal özelliklerine etkileri,
- Uygulanan test yöntemlerinde yaygın olarak çekme testi, aşındırma testi, kısa kırıç kayma testi ve nem alma durumları ile mekanik özellikler incelenmiştir.
- Karakterizasyon yöntemlerinden ise SEM, FTIR, DSC ve TGA kullanılarak kimyasal, termal ve morfolojik özelliklerin incelendiği görülmüştür.

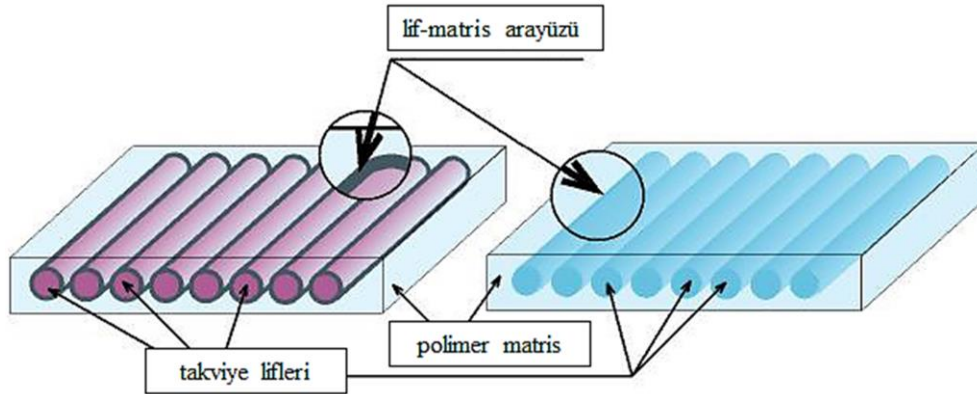
Bu çalışmada, poliolefin grubunu oluşturan ve endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılan PE ve PP malzemeler, kompozit yapıda birlikte kullanılmıştır. Farklı üretim teknikleri ile üretilen yarı mamül ürünler (Jüt takviyeli PP ve PE levha) sıcak pres yöntemi ile birleştirilerek, hibrit yapıda kompozit levha üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda selüloz esaslı jüt lifinin farklı oranlarda (% 1.25, % 2.5, % 5) PP'ye takviye edilmesi sonucu üretilen jüt/PP film kompozitin ve sonrasında üretilen PE/Jüt/PP Film/PE şeklinde istiflenen hibrit kompozitin, çekme ve darbe davranışları incelenmiştir. Farklı üretim tipi ile üretilmiş iki ayrı kompozit malzemeler sırasıyla çift vidalı ekstrüderde film çekimi ve sıcak preste sıkıştırma yöntemi ile üretilmiştir. Fiber matris arası yüzey yapışma özelliklerinin artırılması amacı ile arayüzey ajanı olarak; jüt ve PP film üretiminde silan ve maleik anhidrit asit; hibrit kompozit üretiminde ise katmanlar arasında maleik anhidrit asit kullanılmıştır. Çekme testi sonucu elde edilen veriler ve hasarlı numuneler çalışma içerisinde sunulmuştur. Ayrıca fiber-matris arasında oluşan arayüzey yapışması sonucu oluşan kimyasal bağlar FTIR karakterizasyonu yapılarak gösterilmiştir. Çekme testi sonucu numunelerde oluşan kırılma yüzeyleri SEM analizi ile incelenmiştir ve bu görüntüler de fiber- matris arayüzeyleri görseller ile paylaşılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

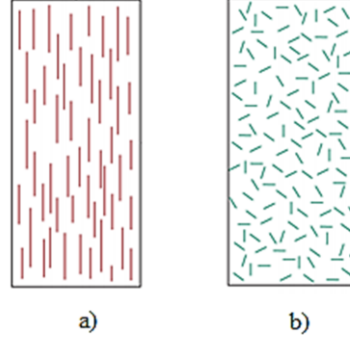
Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin çeşitli üretim yöntemleri ile mikro ya da makro seviyede bir araya getirilmesi sonucu oluşan yeni malzemelerdir. Oluşan bu yeni malzemenin özellikleri, kendisini oluşturan malzemelerden daha üstün özelliklere sahiptir. Kompoziti oluşturan malzemeler birbirleri içinde çözünmezler ve kimyasal etkileşime girmezler.

Takviye elemanı, matris malzemesi ve arayüz fazından oluşan malzeme kompozit olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.1). Takviye elemanı kompozitte yükü taşıyan, yapıya mukavemet sağlayan elemandır. Matris malzemesi ise yapının bir arada tutulmasını, yükün takviye elemanları arasında dağılmasını, plastik deformasyon sırasında oluşabilecek çatlakların ilerlemesinin önlenmesini, kopmanın gecikmesini, takviye elemanlarının kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar. Arayüz fazı ise lif takviyesi ve matris malzemesi arasındaki yapışmayı belirler (Sağır, 2016).



Şekil 2.1 Lif - Matris - Arayüz Yapısı (Srinivasarao, 2010)

Takviye edilen fiberler iki farklı şekilde bulunmaktadır. Bunlar sürekli ve kısa (kesilmiş) lif yapısı şeklindedir. Enjeksiyon kalıplama, baskı kalıplama gibi üretim metotlarında kısa lif yapısı tercih edilirken; elyaf sarma, profil çekme, elle yatırma gibi üretim metotlarında sürekli lif yapısı tercih edilmektedir. Şekil 2.2' de a) görselinde sürekli lif yapısı, b) görselinde kısa (kesilmiş) lif yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 a) Sürekli lif yapısı b) Kısa (kesilmiş) lif yapısı (Mazumdar, 2002)

Fiberlerin ve matris malzemelerin önemli işlevsel özellikleri aşağıda maddelenmiştir. Bir kompozit malzemedeki fiberlerin işlevsel özellikleri,

- Kompozit malzemeye uygulanan kuvvetin yükü, lifler üzerinden aktarılır ve yükün % 90' ı lifler tarafından taşınmaktadır.
- Fiberler, yüksek elastisite modülüne, sertliğe, yüksek sıcaklıktaki dayanımları ve diğer yapısal özellikleriyle kompozit malzemenin yapısını kararlı kılmaktadırlar.
- Kompozit malzemenin elektrik iletkenliği ve yalıtkanlığı kullanılan fiber malzemelerin kendine özgü özelliklerine bağlıdır.

Matris malzemelerin önemli işlevsel özellikleri aşağıda maddelenmiştir. Bir kompozit malzemedeki matrislerin işlevsel özellikleri,

- Matris malzeme fiberlerin bir arada kalmasını sağlamaktadır. Bu sayede fiberlerin kontrolsüz hareket etmesine engel olmaktadır.
- Malzemeye yüklenen yükü fiberlere transfer etmek matris malzemenin görevidir.
- Matris malzeme kompozit malzemeye şekil vererek; malzemenin katı fazda durmasını da sağlamaktadır.
- Çevresel etkenler dolayı gerçekleşebilecek kimyasal ve fiziksel zararlı faktörlere karşı kompozit malzemeyi korumaktadır. (Mazumdar, 2002)

2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris ve takviye malzemesinden oluşan kompozit malzemeler, malzemesinin cinsine veya kaynağına göre sınıflandırılmaktadır. Kompozit malzemeler takviye malzemesinin yapısına göre elyaf takviyeli, parçacık takviyeli veya tabakalı kompozit malzemeler olmak

üzere üç grupta sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesinin cinsine göre ise polimer, seramik veya metal matrisli kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaktadır. Matris ve takviye malzemesinin kaynağına bağlı olarak (doğal olup olmaması) ise normal kompozit malzeme veya biyokompozit malzeme olarak sınıflandırılır. Bu tez çalışması sırasında polimer esaslı hibrit kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmesi sebebiyle, malzeme ile ilgili detay bilgiler diğer bölümlerde daha ayrıntılı belirtilecektir.

2.1.1. Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozitler temel eksen doğrultusunda değişik yönlerde katmanların üst üste yerleştirilip bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit yapılarıdır. Tabakalar matris içine rastgele yerleşmiş elyaf ve ya belli bir yönde yerleşmiş elyaf yüzeylerden oluşabilmektedir. Dayanım ve rijitlik, bu tip malzemede, kompozite uygulanacak yük ile uyumlu olmasını sağlamaktadır (Şahin, 2016).

2.1.2. Biyokompozit malzemeler

Günümüzde, petrol kaynaklarının hızla tükenmesi ve sentetik ürün üretimine yönelik endüstriyel etkinliklerin yarattığı küresel çevresel sorunlar, biyolojik alt yapı malzeme çalışmalarının öne taşınmasını sağlamıştır. Bilgi teknolojilerinde, biyokimya ve biyomühendislik alanlarında gerçekleşen gelişmeler ve çevresel değerler ile entegrasyon sağlanarak yeni ürünler elde edilebilmektedir. Kompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte bu malzemelerin kullanım ömrünü tamamladıktan sonra ya geri dönüştürülebilir olması ya da doğada yok olması istenmektedir. Bu amaçla kompozit malzeme üretiminde matris ve/veya takviye malzemesi doğal olan ürünlerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Takviye veya matris malzemesinden en az birinin doğal ürün olduğu kompozitlere biyokompozit malzeme denilmektedir. Eğer hem matris hem de takviye materyali doğal üründen üretilmiş ise bunlara ekokompozit veya yeşil kompozit malzeme de denilmektedir (Alkaya ve ark., 2010).

2.1.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Kompozit malzeme seçiminde bileşen özelliklerinin bilinmesi, mühendislik uygulamalarında kullanılan kompozit yapının kullanım özelliklerinin belirlenmesi için önemli

bir rol oynamaktadır. Malzemenin kullanımı sırasındaki kuvvet yüklenmesi durumunda yapının nasıl bir davranış sergileyeceğinin anlaşılması için gerekli bir kısıttır. Polimer matrisli kompozit malzemeler, matris ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden ve matris ile takviye malzemesinin etkileşim halinde bulunduğu bir arayüzeyden oluşmaktadır. Bu iki bileşen birbirleriyle etkileşime girerek farklı özelliklere sahip, yeni bir malzeme oluşturmaktadırlar. (Nutt, 2001).

2.2 Matris Malzemeler

Matris malzemesi, takviye malzemesini bir arada tutan polimerik malzemelerdir. Matris malzemesinin temel görevi uygulanan kuvveti liflere iletmek ve lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortam etkisinden ve darbelerden korumaktır.

Polimer, monomer adı verilen çok sayıda küçük molekülün kovalent bağ oluşturarak, birbirlerine bağlanması ile oluşan makromoleküldür. Monomerler uygun koşullarda polimerizasyon reaksiyonu sonucu birbirleriyle kimyasal bağ yaparlar ve polimer moleküllerine dönüşürler.

Polimerler de genellikle tek başına kullanılmayarak; içlerine çeşitli dolgu ve katkı maddeleri karıştırılması yöntemleriyle bir ön karışım hazırlanarak kullanılmaktadır. Bu karışımlar Kompaund (Compound) olarak ifade edilmektedir. Bu karışımlardan uygun metotlar kullanılarak son şekil ile ürün malzeme elde edilir. Bu ürün, plastik olarak tanımlanmaktadır (Çağlarer, 2004).

Matris malzemesi seçiminde, malzemenin nem alma özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin (kayma sertliği, kopma mukavemeti ve uzaması, darbe dayanımı, vb.) göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Genel olarak matrisin yüksek bir kayma modülüne sahip olması istenmektedir. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matris için mukavemetten daha önemli bir unsurdur. Kullanılan matris materyalleri ısıl davranışlarına göre termoset veya termoplastik olmak üzere iki ana sınıfta toplanmaktadır. Eğer termoset esaslı matris malzemesi kullanılacak ise viskozite ve kür zamanı da dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerdir (Olçay ve ark., 2011).

Yaygın olarak kullanılan matris malzemeleri Tablo 2.1' de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında termoplastik polimer olan PE ve PP matris malzemesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2.1 Kompozit malzeme üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan polimerler ve bazı mekanik özellikleri (Callister,W.D., 2007)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Akma Dayanımı (MPa)	Gerilme Dayanımı (MPa)	Young Modülü (GPa)	Yüzde Uzama
Epoksi	1.11-1.40	-	27.6-90.0	2.41	3-6
Naylon 6,6(PA66)	1.14	55.1-82.8	94.5	1.59-3.79	15-80
Polibütülen tereftalat(PBT)	1.34	56.6-60.0	56.6-60.0	1.93-3.00	50-300
Polikarbonat(PC)	1.20	62.1	62.8-72.4	2.38	110-150
Polyester	1.04-1.46	-	41.4-89.7	2.06-4.41	< 2.6
Polietereketon(PEEK)	1.31	91	70.3-103	1.10	30-150
Polietilen					
Low Density	0.925	9.0-14.5	8.3-31.4	0.172-0.282	100-650
High Density	0.959	26.2-33.1	22.1-31.0	1.08	10-1200
Polietilen tereftalat (PET)	1.35	59.3	48.3-72.4	2.76-4.14	30-300
Polimetil metakrilat (PMMA)	1.19	53.8-73.1	48.3-72.4	2.24-3.24	2.0-5.5
Polipropilen (PP)	0.905	31.0-37.2	31.0-41.4	1.14-1.55	100-600
Polistiren (PS)	1.05	-	35.9-51.7	2.28-3.28	1.2-2.5
Politetrafloroetilen(PTFE)	2.17	-	20.7-34.5	0.40-0.55	200-400
Polivinilklorat(PVC)	1.30-1.58	40.7-44.8	40.7-51.7	2.41-4.14	40-80

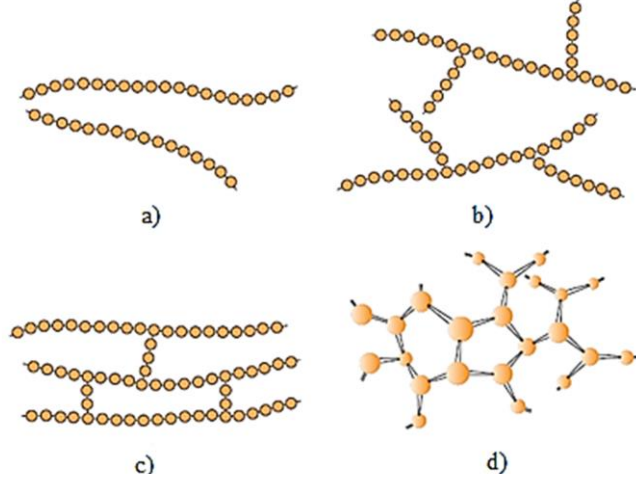
Erime ve camsı geçiş sıcaklıkları, polimer uygulamalarında kullanılacakları yere göre önemli parametrelerdir. Sırasıyla üst ve alt sıcaklık limitlerini tanımlayan bu değerler, özellikle yarı kristal polimerlerin kullanımını belirlemede yön vericidir. Cam geçiş sıcaklığı, camsı amorf malzemeler için üst kullanım sıcaklığını da tanımlayabilmektedir. Ayrıca, polimerler ve polimer-matris kompozitler için imalat ve işleme prosedürlerini etkilemektedir (Callister, 2007). Bazı polimerlerin camsı geçiş sıcaklıkları ve erime noktaları Tablo 2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.2 Bazı polimerlerin camsı geçiş sıcaklıkları (T_g) ve erime noktaları (T_m), (Callister, 2007)

Malzeme	Camsı Geçiş Sıcaklığı(T _g) [°C (°F)]	Erime Noktası(T _m) [°C (°F)]
Polietilen (düşük yoğunluklu, LDPE)	-110 (-165)	115 (240)
Politetrafloroetilen(teflon, PTFE)	-97 (-140)	327 (620)
Polietilen (yüksek yoğunluklu, HDPE))	-90 (-130)	137 (279)
Polipropilen (PP)	-18 (0)	175 (347)
Naylon 6,6 (PA 66)	57 (135)	265 (510)
Polyester(PET)	69 (155)	265 (510)
Polivinilklorür(PVC)	87 (190)	212 (415)
Polistiren(PS)	100 (212)	240 (465)
Polikarbonat(PC)	150 (300)	265 (510)

2.2.1 Polimerlerin genel olarak sınıflandırılması

Polimer zincirlerinin biçimleri polimer özelliklerini etkilemektedir. Şekil 2.3’ de verildiği gibi polimer molekülleri doğrusal, dallanmış ve ya çapraz bağlı yapılarda olabilmektedir. Çapraz bağ oranının fazla olması ağ-yapılı polimer oluşumuna sebep olmaktadır.



Şekil 2.3 Polimer zincir ve biçimlerinin şematik gösterimi a)lineer b)dallanmış c) çapraz bağlı d) ağ yapılı(3 boyutlu) (Callister, 2007)

2.2.1.1 Polimerlerin kaynağına göre sınıflandırılması

- Sentetik ve Organik Polimerler
- Biyopolimerler: Proteinler, Polisakkaritler, Doğal Kauçuk
- Yarı Sentetik Polimerler
- Anorganik Polimerler

2.2.1.2 Polimerlerin zincir yapısına göre sınıflandırılması

- Doğrusal Polimerler
- Dallanmış Polimerler
- Çapraz Bağlı Polimerler (3-D)
- Merdiven (Ladder) Polimerler

2.2.1.3 Polimerlerin monomer kompozisyonuna göre sınıflandırılması

- Homopolimerler (PP-HP)
- Random Kopolimerler (POM)
- Seçenekli (Alternating) Kopolimerler
- Blok Kopolimerler (TPE, PP-CP)

- Graft(Aşılınmış) Kopolimerler (MA-g-PP)
- Terpolimerler (ABS), (Toğuşlu, 2011).

2.2.1.4 Polimerlerin ısısal davranışına göre sınıflandırılması

Elastomerler

- Bir miktar çapraz bağ oluşumu, plastik deformasyona karşı direnci artırır (Vulkanizasyon tepkimesi)
- Camsı geçiş sıcaklığı (Tg)' nin üzerinde bir sıcaklığa sahiptirler. (Tg) camsı dönüşüm sıcaklığının altındaki elastomerler gevrekleşir.
- Elastomerler, çok fazla uzamaktadırlar ve sonrasında elastik olarak yay gibi gerilerek orijinal uzunluklarına geri dönebilmektedirler.
- Elastomerler amorf yapıdadırlar, (Ay, 2008).

Termosetler

- Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelmektedir,
- Tekrar ısıtılıp sertleştirilemezler,
- Genelde polikondenzasyon yöntemi ile üretilmektedirler,
- Isıtma esnasında kovalent çapraz bağ oluşumu gerçekleşmektedir,
- Sert ve gevrek malzemelerdir (Ay, 2008).

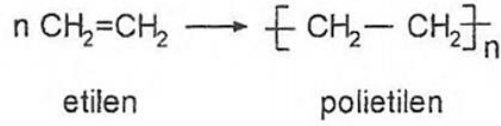
Termoplastikler

- Isıtıldıkları zaman yumuşar, soğutuldukları zaman katılaşır,
- Isı etkisi ile tekrar şekil verilebilirler,
- Genel de polimerizasyon adı verilen kimyasal işlemle elde edilirler,
- Zincirler arası bağlar yüksek sıcaklığa dirençli değildir.
- Lineer yapıdadırlar(Ay, 2008)

2.2.2 Polietilen (PE) ve Polipropilen (PP)

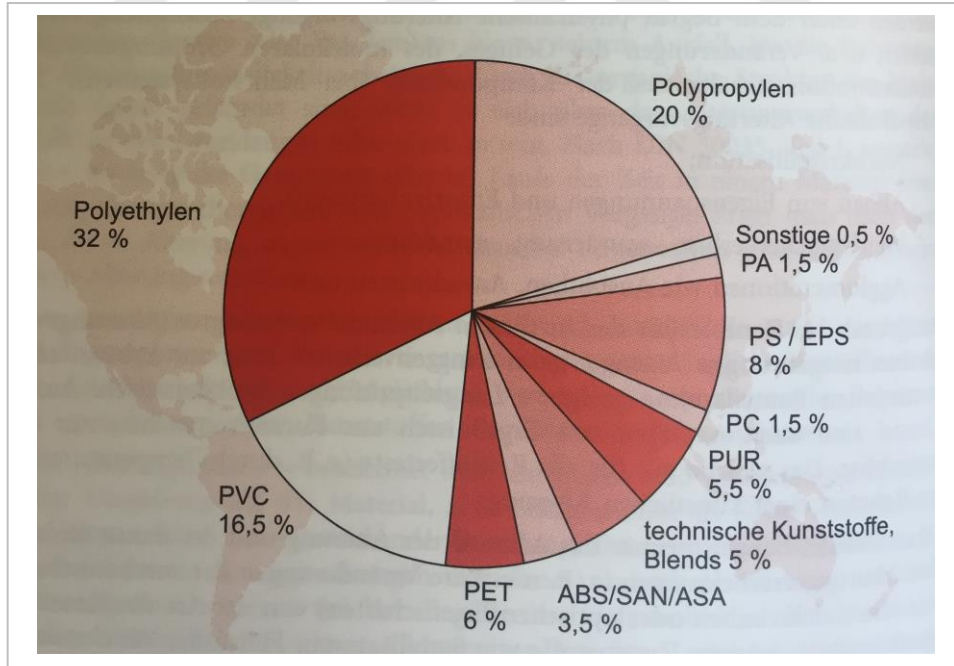
2.2.2.1 Polietilen (PE)

PE, etilen gazının polimerizasyonu ile polietilen olarak sentezlenmektedir (Şekil 2.4). PE'nin molekül yapısı Şekil 2.7' de gösterilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığı LDPE için $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$, HDPE için -110 ; erime sıcaklığı LDPE için $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, HDPE için $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ dolayındadır. PE tok, yüksek elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip, düşük sürtünme katsayısı, nem alma özelliği düşük olan ve kolay işlenebilen bir polimerdir.

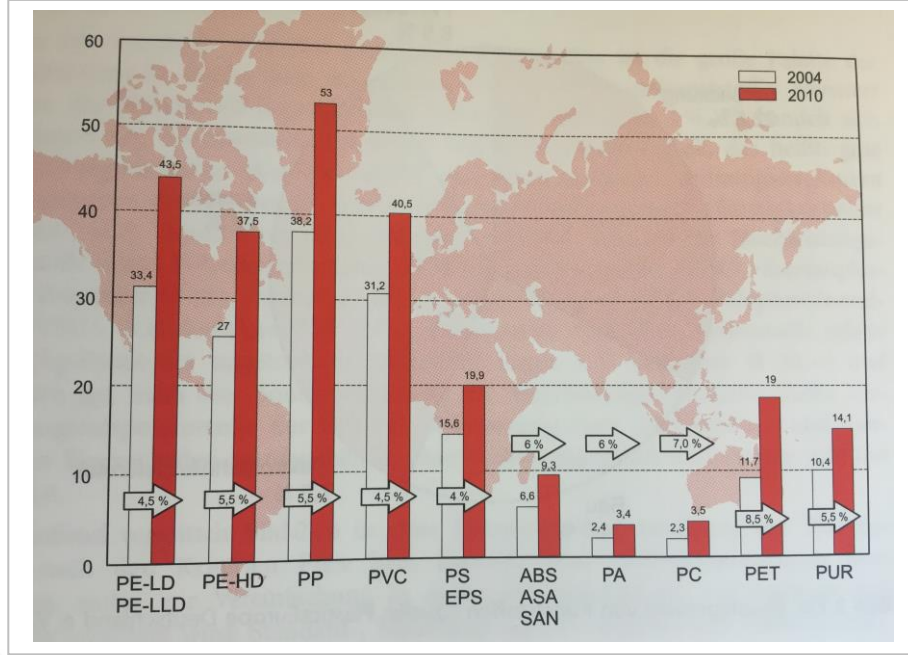


Şekil 2.4 Etilenin polietilene dönüşüm tepkimesi

PE toplam termoplastikler içinde % 32' lük oranla en fazla tüketilen ticari polimerdir (Kaiser, 2015). PE tüketim oranı, yüksek yoğunluklu polietilen için 2004 senesinde % 27 iken, 2010 senesinde % 37.5' a yükselmiştir (Şekil 2.6). Düşük yoğunluklu polietilen ve lineer düşük yoğunluklu polietilen için % 33.4' ten % 43.5' a yükselmiştir (Şekil 2.5).

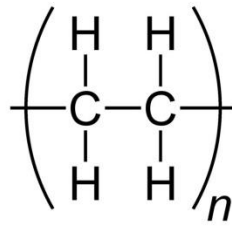


Şekil 2.5 Termoplastiklerin tüketim oranları (Kaiser, 2015)

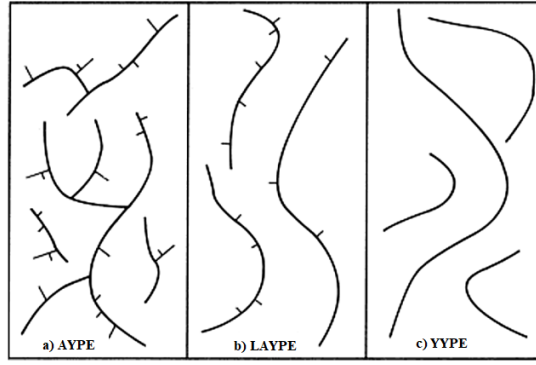


Şekil 2.6 Termoplastiklerin 2004-2010 yılı tüketim oranlarındaki değişimler (Kaiser, 2015)

PE'ler yoğunluklarına göre genel olarak alçak, orta ve yüksek olmak üzere 3 gruba incelenmektedir. Çok yüksek molekül ağırlıklı (UHMW-PE) denilen dördüncü bir grup da eklenebilir. Şekil 2.8' de PE'nin olası zincir yapıları görülmektedir (Whiteley, 1998). Polietilen zincirindeki dallanmalar kristallığın derecesini tayin etmektedir. HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) de dallanma çok az olup molekül yapısı ise doğrusaldır. Bu sebepten moleküller kolaylıkla bir araya gelebilmektedirler. Bu durum daha düşük hacimde toplanabilmeleri anlamına gelmektedir. Dolayısı ile yoğunluk ve sertlik de yüksek olmaktadır. LDPE (düşük yoğunluklu polietilen)'de ise dallanma fazla olduğundan moleküller birbirinden daha uzaktır. Hacim genişlediği için de yoğunluk daha düşüktür. Moleküler yapılarındaki bu farklılık kullanım alanlarının da farklı olmasına yol açmaktadır.



Şekil 2.7 PE molekül yapısı



Şekil 2.8 PE zincir yapısı a) LDPE b) LLDPE c) HDPE (Whiteley, 1998)

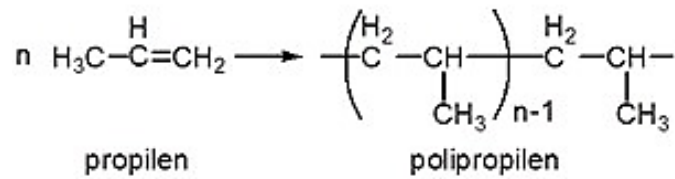
HDPE genel olarak, çöp ve yağ bidonları, deterjan ve şampuan şişeleri üretiminde kullanılırken; LDPE, kablo kılıfı (tel kaplama), brandalık filmler, gıda ve ambalaj sanayisi, oyuncak ve şişe kapağı gibi üretim sektörlerinde kullanılmaktadır (Çengel, 2003). LDPE ya da HDPE hammaddesinden elde edilen ürünlerin üzerinde geri dönüşüm sembolü ile malzeme hammaddesini temsil ifade edilmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 LDPE ve HDPE ürünler ve geri dönüşüm sembolleri (Plastik Evreleri, 2013)

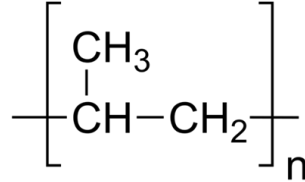
2.2.2.2 Polipropilen (PP)

PP, propilen gazının polimerizasyon tepkimesi sonucu (Şekil 2.10) elde edilen düşük yoğunluklu yarı sert, şeffaf, kolay şekillendirilebilen ve düşük maliyetli bir polimerdir.



Şekil 2.10 Propilenin, polipropilene dönüşüm tepkimesi (Beşergil, 2016)

PP'nin molekül yapısı Şekil 2.11' da gösterilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığı $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, erime sıcaklığı $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa yakındır. PP'nin kimyasal dayanımının iyi olması, kimyasal madde muhafaza edilmesi gereken ambalaj sektöründe tercih sebebidir. Bazların, asitlerin ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmez, alkollere ve deterjan çözeltilerine karşı dayanıklıdır. Ayrıca görünür bölge ışınlarına karşı dayanıklı olmasının yanı sıra, UV ışınları PP'den yapılan malzemelerin yüzeyini bozmaktadır.



Şekil 2.11 PP molekül yapısı

Termoplastikler içinde PP % 20' lik orana sahip olarak en fazla tüketilen ikinci ticari polimerdir (Şekil 2.5). PP tüketim oranı, 2004 senesinde % 38.2 iken, 2010 senesinde % 53'e yükselerek, % 5.5 oranında bir yükseliş göstermiştir (Şekil 2.6). PP tekstil, mobilya, otomotiv, ambalaj ve kozmetik gibi birçok farklı sektörde elyaf, film, köpük, şerit veya birçok değişik formda kullanılmaktadır (Saçak, 2015). PP hammaddesinden yapılan ürünlerin üzerinde geri dönüşüm sembolü ile malzeme hammaddesi görülmektedir (Şekil 2.12).

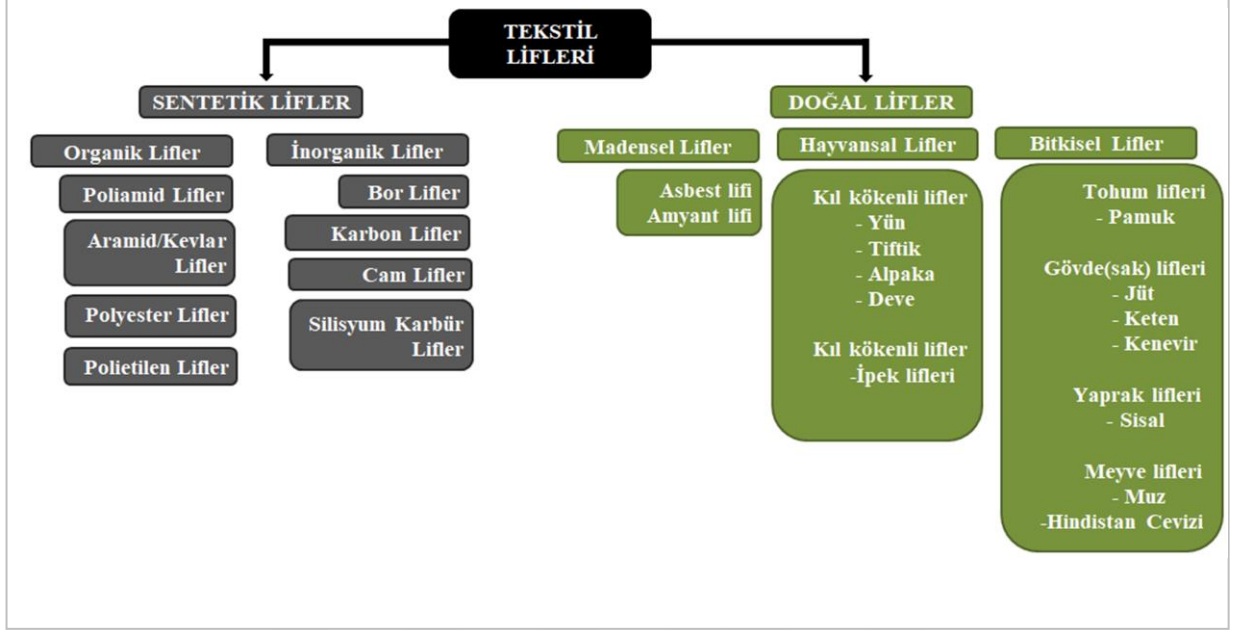


Şekil 2.12 PP ürünler ve geri dönüşüm sembolü (Plastik Evreleri, 2013)

2.3 Takviye Malzemeler

Kompozit malzemelerde kullanılan lifler tekstil lifleri başlığı altında; sentetik lifler ve doğal lifler olmak üzere başlıca 2 ana grupta toplanmıştır (Şekil 2.13). Doğada canlılardan

meydana gelen doğal lifler ise kendi içinde madensel, hayvansal ve bitkisel lifler olmak üzere 3 grup içinde sınıflandırılmaktadır (Harmancıoğlu, 1979). Kompozit malzeme üretiminde genel olarak selüloz esaslı bitkisel lifler kullanılmaktadır.



Şekil 2.13 Tekstil liflerinin sınıflandırılması (Satishkumar ve Naveen,2014;Harmancıoğlu, 1979)

Geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir ürünlerin günümüzde tercih edilir hale gelmesi, bitkisel liflerin de üretim malzemesi olarak seçiminde öne çıkmasını sağlamıştır. Bitkisel liflerin bu özelliklerinin yanı sıra, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet ve düşük maliyetli olması da tercih sebebidir. Sentetik lifler son zamanlarda gelişmeye devam etse bile muz, sisal, hindistan cevizi, keten ve jüt gibi doğal liflerin üstün mekanik özellikleri birçok sektörde (havacılık, otomotiv, tekstil gibi) cam lifleri yerine kullanılması dikkatleri doğal liflerde toplamaktadır.

Bitkisel liflerin hidrofil yapısı ile polimer matrislerin hidrofobik yapısı, kompozit üretimi esnasında yüzey modifikasyonu kapsamına giren işlemler ile giderilebilmektedir. Sentetik lifler istenilen özelliklere getirilebilirken, bitkisel liflerin yetiştiği ekolojik ortam ve kendine has özellikleri varyasyon göstermektedir. Bu noktada arayüzey işlemleri ile uygun koşullar sağlanarak üretim gerçekleştirilebilmektedir.

2.3.1 Sentetik lifler

2.3.1.1 Poliamid lifler

Poliamidler genellikle çeşitli tekstil uygulamalarında kullanılan sert, güçlü ve dayanıklı elyaflardır. Ayırt edici özellikleri yüksek elastikiyet, yırtılma ve aşınmaya karşı dayanıklı, düşük nem emme özelliğine sahip, hızlı kuruyabilen, nemli koşullarda katı kaybı olmayan, kırıksız ve çürümeye ve deniz suyuna karşı dayanıklılıktır. Uygulama alanları iç çamaşırlarından dış spor kıyafetlerine kadar uzansa da ilk başarısı kadın çorapları üretiminde kullanılmasıdır (Milický ve ark., 2018).

2.3.1.2 Aramid/Kevlar lifler

Poliamid lif çeşidi olan aramidin kimyasal yapısı amid (-CO-NH-) bağlantılarının minimum % 85' i, aromatik halka arasına bağlanmış sentetik poliamidden oluşmaktadır. Erime noktası olmamakla birlikte bu yüzden yüksek sıcakta tutuşma özelliği de bulunmamaktadır. Çelikten daha dayanıklı ve daha hafiftir. Koruyucu giysi olarak; itfaiye, polis ve silahlı kuvvetlerde kullanılabilirler. Düşük basma dayanımları uçak yapılarında, karbon elyaflarla birlikte hibrit kompozit olarak; kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadır. Aramid elyaflar iletken malzeme değildirler. Basma dayanımlarının iyi olmasının yanı sıra kevlar/epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri de kötüdür (Chawla, 1987).

2.3.1.3 Polyester Lifler

İngiltere'de Terylene, Trevira, ABD'de Dacron, Almanya'da Diolen ve Türkiye'de Perilen ticari adları ile üretilen poliester lifleri günümüzde en çok kullanılan sentetik lif konumundadır. Polyester lifi diğer liflerde de karıştırılarak kullanılabilir. Bir dialkol ile dikarboksilik asidin kondenzasyonu sonucunda elde edilen poliester kimyasal yapıları bakımından 3 grupta incelenir. PET (polietilen tereftalat) lifleri, PCDT (poli-1.4 sikloheksil-dimetilen-tereftalat) lifleri ve modifiye (yeni) poliester lifleri şeklindedir. Polyester liflerinin mukavemeti üretim şekline göre değişiklik gösterir. Filament halde bulunan polyester liflerinin mukavemeti 4-7 gr/denye arasındadır. Polyester liflerinin nem çekme özelliği çok düşüktür. Bu oran normal şartlarda % 0.2-0.8 arasında değişmektedir. Poliester lifleri nemi bünyelerine çekmeden yüzeyde tutabildikleri için üretilen ürünlerin sıcak havalarda giyilebilmesi sağlanır (Tekstil Sayfası Sitesi).

2.3.1.4 Poliolefin Lifler

Polietilen liflerinin erime noktası ve uzama yeteneği polipropilen lifinden daha düşüktür. Bu lif tekstil sektöründe çok büyük bir öneme sahip değildir. Plastik ve ambalaj sanayinde daha

etkin kullanılmaktadır. Polietilen lifleri kimyasal maddelere karşı koruyucu kumaş, ip, yelken bezi, ağ, halat, filtre, otomobil ve uçak döşemelerinde kullanılmaktadır (Tekstil Sayfası Sitesi).

2.3.1.5 Bor lifler

Kendi içlerinde kompozit yapıda olan bor elyaflar, çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilmektedirler. Çekirdek yapı, Tungsten elementinden oluşmaktadır. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulama alanıdır (Schwartz, 1984). Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanım artmaktadır. Özellikle bor karbür kaplanmasıyla çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır (Chawla, 1987).

2.3.1.6 Karbon lifler

Karbon lifler, diğer adıyla karbon fiber ipliksi, teknolojik bir malzemedir. Katran, naylon ve orlondan oluşan fiber malzeme çelik malzemedenden 4.5 kat daha hafif olup, 3 kat daha dayanıklı olması kullanım alanlarını geniş tutmaktadır. Oksitlenme gibi bir sorunu olmadığından görsel olarak estetik bir malzemedir. Uzun ömürlü olması sebebiyle de malzeme seçimlerinde tercih sebebidir. Karbon fiberin yoğunluğu çeliğe oranla düşüktür. Bu da karbon elyafı yüksek ağırlık oranı gerektiren uygulamalar için eşsiz bir malzeme yapmaktadır. Karbon fiberler, uçak ve otomobil üretiminde kullanılmaktadırlar ve üretimleri her geçen yıl artmaktadır (Moriyama ve ark., 2019).

2.3.1.7 Cam lifler

Cam elyafı, silis-kum (SiO₂) meydana getirmektedir. Diğer bileşenler ise sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Alüminyum (Al), Baryum (Ba) ve Demir (Fe) gibi elementlerin oksitleridir. Polimer esaslı kompozitlerde kullanılan en yaygın ve düşük maliyetli takviye elemanıdır. Cam elyaf üretimi için, öncelikle hammaddeler elektrik fırınlarında yaklaşık 1200-1500 °C de ergitilmektedir. Daha sonra ergiyen malzeme platin alaşımli bir potanın tabanındaki binlerce delikten ve devamında bir soğutma bölgesinden geçirilmektedir. Daha sonra prosese uygun olarak yerleştirilmiş bir sarma sistemi ile lifler yüksek hızlarda (20-70 m/s gibi...) çekilerek 5-20 mikron kalınlığında lifler şeklinde elde edilmektedir. Bu lifler, demet haline getirilmeden önce bağlayıcı adı verilen bir kimyasal bileşim ile kaplanır.

Bağlayıcı tipi, kompozit malzeme içinde cam elyafının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir (Ataş, 2019).

2.3.1.8 Silisyum karbür lifler

Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması (bor gibi) ile elde edilmektedirler. 0.1 mm ile 0.14 mm çaplarında üretilmektedir. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370 °C' ta mukavemetinin sadece %30' nu kaybetmektedir. Bor elyaf için bu sıcaklık 640 °C' tır (Yıldızhan, 2008).

Silisyum karbür (SiC) elyafları, mükemmel kırılma mukavemeti, oksidasyon direnci ve yüksek mukavemeti nedeniyle seramik matris kompozitlerde (CMC'ler) takviye olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2017).

Silisyum karbür elyaf takviyeli silisyum karbür matris (SiCf / SiC) kompozitler, mükemmel performans, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet / modül, oksidasyon direnci ve kararlılıklarından dolayı, havacılık motor sistemlerinde yüksek sıcaklıklarda yapısal malzemeler olarak kullanım için çeşitli performans avantajları sergilerler (Chai ve ark., 2017).

2.3.2 Doğal lifler

Doğal lifler hayvansal lifler ve bitkisel lifler olmak üzere 3 ana grupta sınıflandırılmaktadır.

2.3.2.1 Madensal lifler

- Asbest Lifi
- Amyant Lifi

2.3.2.2 Hayvansal lifler

Hayvansal lifler kıl kökenli lifler ve salgı kökenli lifler olmak üzere 2'ye ayrılmaktadırlar:

Kıl kökenli lifler:

- Yün
- Tiftik

- Alpaka
- Deve

Salgı kökenli lifler:

- İpek lifleridir.

2.3.2.3 Bitkisel lifler

- Tohum Lifleri: Pamuk
- Gövde(Sak) Lifleri: Jüt, Keten, Kenevir
- Yaprak Lifleri: Sisal
- Meyve Lifleri: Muz, Hindistan cevizi

Jüt, keten ve kenevir gibi sak lifleri de kompozit uygulamalarında yaygın olarak kullanılan doğal lif türleridir (Arıcasoy, 2006). Bazı takviye malzemelerinin özellikleri Tablo 2.3' de verilmiştir. Bu tez kapsamında takviye elemanı olarak jüt kumaş kullanıldığı için ileriki sayfalarda jüt lifinin özelliklerinden detaylı olarak bahsedilmiştir.

Tablo 2.3 Polimer esaslı kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan lifler ve mekanik özellikleri (Mohanty, A.K., ve ark.)

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Karbon	1,78	3400-4800	240-425
E-Cam	2,55	3400	73
Kevlar	1,44	3000	60
Keten	1,5	345-1500	27,6
Jüt	1,3-1,49	393-800	13-26,5
Sisal	1,45	468-700	9,4-22
Rami	1,55	400-938	61,4-128

Jüt lifi

Jüt lifi, tropikal bölgelerde yetişen jüt bitkisinden elde edilen kalın, güçlü ve rijit bir liftir (Rana ve ark., 2000). Doğal liflerin en düşük maliyetli bitkisi olan jüt, Corchorus familyasından

yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir (Faruk ve ark., 2012). Eski yıllarda, üretilen jüt lifinin büyük bir kısmı eğrilerek iplik üretimi, çuval, halı arkası, kalın sicim gibi katma değeri düşük ürünlerin üretimi için kullanılmaktadır. Pamuktan sonra dünyada en fazla üretimi yapılan bitkidir. Tropik iklimde yetişen bu bitkinin anavatanı Hindistan'dır. Dünya çapında üretiminin % 80' i Hindistan, Pakistan ve Bangladeş'te gerçekleştirilir (Başer, 2002). Üretimin bu bölgelerde fazla olmasının bir nedeni de işçiliğin çok ucuz olmasıdır. Bu bölgeler dışında Çin ve Malezya'da da yetiştirilmeye başlanmıştır. Ayrıca Akdeniz ülkelerinde de Corchorus Olitorius cinsi yetiştirilmektedir. Amerika'da ise Teksas ve Güney Karolina eyaletlerinde üretilmektedir (Jütsan Ambalaj Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi).



Şekil 2.14 Jüt Lifi (Commodity online sitesi, 2019)

Son yıllarda teknik tekstiller (paketleme, ısı ve ses yalıtım malzemeleri, filtreler, jeotekstiller v.s.), araç taban kaplamaları ve plastik kompozitler gibi katma değeri yüksek alanlarda jüt lifinin kullanımı artmıştır. Jüt lifinin avantajları şunlardır (Parikh ve ark., 2006):

- Kullanım ömrü bittikten sonra doğada mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabilmesi özelliği ile çevre dostu olması,
- Bol miktarda üretilebilmesi ve uygun fiyatlı olması,
- Yüksek özgül mukavemet ve modül değerlerine sahip olması,
- Yoğunluğunun düşük olması,
- Boyut stabilitesinin ve sürtünmeye karşı dayanımın yüksek olması,
- Yakıldığı zaman ortada hiçbir atık madde kalmaması ve oluşan zararlı bileşik miktarının çok az olması,
- Makine parçalarına zarar vermemesi,
- Boşluklu yapısı nedeniyle ses absorpsiyon özelliğinin çok iyi olması.

Jüt lifinin dezavantajları ise şunlardır:

- Neme karşı ilgisinin yüksek olması (hidrofil özellik),

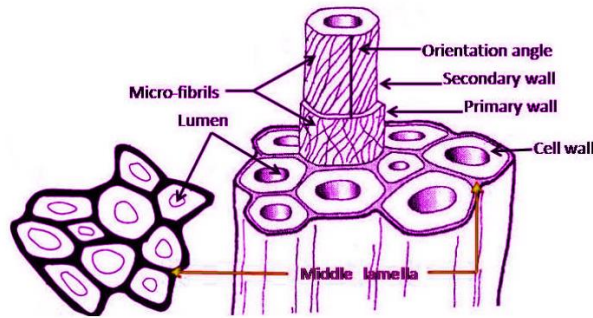
- Küflenme dayanımının az olması (Rana ve ark., 2000),
- 170°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin büyük miktarda azalması (Gassan ve ark., 2001),

Jüt, yapı olarak diğer birçok doğal lif gibi lignoselüloziktir. Jüt lifi selüloz, hemiselüloz ve lignin ile çok az miktarda pektin, yağ ve kirlerden oluşmaktadır. Jüt lifi ağırlıkça yaklaşık % 60-70 selüloz, % 12-13 lignin, % 13-20 hemiselüloz ile az miktarda pektin, yağ ve kirlerden oluşur. Jüt lifinin özellikleri, bu bileşenlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, lif içerisindeki oranına ve lif içerisindeki yerleşim tarzına (mikrofibriller açısı) göre değişir. Jüt lifinin fizikokimyasal özellikleri Tablo 2.4' te verilmiştir.

Tablo 2.4. Jüt lifinin fizikokimyasal özellikleri (Datta, Rahman, and Hossain 2016; Mwaikambo 2009, Nam ve ark. 2012; Taj, Munawar, and Khan 2007).

Özellik	Jüt
Çap (µm)	40-60
Selüloz içeriği (wt%)	59-71
Lignin içeriği (wt%)	12-13
Hemiselüloz içeriği (wt%)	14-20
Pektin (wt%)	0.2-0.5
Vaks.mum (wt%)	0.4-0.8
Nem (wt%)	12.5-13.7
Mikrofibril açısı (°)	7-9
Yoğunluk (g/cm ³)	1.3-1.45
Kırılma Uzaması (%)	7.0-8.0
GerilmeDayanımı (Mpa)	399-773
Gerilme Modülü (Gpa)	10-30

Bileşenlerin oranları ise lifin olgunluk seviyesine ve bitki özelliklerine bağlıdır. Jüt lifi yapı olarak çok katmanlıdır (Martin ve ark., 2004).



Şekil 2.15 Jüt lifinin katmanlı yapısı (Sharma, 2015)

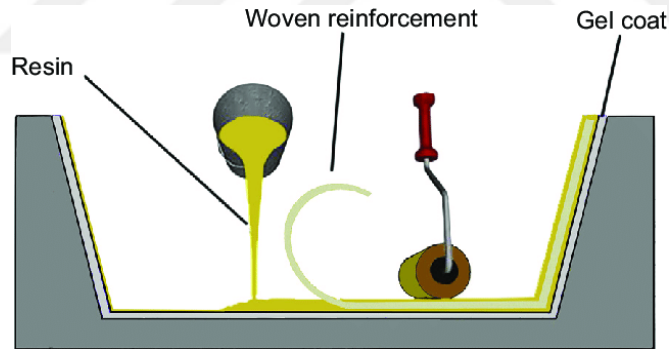
2.4. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme tasarımının genel prensipleri ve amaçları çerçevesinde, polimerlerin yararlı özelliklerini geliştirmek için diğer yapı bileşenleri ile birleştirilerek kullanımları günümüz teknolojisinin hedefi olmuştur. Polimer matrisli kompozit malzemeleri üretmek için birçok teknik geliştirilmekle beraber kullanılan matris malzemelerine göre ya termoset reçineli ya da termoplastik reçineli olarak üretilmektedir.

2.4.1 Termoset reçineli kompozit üretim yöntemleri

2.4.1.1 Elle yatırma yöntemi (Hand Lay-Up)

Dokuma veya kırılmış elyaftan oluşan takviye kumaşları, hazırlanmış olan kalıp üzerine elle yatırıldıktan sonra üzerine sıvı reçine sürülerek, elyaf katmanlarına emdirilerek uygulanmaktadır. Öncelikle kalıp temizlenerek jelkot malzemesi sürülür. Elyaf yatırma işlemi bu aşamadan sonra yapılabilmektedir. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülmektedir. Bu işlemde en önemli nokta, elyaf kumaşına reçinenin iyi nüfuz etmesidir. El yatırma tekniğinde en çok kullanılan malzeme polyester ve epoksidir. Vinil ester ve fenolik reçineler de tercih edilmektedir (Arıcasoy, 2006).

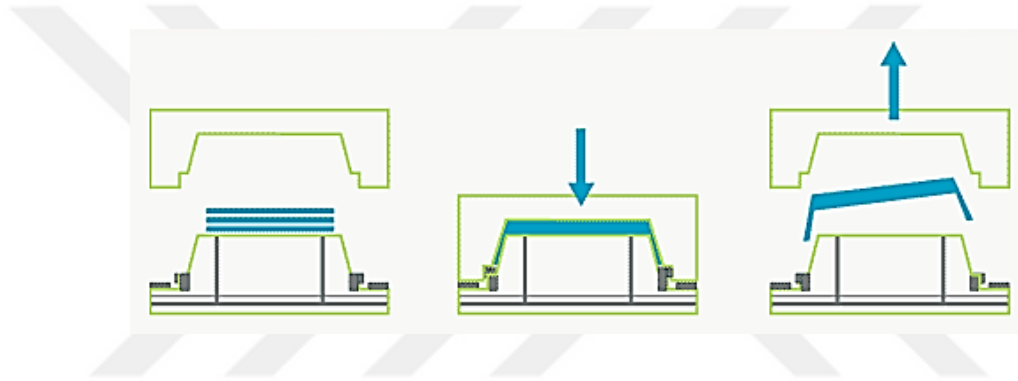


Şekil 2.16 Elle yatırma yöntemi (Hand Lay-Up), (Raji, 2018)

2.4.1.2 Hazır kalıplama yöntemi

Hazır kalıplama yöntemi, cam elyaf, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri ile, hazır kalıplama bileşim işlemi için uygun kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Bu yöntem, karmaşık geometrilerde ürün üretilebilmesi, metal parçaların kalıp içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlığında olması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekil verilebilir yapıdadır. Diğer kompozit malzeme üretim teknikleri ile proses aşaması neredeyse olanaksız delik gibi karışık şekiller elde edilebilmektedir. Ürün kalitesi açısından meydana gelecek hata oranı düşük olarak

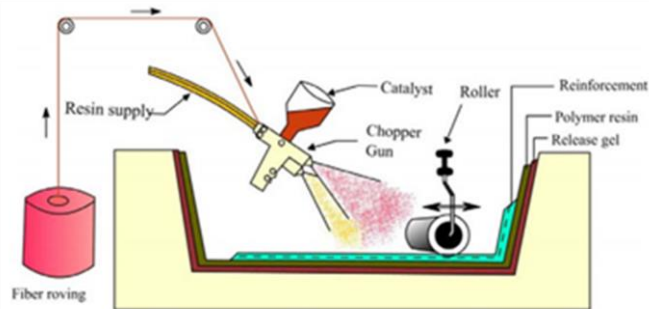
öngörülmektedir. Bu yöntemin dezavantajları, kalıplama bileşimlerinin soğuk hava koşullarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç duyulmasıdır. Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermektedir. En çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır. Bu tekniklerden SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30' u oranında kullanılır. Genellikle 1 m genişliğinde ve 3 mm kalınlığın da üretilmektedir. Hazır kalıplama hamuru/BMC (bulk moulding composites); BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir (Philips, 1989).



Şekil 2.17 Hazır Kalıplama (SMC tooling sitesi)

2.4.1.3 Püskürtme yöntemi (Spray-Up)

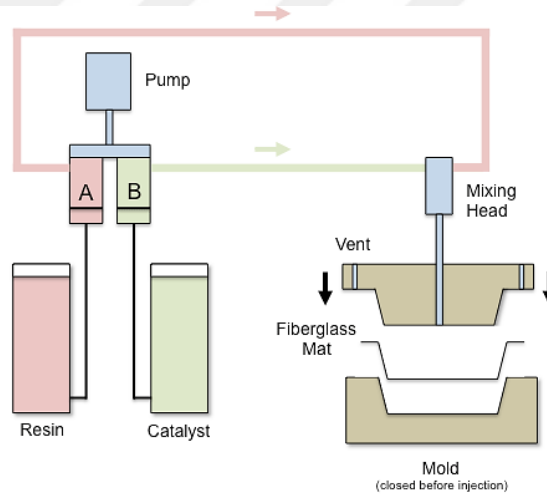
Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin alet kullanılarak uygulanan şekli olarak ifade edilmektedir. Kesilmiş elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülmektedir (Şekil 2.18). Elyafın kesilme işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırıcı aparat sayesinde gerçekleşmektedir. Püskürtme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün nihai haline gelmektedir (Arıcasoy, 2006).



Şekil 2.18 Püskürtme yöntemi (Spray-Up) (EPP Composites)

2.4.1.4 Reçine transfer kalıplama yöntemi (RTM)

Takviye malzemesi olarak kuru keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılmaktadır. Bu metotta, takviye malzemesi kalıp boşluğunu dolduracak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır (Şekil 2.19). Elyaf matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde hareketsiz bir şekilde bulundurulabilmektedir. Reçinenin basınç altında kalıba pompalanması işlemi uzun bir proses uygulamasıdır. Bununla birlikte, matris enjeksiyonu ise soğuk, ılık veya en çok 80 °C' ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi nüfuz etmesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun bir işçilik gerektirmektedir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilme ihtimalini yükseltmektedir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilmektedir. Concorde uçaklarında, F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır (Arıcasoy, 2006).

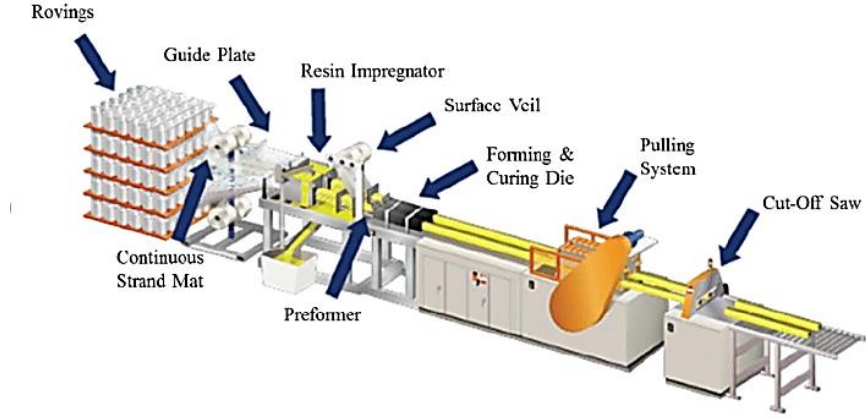


Şekil 2.19 Reçine transfer kalıplama yöntemi (RTM) (Orenco Composites Sitesi)

2.4.1.5 Profil çekme yöntemi/pultrüzyon (Pultrusion)

Düşük maliyetli seri üretim yöntemlerinden olan pultrüzyon işlemi, sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilbildiği bir yöntemdir. Pull ve Extrusion kelimelerinden birleşmesiyle türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi, reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanmaktadır (Şekil 2.20). Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik

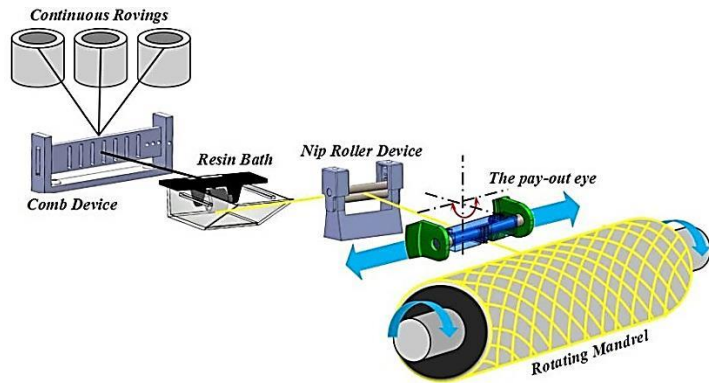
mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir. (Arıcasoy, 2006)



Şekil 2.20 Profil çekme yöntemi (Pultrusion), (Vieira ve ark., 2017)

2.4.1.6 Elyaf sarma yöntemi (Filament Winding)

Bu yöntem özel bir şekile sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır (Şekil 2.21). Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilmektedir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir ve döner kalıp ayrılmaktadır. Bu yöntemle yapılan ürünler, füze boruları, petrol nakli için borular, yat direkleri, uçak su tankları gibi daha spesifik ürünlerdir (Philips, 1989).

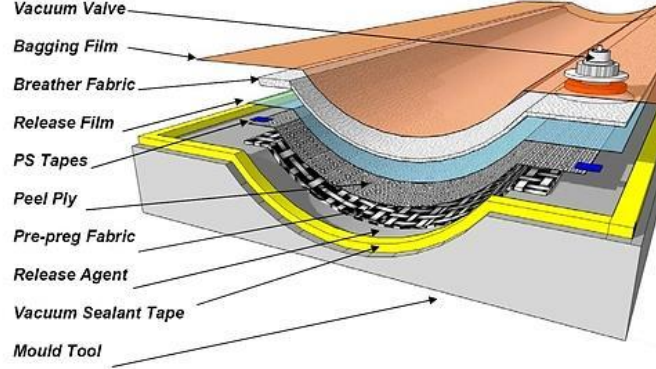


Şekil 2.21 Elyaf sarma yöntemi (Filament Winding), (Ma ve ark., 2019)

2.4.1.7 Vakum Torbalı Kalıplama Yöntemi (Vacuum Bagging)

İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilmektedir (Şekil 2.22). Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına

yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılmaktadır. Bu yöntem genelde elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanmaktadır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum torbalı kalıplama yöntemi kullanılabilir (Caner, 2010).

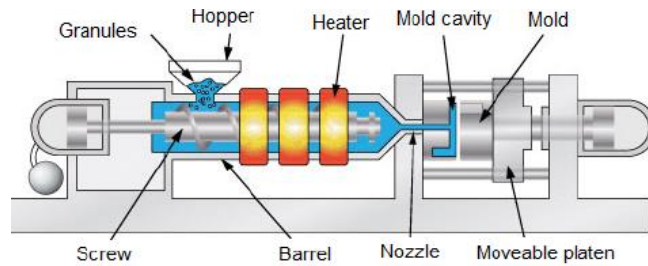


Şekil 2.22 Vakum torbalı kalıplama yöntemi, (Aero Consultans AG)

2.4.2 Termoplastik reçineli kompozit üretim yöntemleri

2.4.2.1 Enjeksiyon kalıplama yöntemi

Enjeksiyon kalıplama, hem termoplastik hem de termoset plastik malzemelerden parça üretmek için kullanılan bir üretim prosesidir (Şekil 2.23). Enjeksiyonlu kalıplama makinesinin iki yarıya sahip olduğu düşünülebilir: sıcaklık ve basınç koşulları altında bitmiş ürünü oluşturmak için bulunan malzemenin kalıba enjeksiyon için hazırlandığı enjeksiyon ünitesi ve enjekte edilen plastiğin kalıpta şekillendiği mengene ünitesi olarak adlandırılır (Frizelle, 2011). Enjeksiyon kalıplama işleminin modernizasyonu, 1950'lerden sonra teknolojik gelişmelere paralel olarak hız kazanmıştır. Bu yöntemde, polimer ısıtılarak plastik şekil alabilir bir duruma getirilir ve yüksek basınç uygulanarak bir kalıp boşluğuna dolması sağlanır; burada katılaştıran parça kalıptan çıkarılmaktadır. İstenilen son boyutlara çok yakın hassas parçalar üretmek mümkündür. Kalıp yapıları birden fazla boşluklu olmakla birlikte ve her defasında birden fazla parça üretimi yapılabilir (Vural, 2006).

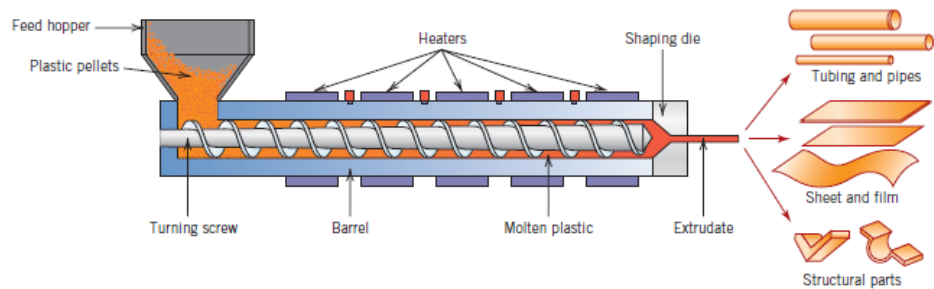


Şekil 2.23 Enjeksiyon kalıplama yöntemi, (Svečko ve ark., 2013)

2.4.2.2 Ekstrüzyon kalıplama yöntemi

Plastik bir maddenin ısı ile akıcı hale getirilerek belirli bir şekilli kalıptan basınç ile geçirilmesi ve biçimlendirilmesi yöntemine ekstrüzyon adı verilmektedir. Bu biçimlendirmede çubuk, boru, profil malzeme, levha, film ve herhangi bir başka malzeme üzerine kaplama şeklinde olabilmektedir. Ekstrüzyonda genelde yüksek molekül ağırlıklı termoplastik malzemeler kullanılmaktadır (Akdoğan, 2009).

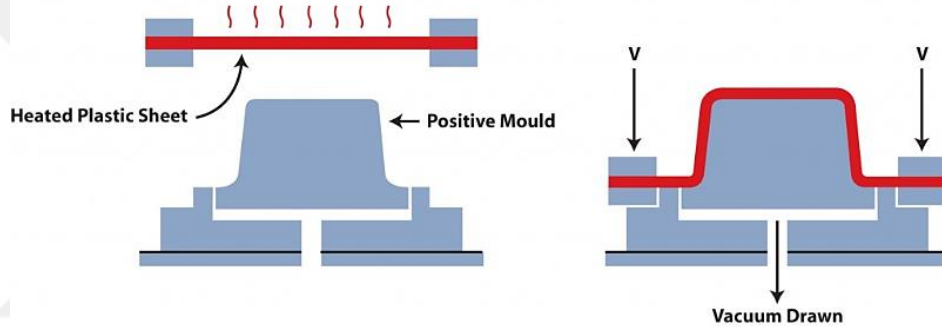
Ekstrüzyon prosesinde, işlenecek olan toz veya granül hammadde karışımı bir besleme ünitesi yardımı ile ekstrüder vidasına aktarılmaktadır. Önce vidanın besleme bölgesine gelen karışım bu bölgede bir ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Vidanın dönme hareketiyle ilerleyen hammadde ikinci olarak sıkıştırma bölgesine ulaşır. Sıkıştırma bölgesinde hammadde ısı etkisi ile eritilir. Erimesinden dolayı hammaddeden gaz çıkışı olabilir. Oluşan bu gazın hammadde içinde hapis bulunmaması için bu bölgede silindir içindeki gaz vakumlanarak dışarı atılmaktadır. Hammadde sıkıştırma bölgesinden sonra ölçme bölgesine ulaşılmaktadır. Bu bölgede homojen hale getirilmiş olan hammadde çıkışa doğru ilerledikçe de ısınıp yumuşar. Ekstrüder prosesindeki tüm ısıtma işlemi, silindir çevresinde bulunan elektrikli ısıtıcılarla ve iç sürtünme ile gerçekleştirilmiştir. Kalıp çıkışına doğru ilerleyen hammadde ekstrüderde, silindirin uç kısmında bulunan ve aynı zamanda filtre görevi gören, koparma aparatı kısmına ulaşır. Koparma plakasında bir seri delik bulunmaktadır. Vidanın dönüşü ile helisel bir akış kazanan akışkan yapı, koparma plakası ile doğrusal bir hareket kazanır ve makineden dışarı dairesel olarak değil doğrusal olarak çıkabilmektedir (Şekil 2.24). Buradaki sistemi kıyma makinesine de benzetilebilmektedir. Kalıba uygulanan basıncı her tarafa eşit dağıtma gibi fonksiyonu olan koparma plakalarından geçen eriyip şekillendirilmiş plastik, kalibre ünitesinde sürekli olarak soğutulur ve katılaştırılır ve sistemden uzaklaştırılır. Kalibre ünitesinde plastiğin dış yüzeylerine uygulanan vakum plastiğin esas şeklini almasını, şekil bozukluklarını gidermesini de sağlamaktadır (Teknik rehber sitesi).



Şekil 2.24 Ekstrüzyon kalıplama yöntemi, (Callister, 2017)

2.4.2.3 Termoform şekillendirme yöntemi

Termoform ısı ve basınç uygulamasıyla düz plastik plakaların istenen şekle getirilmesi sürecidir (Şekil 2.25). Süreç başlangıç malzemesi olarak plastik plakalar kullanılmaktadır. Bu plakalar istenen kalınlıkta ekstrüzyon prosesi ile elde edilmektedir. Termoform teknikleri büyük boyutta, oldukça ince etli ve hafif parçalar için kalıpların üretilmesinde uygundur. Termoform ısıtma ve şekillendirme olmak üzere iki adımdan oluşur. Isıtma genellikle plastik tabakanın bir veya iki tarafına yerleştirilen infrared tipi elektrikli ısıtıcılarla sağlanır. Plakanın istenilen seviyede yumuşatılması için gerekli ısıtma süresi polimere, kalınlığına ve rengine bağlıdır. Isıtılan plaka konkav kalıp (dişi) içerisine veya pozitif kalıp (erkek) boşluğu içerisine yerleştirilir. Uygulanan yöntemler, vakumlu termoform, basınçlı termoform ve mekanik termoform olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Plastikçiyiz Biz).



Şekil 2.25 Termoform şekillendirme yöntemi, ([Euroextrusions](#))

2.4.2.4 Otoklav yöntemi

Malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek için malzemeye yüksek ısı ve basınç uygulamak gerekmektedir. Vakum torbalama yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir, fakat bir atmosferden fazla, düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için daha komplike bir yapıya ihtiyaç duyulur. Dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesi, bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen yöntemdir (Şekil 2.26). Otoklav basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum torbalama yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve yüksek maliyetlidir (Dil, 2016)



Şekil 2.26 Otoklav yöntemi, (PLASTIC)

3. YÜZEY MODİFİKASYONU

Kompozit malzemelerde, takviye ve matris elemanları arasında oluşan bağlar arayüz fazını oluşturur. Arayüz fazının sahip olduğu bağ kuvveti oluşturulan kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Yapıya uygulanan yük arayüz fazı tarafından takviye malzemelerine iletilmektedir. Bu nedenle arayüz fazı oldukça önemlidir. İyi mekanik özelliklere sahip bir kompozit malzeme elde etmek ve takviye malzemelerinden en yüksek seviyede yararlanabilmek için arayüz boyunca iyi bir yapışma sağlanmalıdır. Bu amaçla takviye-matris arasındaki zayıf arayüzün geliştirilmesi için farklı kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Yüzey modifikasyon işlemleriyle elyafın yüzey pürüzlülüğü artırılarak sürtünmeyle kopma gerilmesi artırılabilir, bağ yapıcı özelliği olan ilave maddeler kullanılarak bağların dayanımı artırılabilir (Bulut ve Erdoğan, 2011)

3.1 Silan Yüzey Modifikasyonu

Bir çok araştırmacı, arayüz oluşturma ve kompozitin mekanik davranışı üzerindeki etkilerini anlamak için çeşitli silan bağlama ajanlarını ve boyutlandırmayı incelemiştir. Bu araştırmalardan bir kaçışağıdaki paylaşılmıştır:

Kim, Sham ve Wu (2001), tarafından cam elyaf ve polimer reçinesi arasında oluşan interfazın özellikleri karakterize edilmiştir. Farklı silan birleştirme ajanlarından etkilenen fazlar arası kalınlık değişimi özel olarak değerlendirilebilmektedir. Etkili faz arası kalınlık değerleri silan ajanının tipine ve konsantrasyonuna bağlı olarak 0.8 ila 1.5 μm arasında değişim göstermiştir. Etkili faz arası kalınlığının, artan silan konsantrasyonu ile arttığı belirtilmiştir.

Park ve Jin (2003), tarafından silan birleştirme ajanı konsantrasyonunun elyaf-yüzey özellikleri üzerindeki etkisini ve bunun sonucunda gerçekleşen mekanik arayüz davranışını, elyaf yüzey enerjisi ve kompozitlerin kırılma tokluğu açısından arayüz davranışları rapor edilmiştir. Bir silan birleştirme ajanı, γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane (γ -MPS) ağırlıkça % 0.1 ila % 0.8 arasındaki değerlerde kullanılmıştır. Hem yüz enerjisi hem de mekanik arayüz özellikleri, ağırlıkça % 0.4 silan birleştirme ajanı varlığında maksimum bir iyileşme göstermiştir.

Park ve Jang (2004), cam lifi yüzey işleminin cam lifi/vinil ester kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. MPS ile muamele edilmiş cam elyaf/vinil ester kompozitlerin bükülme mukavemeti ve interlaminar kayma mukavemeti (ILSS) değerlerinin % 0.3 silan konsantrasyonuna yükseldiği ve daha sonra maksimum noktadan sonra yumuşak bir

şekilde azaldıkları gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, fiziksel olarak emilen MPS tabakalarının kimyasal emilmiş tabaka üzerinde % 0.3 konsantrasyonun üzerinde bir miktarda oluştuğunu göstermektedir. Bu katmanın, yağlayıcı veya şekil değiştirebilen bir katman olarak işlev görebileceği belirtilmiştir. Aşırı silan konsantrasyonu durumunda, silan birleştirme ajanı, oluşturulan kalın tabaka nedeniyle her zaman cam elyaf ile hidrojen bağında oluşmadığı; bu nedenle, fazla silan konsantrasyonu ile işlemde geçirilmiş lifler, doğada silan özelliklerini gösterir, lifler ve silan arasındaki moleküller arası denge mesafesinin arttırılması veya silan içinde yüzey serbest enerjinin belirli bir bileşeninin gösterilmemesi sonucu ortaya çıkabildiği belirtilmiştir.

Iglesias, González-Benito, Aznar, Bravo ve Baselga (2002), Farklı aminosilanların fiber kaplamalarının epoksi bazlı kompozit malzemelerin direnci üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Cam lifi/epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerinin, birleşme bölgesinin moleküler yapısına kuvvetlice bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. İç içe geçen bir ağ mekanizmasının yapışmaya ve dolayısıyla arayüzey kuvvetine en önemli katkı olduğu görülmüştür.

Hong ve ark., (2007), PP matrisine jüt takviyesi yaptıkları çalışmalarında, ağırlıkça % 2 oranında silan uygulamasının iyi bir kaplama sağlayarak, yapışma derecesini arttırdığını belirtmişlerdir. Silan yüzey muamelesinin, jüt-PP kompozitlerinin gerilme, dinamik mekanik özellikleri ve arayüzey yapışmasını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Seki ve ark., (2012), yaptıkları çalışmada jüt lifi takviyeli HDPE kompozitlerin alkali ve oligomerik siloksan işleminden geçirildikten sonra mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Organosilan ağırlıkça % 1 oranında kullanılarak, % 96 alkollü çözelti içinde çözülmüştür. Çekme ve bükülme dayanımlarında, alkali muamelede % 34 oranda iyileşme kaydedilirken; oligomerik organosilan muamelesi gören kompozitlerde % 49 oranında iyileşme kaydedilmiştir.

Mäder ve Gliesche (1995), bükülme mukavemeti ve bükülme modülü özellikleri için keten/epoksi ve rami/epoksi kompozit malzemelerini araştırmışlardır. Keten ve rami lifine, 80 °C' de % 3 silan çözeltisinde yüzey muamelesi yapılmıştır. Keten/epoksi kompozitlerin bükülme mukavemetinin azaldığını ve keten/epoksi kompozitlerin bükülme modülünün yaklaşık % 20 oranında arttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, rami/epoksi kompozitlerinde bükülme mukavemetinde kayda değer bir artış ve bükülme modülünde yaklaşık % 20 artış meydana geldiği görülmüştür.

Sever ve ark. (2010), farklı silan bağlayıcı maddenin, jüt/polyester kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Jüt lifi ve polyester arasındaki en iyi arayüzey direncinin % 0.3 silan bağlama maddesi durumunda olduğunu bildirmişlerdir.

3.2 Maleik Anhidrit Asit Yüzey Modifikasyonu

Bir çok araştırmacı tarafından arayüz oluşturma ve kompozitin mekanik davranışı üzerindeki etkilerini anlamak için çeşitli yöntemler ile maleik anhidrit muamelesi yapılmıştır. Bu araştırmalardan bir kaçını aşağıdaki paylaşılmıştır:

Dikobe ve Luyt (2017), yaptıkları araştırma 2 tip kompozit üretmişlerdir. İlk kombinasyon PP/HDPE/WP yani ham polipropilen, yüksek yoğunluklu polietilen ve ahşap tozu; 2.kombinasyon ise MAPP/HDPE/WP yani maleik anhidrit aşılansız polipropilen, yüksek yoğunluklu polietilen ve ahşap tozu şeklindedir. Bu çalışmada hem ahşap tozu arttıkça mekanik özelliklerdeki değişim hem de arayüzey ajanı etkisinin fiber matris arasındaki adhezyon kabiliyeti incelenmiştir. Çalışmada her iki kompozit kombinasyon için de sırasıyla; 50/50/0, 45/45/10, 40/40/20, 35/35/30 ağırlıkça yüzde oranları çalışılmıştır. MAPP 'ın polipropilene göre yüksek yoğunluklu polietilen işe daha iyi etkileşim sağladığı raporlanmıştır. Ayrıca, MAPP'ın ahşap tozu ile etkileşime girmesi ile termal kararlılığın arttığı raporlanmıştır.

Mohanty ve Nayak (2006), bu çalışmada, PP / sisal kompozitlerin erimiş viskoelastik davranışları ile ilgili kararlı ve dinamik durumdaki deneysel bir çalışma yapmışlardır. Sisal liflere MAPP ilavesiyle, bileşiklerin eriyik viskozitesinin, lif-matris arayüzey yapışmasının iyileştirilmesinden dolayı arttığı gözlenmiştir. Paralel uçlu levha reometre kullanılarak ölçülen dinamik viskoelastik davranış, ham matris ile karşılaştırıldığında lif dolgululu kompozitin, yüksek sertliğe işaret eden depolama modülünde (G) bir artış olduğu ortaya koyulmuştur. MAPP çalışması, ağırlıkça oran % 1 , % 2 ve hiç işlem görmemiş örnekler üzerine yapılmıştır. Morfolojik olarak SEM analizi ile inceleme yapıldığında, maleik anhidrit oranı arttıkça fiber matris arası adhezyonun arttığı görülmüştür.

Amir ve ark., (2017), bu çalışmada, ağırlık bazında ağırlıkça yüzde 70/30 oranında, sürekli muz lifi takviyeli yüksek performanslı polipropilen (PP) kompozitler geliştirilmiştir. Bu araştırma, farklı muz yapılarına ait farklı konfigürasyonlarının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Maleik anhidrit aşılansız polipropilen (MAPP) birleştirme maddesi, polimer matris ve doğal elyaf arasındaki bağın artırılması için kompozitlere eklenmiştir. Muz lifi, üç farklı konfigürasyonda çalışılmıştır; ham muz lifi, muz

lifi ipliği ve muz lifi bezidir. Ağırlıkça % 5 maleik anhidrit asit kullanılmıştır. Kompozitlerin hata mekanizmalarını ve davranışlarını açıklamak için taramalı elektron mikroskobu kullanılarak mikroyapı analizi yapılmıştır. Kırılma yüzeylerinin morfoloji incelemesi hata mekanizmalarını doğrulamıştır ve bir fiber yapılandırmasının neden diğerlerinden daha üstün olduğu açıklanmıştır. Muz ipliği takviyesinde hem mekanik hem de adhezyon özellikleri için optimum sonuçlar elde edilmiştir.

Mohanty ve ark. (2004), yine maleik anhidrit asit kullanarak yaptıkları çalışmada, doğal lifler jt gibi hidrofilik bir fiberle çalışmışlardır. Kararlı bir kompozit üretimi için jt lifinin hidrofilik özelliği bir dezavantaj olarak görülmüştür. Böylelikle, fiberlerin yüzey modifikasyonu için birleştirme maddesi olarak maleik anhidrit aşılanmış polipropilen, MAPP (G-3015) kullanılmıştır. Lif uzunluğu, MAPP konsantrasyonu, MAPP işleminin zaman periyodu, lif yüklenmesinin yüzde (ağırlık / ağırlık) gerilme, bükülme ve darbe dayanımları gibi mekanik özellikler üzerindeki etkiler incelenmiştir. En iyi onular, Toluen zltisi içinde % 0.5 MAPP konsantrasyonu ile % 30 fiber yüklemede, 5 dk süre ile emdirme zaman periyodunda yakalanmıştır. 6 mm ortalama lif uzunluğu en iyi sonuçları sağlamıştır. Muamele edilen kompozitlerde bükülme mukavemetinde yaklaşık % 72.3 artış gözlenmiştir.

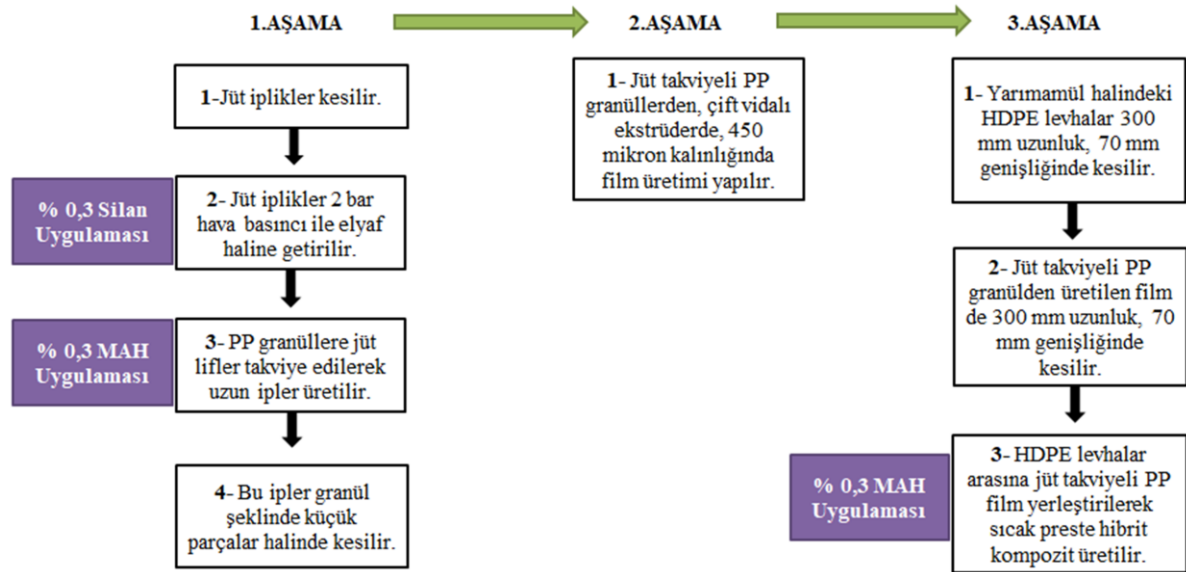
Bu çalışmada ise, üretim 3 aşamadan oluşmaktadır ve her aşama için ayrı yüzey modifikasyonları uygulanmıştır. Birinci aşamada ekstrüzyon makinesinde yapılan granül üretiminde, karışım içeriğinde ağırlıkça % 0.3 MAPP konsantrasyonu ilave edilmiştir. Jüt lifler ise NaOH zltisinde yağ, vaks,.vb kirlerden arındırıldıktan sonra 2 saat boyunca ağırlıkça % 0.3 Silan zltisinde muamele edilmiştir ve daha sonra etüv fırınında kurutulmuştur.

İkinci aşamada, ilk aşamada üretilen granüllerden film çekilmiştir. Bu proseste herhangi bir arayüzey ajanı kullanılmamıştır.

nc aşamada, HDPE plakalar ve jt takviyeli PP film tabakalar arasına , % 0.3 MAPP konsantrasyonu fırça yardımı ile hidrolik pres işlemi öncesinde sürülmüştür. Bu işleminde amaç, jt/PP kompozit film malzemeye konsantrasyonu emdirerek, pres içerisinde yüksek sıcaklığa maruz kaldığı anda gerçekleşecek HDPE-jt/PP kompozit film arasındaki polimerizasyon reaksiyonu sırasında; fiber matris arasında optimum adhezyonu sağlayabilmektir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Üç aşamadan oluşan bu çalışmada (Şekil 4.1), ilk olarak farklı jüt oranlarında PP kompozit malzeme üretilerek, malzemenin reolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen ilk araştırma sonuçları, 5. Uluslararası Polimerik Kompozit Sempozyumu ve Çalıştayı (2017) 'nda "Production of Natural Fiber Reinforced Composite Materials from Thermoplastic Process Wastes" adı ile bildiri olarak paylaşılmıştır (Ek-1).



Şekil 4.1 Numune üretim şeması

4.1. Numune Üretimi

4.1.1 Jüt takviyeli polipropilen granül üretimi

Bu aşamada üretilen kompozit malzeme içeriğinde takviye malzemesi olarak Ege Çuval firmasından temin edilen jüt lifleri (10'luk kanaviçe: 311 gram/yarda²) kullanılmıştır. Jüt çuvalı kenarından temin edilen bu iplikler, 15-18 mm uzunluğunda liflerine ayrılmıştır. Kapalı bir kap yerleştirilen jüt ipliklere 2 bar basınç uygulanarak; ipliklerin jüt elyaflara dönüşümü sağlanmıştır (Şekil 4.2 a-b).



Şekil 4.2 a) 15-18 mm jüt iplikler, b) Hava basıncına maruz kalmış jüt lifleri

Matris malzemesi olarak, PETKİM firmasından temin edilen MH 418 kodlu (Ek-2) polipropilen kullanılmıştır. (Şekil 4.3-a) PP granüller öğütülme işlemi yapılarak toz haline getirilmiştir (Şekil 4.3-b).

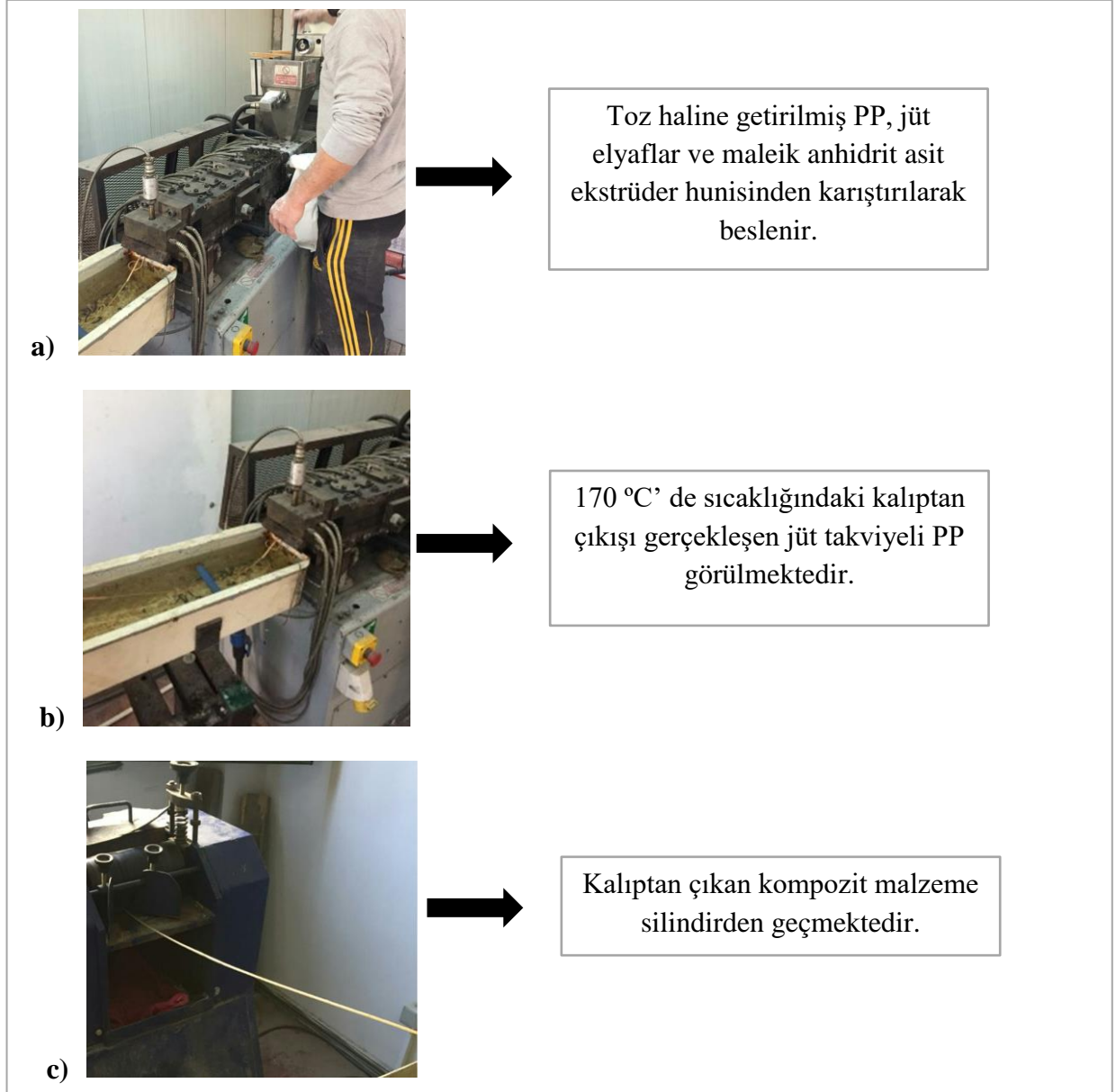


Şekil 4.3 a) MH418 PP granül, b) Toz halinde PP

Jüt elyafları yüzeyindeki yağ, vaks v.b yağlı tabakaların temizlenmesi için, laboratuvar ortamında (23 °C, % 50 RH' de) Merck firmasından temin edilen % 2 NaOH çözeltisi içinde 2 saat bekletilmiştir. Ardından etüv fırını içerisinde 50 °C sıcaklıkta 24 saat süre ile kurutulmuştur.

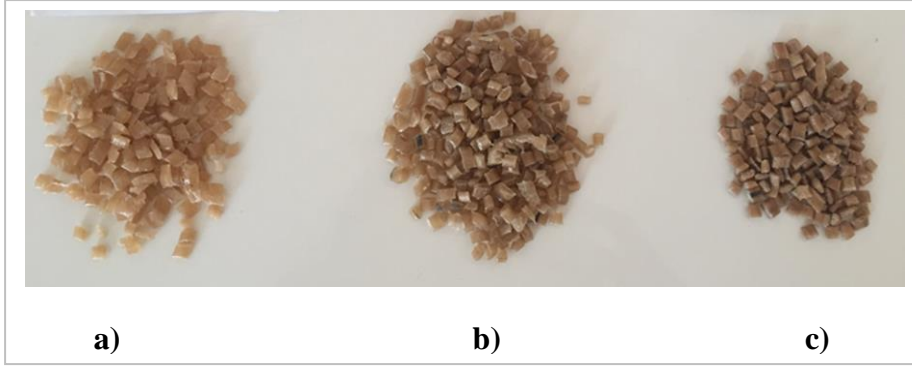
PP ve jüt arayüzeyindeki maksimum tutunmayı sağlayabilmek için, bir önceki aşamada kurutulmuş olan jüt elyaflar, 0.3 % Silane (Dow Corning, ürün kodu Z-6030) çözeltisi içinde 2 saat boyunca bekletilmiştir. Arayüzey bağlayıcı olarak Sigma Aldrich firmasından maleik anhidrit asit tedarik edilmiştir. Ağırlıkça 0.3 % maleik anhidrit asit çözeltisi, jüt takviyeli PP granül üretimi esnasında karışıma eklenmiştir. Uçar Plastik firmasında jüt takviyeli PP

granüller, APV Baker Perkins MP30 model çift vidalı ekstrüder kullanılmıştır (Şekil 4.4). Vida çapı 30 mm, L/d oranı 25 ve vida hızı 150 rpm olan makinenin çalışma sıcaklığı 170 °C olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.4 Çift vidalı ekstrüderde granül üretimi a) Malzemelerin eklenmesi b) Birleşimin kalıptan çıkışı c) Kompozit ipin silindirden geçişi

Silindirden geçtikten sonra ip şeklinde üretilen kompozit, granüller halinde kesilir (Şekil 4.5). Birinci aşamada üretilen granül numunelere “J” kodu verilerek; J0, J1, J2 ve J3 şeklinde tanımlama yapılmıştır. J0 MH 418 PP olarak tanımlanmıştır. J1, J2, J3 sırasıyla % 1.25, % 2.5 ve % 5 oranlarını ifade etmektedir. 3 tip numune üretimi yapılmıştır. Numune üretimi sonucu elde edilen granüller (Şekil 4.5) aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.5 Farklı oranda jüt takviyeli PP kompozit üretimi sonucu elde edilen granüller

a) % 1.25 b) % 2.5 c) % 5

4.1.2 Jüt takviyeli polipropilen granülden film üretimi

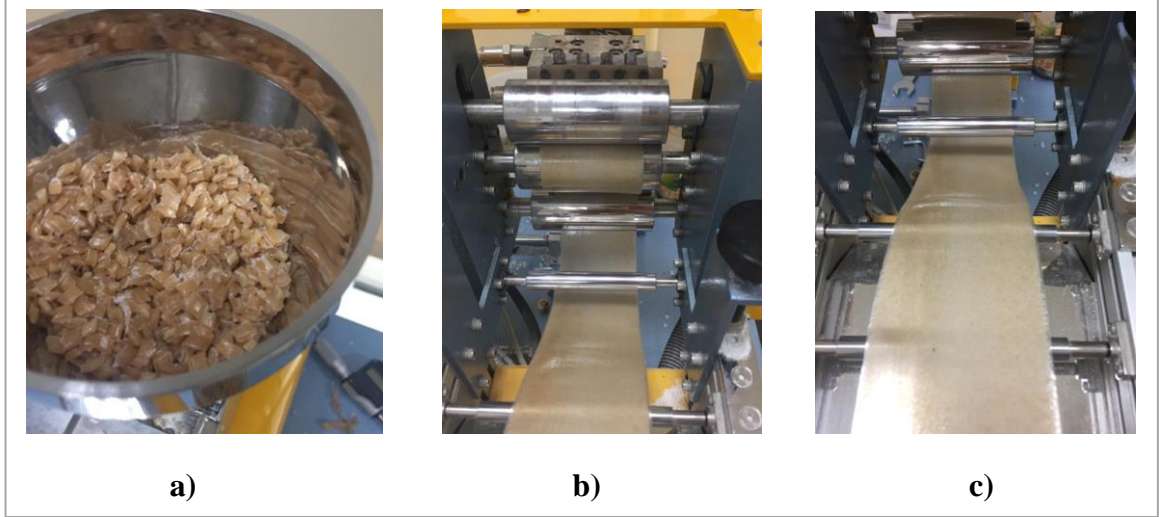
Üretimin 2. aşamasında, jüt takviyeli PP granüllerin, hibrit kompozit üretimine uygun hale getirilmesi için düzlem haline getirilmesi amaçlanmıştır. Granüller Lab Tech Engineering Company Ltd. şirketinden tedarik edilmiş LUMCR-50 model no'ya sahip çift vidalı ekstrüder makinasında (Şekil 4.6) film olarak çekilmiştir.



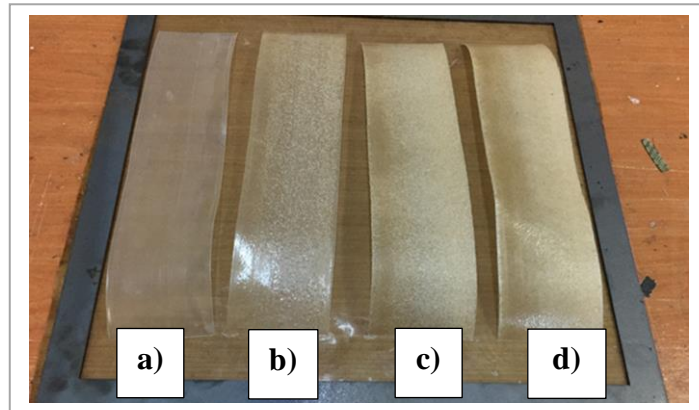
Şekil 4.6 Lab Tech Engineering çift vidalı ekstrüder

450 mikron kalınlığında, 70 mm eninde üretilmesi için kalıp ayarı yapılmıştır. Isıtma haznesi 184 °C'de sıcaklığa ayarlanmıştır. Kalıptan ilk çıkışı esnasında kısa süreli bir malzeme kusmasının ardından, kalite hatası olmadan kompozit film çekilmiştir (Şekil 4.7-a,b,c). Üç farklı oranda jüt takviyeli PP kompozit granüller gibi MH 418 PP granül de aynı makine

ayarında film olarak üretilmiştir. İkinci aşamada üretilen numuneler “JP” yani jüt takviyeli PP kodu ile tanımlanmıştır. Jüt takviye oranına göre sırasıyla JP0, JP1, JP2 ve JP3 şeklinde adlandırılmıştır. Dört tip numune Şekil 4.8’ da görülmektedir. Takviye oranına göre numune kodlaması Tablo 4.1 deki gibi yapılmıştır. Üretim esnasında, kullanılan jüt lifinin kesikli olması sebebiyle takviye oranı arttıkça filme zarar verme ihtimali durumuna karşın, üretim kalite hatası olmadan gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7 a) Jüt takviyeli PP granüller b) Silindirden geçiş aşaması c) Jüt takviyeli PP film



Şekil 4.8 Takviye oranına göre jüt takviyeli PP kompozit filmler

a) MH 418 PP film b) % 1.25 jüt takviyeli PP film c) % 2.5 jüt takviyeli PP film d) % 5 jüt takviyeli film

Tablo 4.1 Film üretimi yapılan numunelerin kodlaması

Numune Kodu	Numune Tanımı
JP0	MH 418 PP Film
JP1	% 1,25 Jüt Takviyeli PP Film
JP2	% 2,5 Jüt Takviyeli PP Film
JP3	% 5 Jüt Takviyeli PP Film

4.1.3 Poliolefin Esaslı Hibrit Kompozit Üretimi

Araştırmanın üçüncü aşamasında, jüt takviyeli/takviyesiz PP filmler, HDPE levhalar ile sıcaklık altında preslenmiştir. Bu aşamada üretilen numuneler, “JPE” kodu ile tanımlanmıştır. Tablo 4.2’ de numunelerin içerikleri açıklanmıştır.

Türkay Plastik firmasından temin edilen, hammaddesi S 0464 kodlu PETKİM firmasına ait olan HDPE malzemenin teknik özellikleri Ek-3’ te verilmiştir. 1 mm kalınlığında ve 1m² temin edilen polietilen plakalar kullanılmıştır. Bu plakalar, 300 mm uzunluğunda, 70 mm genişliğinde kesilmiştir (Şekil 4.9).

**Şekil 4.9** S 0464 HDPE Levha

Jüt takviyeli PP granüller ve MH418 PP hammadde granül, film olarak çekildikten sonra polietilen levhada olduğu gibi 300 mm uzunluğunda, 70 mm genişliğinde kesilmiştir. HDPE plakaların yağ ve kirinden arındırılması için Merck firmasından tedarik edilen kütlece % 0.1 oranında NaOH çözeltisinde 2 saat boyunca bekletilmiştir. Kuruma işlemi için de 2 saat beklenmiştir.

Hibrit levha üretimi için Fontijne Grotnes marka LabEcon serisi hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 4.10). Üretimi yapılacak plakalar için pres içine yerleştirilebilecek ölçülerde kalıp yaptırılmıştır. Bu kalıba yerleştirilecek 4 farklı numunelerin pres yüzeylerine yapışmaması için de teflon kağıt kullanılmıştır.



Şekil 4.10 a) Fontijne Grotnes LabEcon hidrolik pres b) Makine çalışma ayarları

Soğuk iş takım çeliğinden yapılan kalıbın kalınlığı 2 mm olup, iç ölçüleri ise 350 mm x 350 mm' dir. Proses sırasında HDPE levhaların kalıp yüzeyine yapışmaması için pres yüzeyi teflon ile kaplanmıştır. Kalıp ve teflon kağıt yerleşimi tamamlandıktan sonra HDPE levhalar her bir numune için temiz bir zemine yerleştirilmiştir. Bu levhaların jüt takviyeli PP kompozit film ile temas ettiği her iki yüzeye de HDPE plakalar arasında maksimum arayüzey adhezyonunu sağlaması için Sigma Aldrich firmasından tedarik edilen, ağırlıkça % 0.3 oranında maleik anhidrit asit çözültisi fırça yardımı ile uygulanmıştır (Şekil 4.11)



Şekil 4.11 Maleik anhidrit asit uygulama adımları

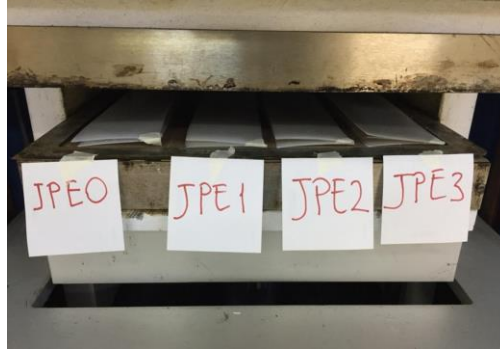
HDPE levha yüzeyine maleik anhidrit uygulaması yapıldıktan sonra bu işlem kompozit film malzemenin iki yüzeyine de uygulanmıştır. HDPE plaka üzerine film, levha üzerine yerleştirilmiştir. Daha sonra 2.HDPE plakanın filmin üzerine yerleştirilecek yüzeyine de maleik anhidrit asit çözeltisi sürme işlemi uygulanmıştır ve HDPE levha yerleştirilmiştir..

Şekil 4.11’ te görüldüğü üzere 3 katmanlı hibrit kompozite, arayüzey işlemi 4 tip numune için de aynı şekilde uygulandıktan sonra, hidrolik prese yerleştirilir. Hibrit numuneler, içeriğindeki jüt takviyesi oranı artışına göre sırasıyla JPE0, JPE1, JPE2 ve JPE3 olarak adlandırılmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Hibrit kompozit üretimi yapılan numune kodlaması

Numune Kodu	Numune Tanımı
JPE0	PE Levha/ Jüt Takviyesiz PP Film/ PE Levha
JPE1	PE Levha/ % 1,25 Jüt Takviyeli PP Film/ PE Levha
JPE2	PE Levha/ % 2,5 Jüt Takviyeli PP Film/ PE Levha
JPE3	PE Levha/ % 5 Jüt Takviyeli PP Film/ PE Levha

Tablo 4.2' de verilen numuneler hidrolik prese yerleştirildikten sonra pres kapatılır. Hidrolik pres ile yapılacak üretimde hedef arayüzey ile elde edilen adhezyon mukavemetini indirgmeden optimum bağlanmayı ve yapışmayı sağlamaktır. PE plaka ve jüt takviyeli PP kompozit film arasına uygulanan maleik anhidrit asitin, yapışma sırasında hava kabarcığı oluşturarak boşluk bırakması ve mukavemeti düşürmesi olası bir üretim hatası olarak öngörülmüştür.



Şekil 4.12 Prese yerleştirilmiş hibrit numuneler

Çalışmada hidrolik pres 100 kN kuvvet değerinde uygulanmıştır. Numunelerin maruz kalacağı sıcaklık, alt ve üst plakalar için 190 °C olarak belirlenmiştir. Belirtilen sıcaklık ve kuvvetteki set değerleri (Şekil 4.10-b), 35 dakika boyunca uygulanmıştır. Sonrasında numuneler 24 saat pres içerisinde soğumaya bırakılmıştır.

24 saat soğutma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler (Şekil 4.13) eriyik halde bütün bir plaka haline gelmiştir. Numuneler, testere makinasında kesilerek birbirinden ayrılarak üretim tamamlanmıştır.



a) b) c) d)

Şekil 4.13 Hibrit kompozit numuneler

a) JPE0 b) JPE1 c) JPE2 d) JPE3

5. TESTLER VE KARAKTERİZASYON

5.1 Yoğunluk Tayini

Granül halindeki plastik malzemenin ağırlığı önce hava sonra yoğunluğu belli alkol içinde ölçülerek malzemenin yoğunluğu test edilir.

Yoğunluk ölçer bir terazi (ISO 1183) yardımıyla laboratuvar sıcaklığında belirlenmiştir. Terazi olarak AND GR-200 kullanılmıştır (Şekil 5.1). Üç numunenin rasgele granül bazında değerleri ve PP MH 418 ve PE S 0464 malzemelerinin teknik bilgilerinden alınan (Ek-2-3) değerleri Tablo 5.1’ dir.

Malzemenin içerdiği dolgu/takviye oranı mekanik özellikler başta olmak üzere tüm özelliklerini etkilemektedir. Analiz sonucuna göre malzemenin takviye oranı arttıkça yoğunlukta azalma görülmektedir.



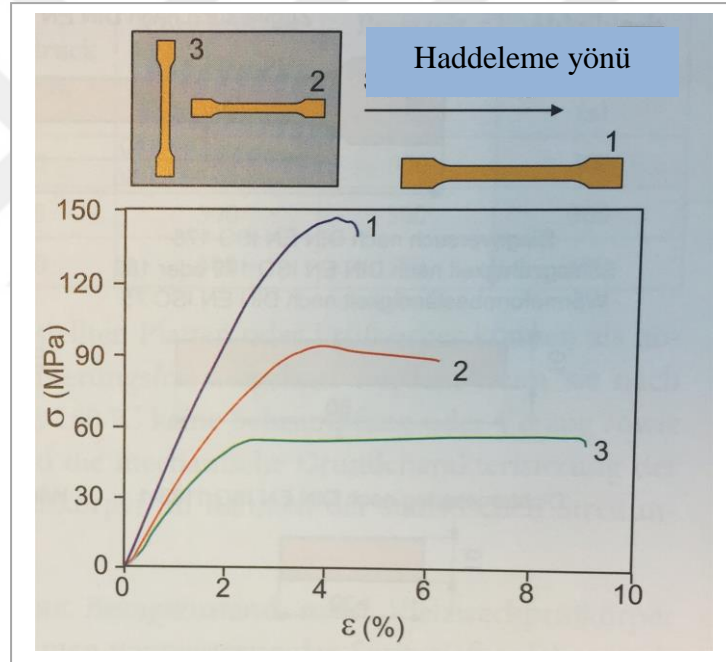
Şekil 5.1 AND GR-200 analitik terazi

Tablo 5.1 PP-PE hammadde ve jüt/PP granül kompozitelerin yoğunluk değerleri

Numune Adı	Yoğunluk (g/cm ³)
PP MH 418	0,9058
PE S 0464	0,9365
JP1	0,8895
JP2	0,8810
JP3	0,8796

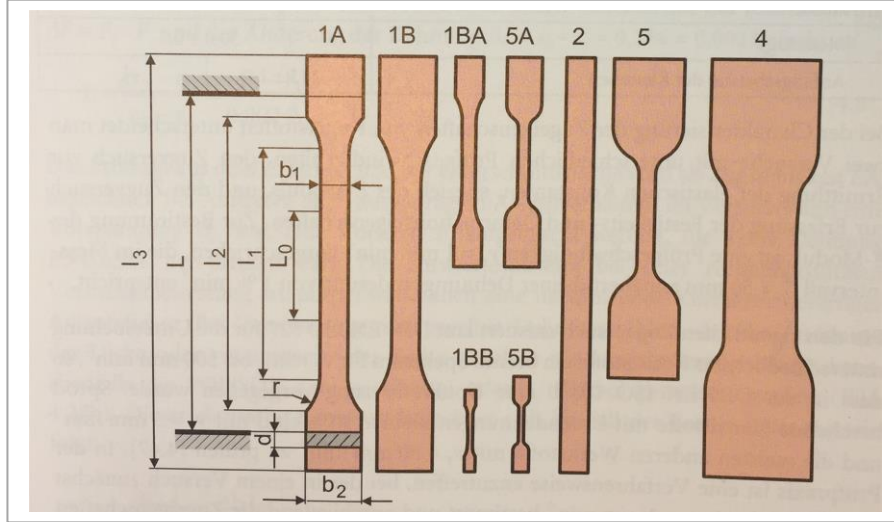
5.2. Çekme Testi

Polimer esaslı malzemelerde üretim yöntemine bağlı olarak, aynı malzemenin mekanik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Grellman ve Seidler (2015), PA6 GF30 tipi malzemede farklı üretim teknikleri ile elde ettikleri numunelerin, mekanik mukavemet değerlerinin değiştiğini ispatlamışlardır. Şekil 5.2’ de görüldüğü üzere PA6 GF30 malzemenin enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretiminde, çekme numunesinin maksimum gerilmenin 145 MPa olduğu; ekstrüzyon kalıplama yöntemi ile üretilen levhadan üretim yönünde 90 MPa, üretim yönüne dik alınan numunede ise 55 MPa olduğu gözlenmiştir. Bu durum, bütün polimer esaslı malzemelerde üretim tekniğine ve numune alınış şekline bağlı olarak malzemenin mekanik mukavemet değerlerinin değişebileceğini göstermektedir. Şekil 5.2’ de farklı üretim yöntemlerine göre elde edilmiş numunelerin gerilim ve yüzde uzama eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.2 Farklı üretim yöntemlerine göre elde edilmiş numunelerin gerilim grafiği (Grellman ve Seidler, 2015)

Çekme testi deneyleri üretim aşamalarına göre üç grupta ele alınmıştır. Çekme testleri ISO EN 527 standardı aşamalarına göre gerçekleştirilmiştir. Üretim yöntemlerine bağlı olarak ISO EN 527 standardında çekme test numunelerinin geometrileri tanımlanmıştır. Buna göre bu çalışmanın 1.aşamasında 1A, 2.aşamasında 5A, 3.aşamasında ise 2 numaralı çekme çubuk geometrileri kullanılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 ISO EN 527 Standartı çekme çubuğu tipleri (Grellman ve Seidler, 2015)

5.2.1 Çekme testi- 1.aşama üretim

Bu aşamada, elde edilen granüllerden enjeksiyon makinasında çekme çubukları üretimi yapılmıştır. Çekme test çubukları Ege Üniversitesi Polimer Teknolojisi Meslek Yüksekokulu laboratuvarında bulunan Dr BOY 50 T enjeksiyon makinasında 180 °C sıcaklıkta üretilmiştir (Şekil 5.4). Çekme çubuğu olarak ISO EN 527 standardına göre Tip 1A şekli kullanılmıştır (Şekil 5.3). Enjeksiyon üretimi ile elde edilen çekme çubuğu Şekil 5.5’ te görülmektedir.

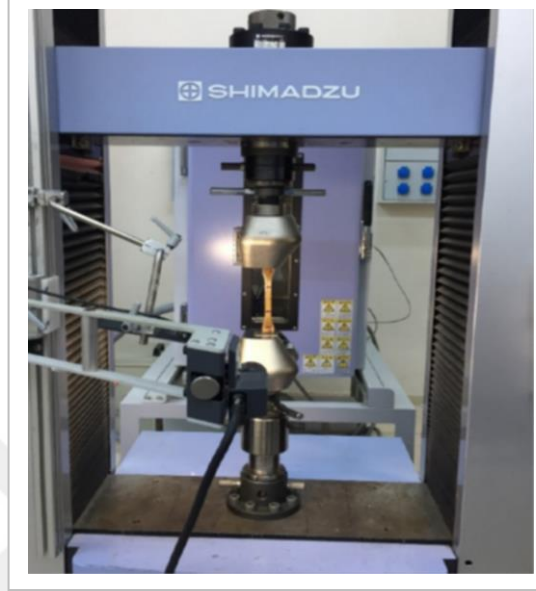


Şekil 5.4 Dr BOY 50 T Enjeksiyon Makinası



Şekil 5.5 Enjeksiyon üretimi çekme çubuğu (ISO EN 527, 1A)

Çekme testleri, Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarında Shimadzu AG - 100 model (Şekil 5.6) cihazda 50 mm/dk hızda yapılmıştır. Üretimin 1.aşamasında % 1.25 jüt takviyeli hammadde üretilmediği için değerlendirmeye alınmamıştır. Elde edilen çekme testi sonuçları Tablo 5.2 'de görülmektedir.



Şekil 5.6 Shimadzu AG 100 çekme testi cihazı

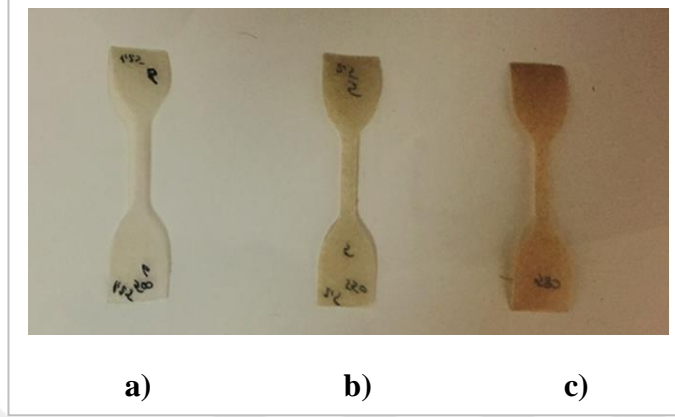
Tablo 5.2 Üretim 1.aşama çekme testi sonuçları

Ürün/Numune Kodu	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Uzama (%)
PP MH 418	629	19,8	11,9
Toz PP/J0	890,6	28,3	7,9
% 1,25 jüt takviyeli PP/J1	-	-	-
% 2,5 jüt takviyeli PP/J2	929,9	29,4	6,9
% 5 jüt takviyeli PP/J3	933,7	29,6	5,5

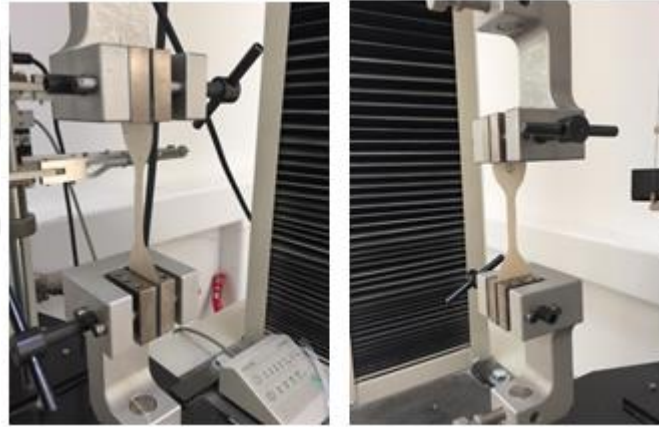
5.2.2 Çekme testi- 2.aşama üretim

ISO EN 527 standartlarına göre film numuneler Tip 5A şekli verilerek kullanılmıştır (Şekil 5.3). Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarında Shimadzu AG - 100 model kabiliyetli çekme testi cihazında (Şekil 5.6) gerçekleştirilmiştir. Çenelerden bağlanan numune 50 mm/dakika hız ile çekilerek testler yapılmıştır. Teste başlamadan önce çekme testi cihazına kesit alan ve ilk boy değerleri girilerek gerilme elastisite modülü değerleri de otomatik olarak hesaplanarak elde edilebilmektedir.

Yaklaşık olarak jüt lifi takvivelik kompozit plaka kalınlığı 450 mikron olarak ölçülmüştür. Test gerçekleştirilirken her bir numune tek tek ölçüldükten sonra veriler çekme tezgâhına girilmiştir. Şekil 5.7 test numunelerini, Şekil 5.8 ise cihaz çenelerine bağlı test numunelerini göstermektedir.

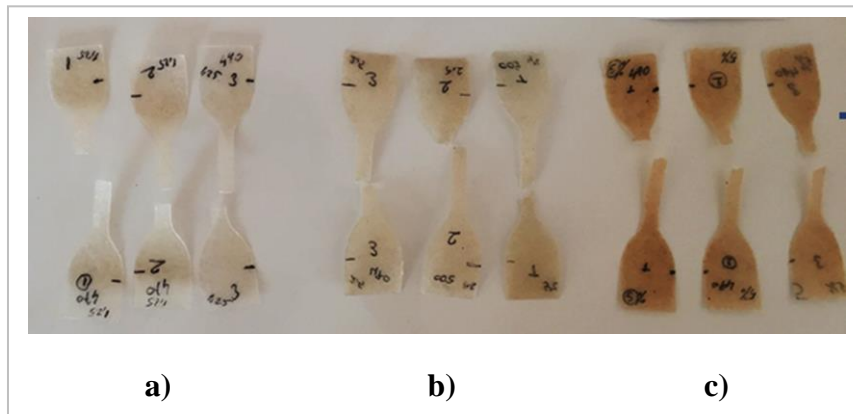


Şekil 5.7 Jüt/PP film çekme test numuneleri a) JP1 b) JP2 c) JP3



Şekil 5.8 Cihaz çenelerine bağlı test numuneleri(Jüt/PP Film)

Çekme testi sonrası tahribatlı numuneler Şekil 5.9’ da gösterilmiştir. Test sonuçları Tablo 5.3’ de görülmektedir.



Şekil 5.9 Çekme testi sonrası tahribatlı numuneler a) JP1 b) JP2 c) JP3

Jüt/PP kompozit film malzemeye yapılan her 3 test örnekleme (Şekil 5.7) için değerlerin ortalaması alınmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre, takviye oranı arttıkça mekanik özelliklerden maksimum gerilme, kopma gerilmesi ve kopma uzamasında azalma görülmektedir. Elastikiyet modülünde artış görülmektedir.

Tablo 5.3 Jüt takviyeli pp film kompozit numunelerin çekme testi sonucu mekanik değerleri

Numune Kodu	Maksimum Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm ²)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Uzama (%)	Elastikiyet Modülü (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Kopma Uzaması (%)
JP1	69,77	2,58	27,04	2,64	10,56	23,62	3,30
JP2	68,56	2,58	26,57	2,63	10,70	22,39	3,28
JP3	64,55	2,58	25,02	2,17	12,15	20,93	2,71

3.aşamada üretimi yapılacak malzeme ile karşılaştırma yapabilmek için PE S 0464 malzemeye de çekme testi yapılmıştır. Ege Meslek Yüksekokulu Polimer Teknolojisi laboratuvarında bulunan WDW-5 HENSGRAND model çekme cihazında 50 mm/dak. hız değerinde uygulanmıştır. 3 örneklem için yapılan test sonucunda çıkan değerlerin ortalaması Tablo 5.4' te görülmektedir.



5.10 WDW-5 HENSGRAND çekme test cihazı

Tablo 5.4 PE S 0464 levhanın çekme testi sonucu mekanik değerleri

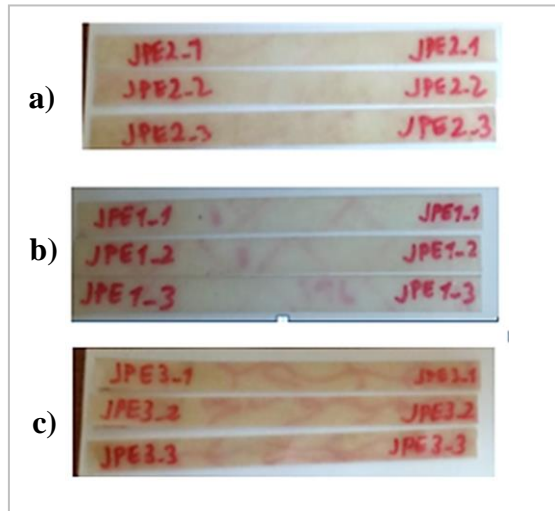
Numune Kodu	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Uzama (%)
PE S 0464	17,60	492,00

5.2.3 Çekme testi- 3.aşama üretim

3.aşama üretim numuneleri, İzmir Su Jeti firmasında Dardi DWJ2040 Flying Arm Water Jet CNC Cutter makinasında (Şekil 5.11) çubuk şeklinde kesilmiştir. Su jeti ile kesim sonrası elde edilen numuneler 3' er örneklem sayısında her bir numune için kesilmiştir (Şekil 5.12). Kesilen numuneler Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarında Shimadzu AG - 100 model kabiliyetli çekme testi cihazında (Şekil 5.6) gerçekleştirilmiştir.



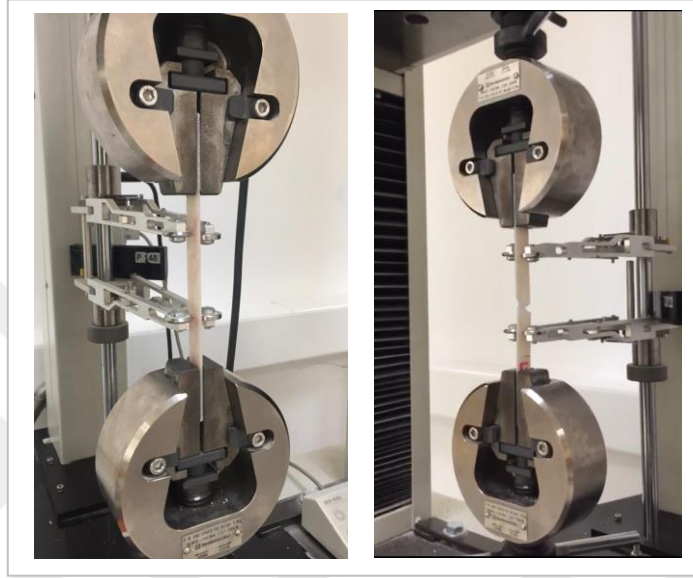
Şekil 5.11 Dardi DWJ2040 Flying Arm Su Jeti CNC Kesim Makinası



Şekil.5.12 Su Jeti ile kesimi yapılmış numuneler a) JPE1 b) JPE2 c) JPE3

Cihaz çenelerinden bağlanan numune 50 mm/dakika hız ile çekilerek testler yapılmıştır. Şekil 5.13 cihaz çenelerine bağlı test numunelerini göstermektedir. Çekme testi sonrası

tahribatlı numuneler Şekil 5.14 te gösterilmiştir. Her bir hibrit için en az 3'er örneklem test edilerek çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Çekme testi sonucu belirlenen mekanik özellikler Tablo 5.5' de gösterilmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre maksimum gerilme ve kopma gerilmesi azalma görülürken, elastikiyet modülü ve kopma uzamasında belirgin bir azalma ve ya artış görülmemektedir. Test sonuçlarının ayrıntılı analizi 6.Bölüm' de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 5.13 Çenelere bağlı test numuneleri (hibrit kompozit)



Şekil 5.14 Çekme testi sonunda hibrit kompozit numunelerin görünümü

Tablo 5.5 Hibrit kompozit numunelerin çekme testi sonucu mekanik değerleri

Numune Kodu	Numune Tanımı	Maksimum Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm ²)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Uzama (%)	Elastikiyet Modülü (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	Kopma Uzaması (%)
JPE1	PE Levha/ %1,25 Jüt Takviyeli PP Film/ PE Levha	521,67	30,00	16,96	5,80	2,92	15,48	5,90
JPE2	PE Levha/ %2,5 Jüt Takviyeli PP Film/ PE Levha	529,04	30,00	18,03	6,23	2,89	16,40	6,25
JPE3	PE Levha/ %5 Jüt Takviyeli PP Film/ PE Levha	544,56	30,00	18,41	6,73	2,73	16,43	8,22

5.3 MFI (Melt Flow Index) Testi

MFI, ISO 1133 standartlarına uygun şekilde belirli sıcaklık ve basınç (bu deneyde 190 °C ve 2.16 kg) altında malzemenin akışkanlığını g/10 dak. cinsinden tayin eden malzemenin ne kadar aktığını gösteren bir değerdir. Malzemenin işlenmesinde ve kalıplanmasında önemli bir rol oynar. MFI, test koşulları altında eriyiğin viskozitesi ile ters orantılıdır, ancak viskozitesinin uygulanan kuvvete bağlı olduğu ayrıntısı göz ardı edilmemelidir.

Önceden istenilen sıcaklığa (190° C) getirilen cihazın haznesine, ekstrüzyon sonunda elde ettiğimiz granüller yerleştirilir. Daha sonra piston yardımıyla ergiyen malzeme akmaya başlar. Pistonda bulunan iki çizgi arasında akan malzeme tartılır. MFI-2322S model JJ-Test Melt Flow Indexer cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.15).

**Şekil 5.15** JJ-Test Melt Flow Indexer

Bu tez çalışmasında yapılan MFI testi Ege Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Polimer Teknolojileri laboratuvarında yapılmıştır. 5 tip numune ölçümü sonuçları Tablo 5.6'ıdır.

Tablo 5.6 PP-PE hammadde ve jüt/PP granül kompozitelerin MFI değerleri

Numune Adı	MFI değeri (g/10 dk)
PP MH 418	4,7
PE S 0464	0,36
J0	6,56
J1	8,06
J2	10,13

Test sonucuna göre takviye oranı arttıkça MFI değeri artmaktadır. PP ve PE hammaddelerin değerleri PETKİM firmasının teknik özellikleri içeren dökümanlarından alınmıştır (Ek-2-3).

5.4 FTIR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre) Karakterizasyonu

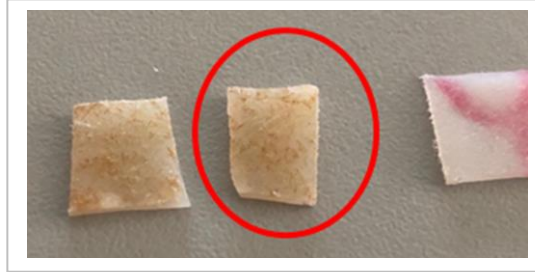
Arayüzey ajanları ile yüzey modifikasyonu yapılan kompozit malzemenin, polimerizasyon sırasında; arayüz ajanları ile fiber matris arasında oluşan kimyasal bağların varlığını görebilmek için EGE-MATAL' da Şekil 5.16'ı gösterilen Perkin Elmer Spectrum Two test cihazında FTIR analizi yapılmıştır. Cihazın spektrum aralığı $4000-600 \text{ cm}^{-1}$ dir.



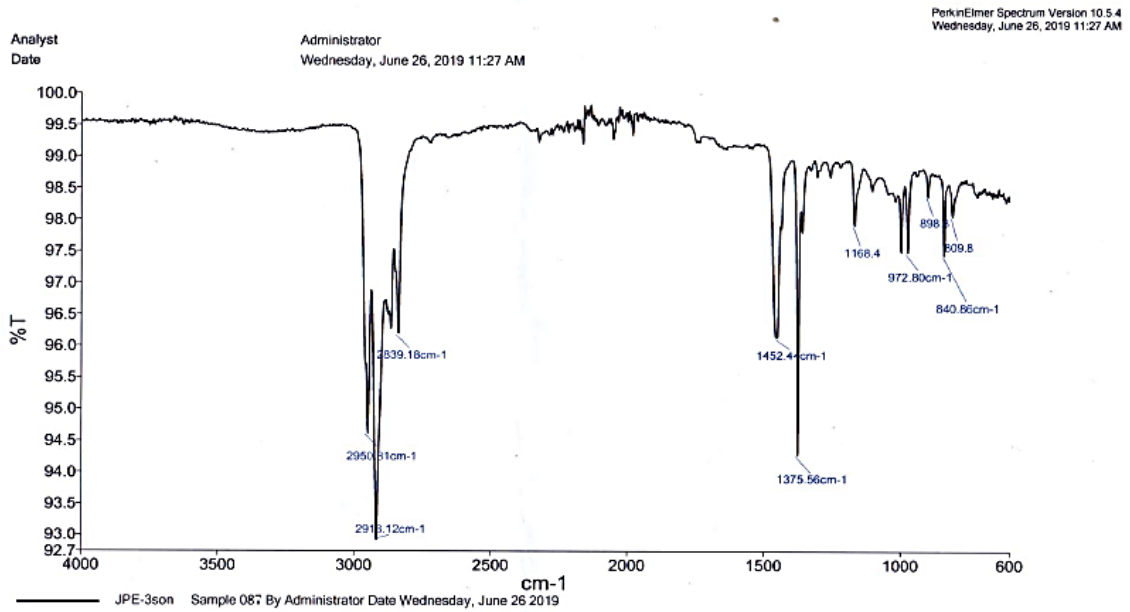
Şekil 5.16 Perkin Elmer Spectrum FTIR analiz cihazı

Poliolefin esaslı hibrit numune FTIR cihazı için uygun ölçülerde kesildi ve birleş PP-kompozit birleşim yerinden maket bıçağı yardımı ile ayrıldı. Daire içine alınan numune analiz edilmiştir (Şekil 5.17). Analiz JPE3 numunesi için gerçekleştirilmiştir; bunun sebebi her

örnekleme aynı oranda kimyasal arayüzey kullanılmasıdır. Sonrasında kesilen bu numune PE levha ile birleşme yerinden ayrılır. Bunun sebebi Silan ve Maleik Anhidrit Asit ile fiber matris arasında oluşacak kimyasal bağların oluşacağı yer olması ve bantların net bir şekilde görülmesinin sağlanmasıdır. Numuneden transmission modunda sonuçlar alınmıştır.



Şekil 5.17 FTIR analiz numunesi



Şekil 5.18 Hibrit kompozit FTIR transmisyon grafiği

Kimyasal işlemin jüt lifi üzerindeki etkisini tahmin etmek için FTIR analizi sonucu çıkan Şekil 5.18'e göre; PP, karakteristik zirvelerini CH₃' teki C-H bağının simetrik germe titreşiminden 1452 cm⁻¹'de göstermektedir. 2839 cm⁻¹'deki karakteristik zirve, işlenmiş jüt lifinin selüloz ve hemiselülozundaki metil ve metilen gruplarında uzanan C-H bağları anlamına gelmektedir. Ligninin metil grubu (-CH₃) 1375 cm⁻¹ de gözlenen karakteristik zirveye bağlanır. 1168 cm⁻¹ deki karakteristik zirve, Si-(CH_x) bağının oluştuğunu ancak çok belirgin bir şekilde

gözetilmediğini ifade etmektedir. CH-CH₂ ve CH-CH₃ bağlarının varlığı yine karakteristik pikler olarak 840 cm⁻¹, 809.8 cm⁻¹ ve 972 cm⁻¹ değerlerinde gözetilmektedir. 1700 cm⁻¹ dolaylarında pik görülmemesi, C-O bağının oluşmadığını ve maleik anhidrit asit varlığı olmadığını göstermektedir.

5.5 SEM (Scanning Electron Microscope) Karakterizasyonu

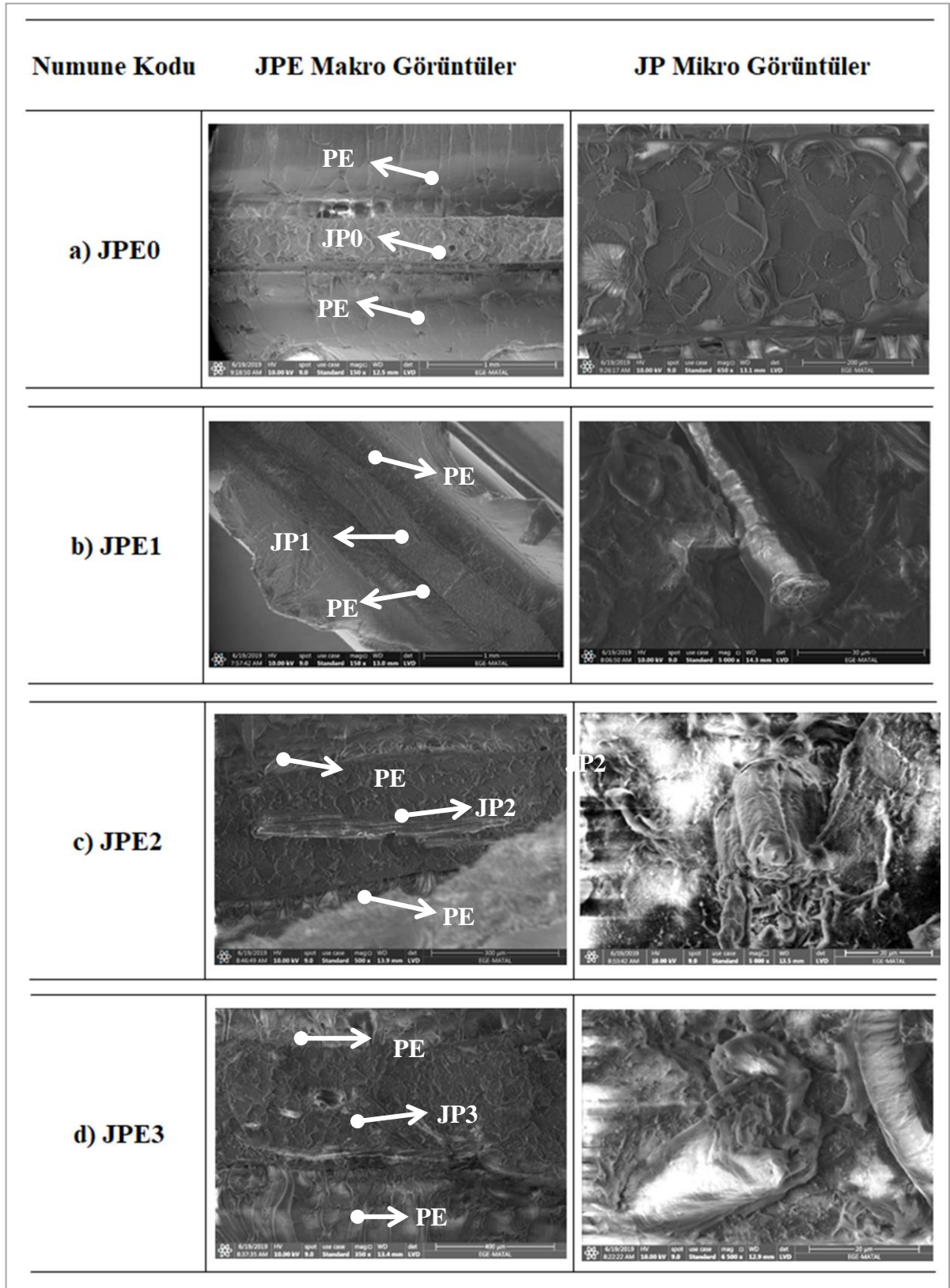
Arayüzey ajanları ile yüzey modifikasyonu yapılan kompozit malzemenin kırılma yüzeylerinde, arayüz ajanları ile fiber matris arasında gerçekleşen etkileşimi morfolojik olarak incelemek için EGE-MATAL' da Şekil 5.19' de gösterilen Thermo Scientific Apreo S test cihazında SEM analizi yapılmıştır. Cihazın numune odası iç çapı 340 mm' dir. Yüksek-düşük vakum özelliklerinde çalışabilmektedir. Elektron tabancası Schottky FEG tabancadır.



Şekil 5.19 Thermo Scientific Apreo S SEM analiz cihazı

Şekil 5.20' de hibrit kompozit 4 çeşit malzemenin, makro ve mikro yapıları gruplanmıştır. Takviye oranı arttıkça ve arayüzey ajanı kullanımı ile morfolojik yapıdaki değişim gidışı net bir şekilde görülmektedir. JPE malzemelerin makro görüntülerde PE ve PP malzemenin kombinasyonu ile oluşan yeni malzemenin yapısı ve fiber takviyesi arttıkça kırılma yüzeylerinde görülen fiberlerin yön değişimi, lif oranı artışının görülmesi hedeflenmiştir.

JP malzemelerin mikro yapılarının bulunduğu görsellerde ise liflerin matris ile arasında arayüzey ajanı aracılığı ile yapışmanın gerçekleşme durumu görülmektedir. Ayrıca çekme testi sonrasında oluşan kırılma yüzeylerinde, liflerin yön değişimide görülmektedir.



Şekil 5.20 Hibrit kompozitlerin makro ve mikro SEM görüntüleri a) JPE0 b) JPE1 c) JPE2 d) JPE3

JPE0 numunesinin SEM görüntülerinin bulunduğu Şekil 5.20-a' da, hibrit yapıdaki 2 adet HDPE plaka arasına PP film yerleştirilmiş malzemenin kırılma yüzeyi görülmektedir. JPE0

yani katkısız olan PP ve HDPE hammaddeden oluşan birleşende herhangi bir fiber yapısına rastlanılmamaktadır. Sadece morfolojik yapı itibariyle 2 farklı malzeme kullanıldığı görülmektedir. Lif takviyesi olmadığı açık bir şekilde yapıdan görülmektedir.

JPE1 numunesinin SEM görüntüleri Şekil 5.20-b' de görülmektedir. Bu görsellerde hibrit yapıdaki 2 adet HDPE plaka arasına % 1.25 jüt takviyeli PP film yerleştirilmiş hibrit malzemenin kırılma yüzeyi görülmektedir. JPE1 malzemesinde ise fiberlere rastlanmıştır Lifler ile matris arasında arayüzey yapışması olmadığı görülmektedir. Kimyasal kullanıldığının varlığı ise polimer malzemenin lif ile en yakın olduğu noktada beliren yapısı değişmiş ve uzayan polimer yüzeyidir. Arayüzey bağı iyi bir şekilde sonuçlanmamıştır.

JPE2 numunesinin SEM görüntüleri Şekil 5.20-c' de görülmektedir. Bu görsellerde hibrit yapıdaki 2 adet HDPE plaka arasına % 2.5 jüt takviyeli PP film yerleştirilmiş hibrit malzemenin kırılma yüzeyi görülmektedir. Lifler ile matris arasında iyi bir arayüzey yapışması olmadığı görülmektedir. JPE2 malzemesinde, JPE1'e göre daha çok fiber yapısı görülmektedir. Şekil 5.20-c' de görülen fiber ve arayüzey arasında oluşan kimyasal reaksiyon ve yapışma etkisi görülmektedir.

JPE3 numunesinin SEM görüntüleri Şekil 5.20-d' de görülmektedir. Bu görsellerde hibrit yapıdaki 2 adet HDPE plaka arasına %5 jüt takviyeli PP film yerleştirilmiş hibrit malzemenin kırılma yüzeyi görülmektedir. Lifler ile matris arasında arayüzey yapışması görülmektedir. JPE3 malzemesinde ise en fazla jüt takviye oranı olduğu; diğer 3 numune ile karşılaştırıldığında açık bir şekilde fiber çokluğu Şekil 5.20-d' de görülmektedir. Fiber-matris arayüzey yapışmasının en etkin olduğu numune JPE3' tür. Bu numunede polimerin, lifin etrafını iyi bir şekilde sarması dikkat çekmektedir. Arayüzey ajanı varlığı, FTIR sonuçları ile de desteklenmiştir.

6.SONUÇLAR ve BULGULAR

Bu çalışmada, termoplastik malzemeler arasında kullanım oranı % 55' ler seviyesinde olan PE ve PP poliolefin malzemelerin birlikte kullanılarak, hibrit yapıdaki kompozit malzemelerin endüstriyel kullanım alanlarının genişletilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan araştırma üç aşamadan oluşmaktadır.

Jüt takviyeli PP malzemelerin mekanik mukavemetini belirlemek amacıyla, çalışmanın birinci aşamasında enjeksiyon prosesi ile çekme çubukları üretilmiştir. PP MH 418 tipi malzemedan üretilen çekme numunelerinin ortalama mekanik mukavemeti 19.8 MPa olduğu gözlenmiştir. Jüt takviyeli PP malzemelerde maksimum mekanik mukavemet, J3 kodlu % 5 jüt takviyeli PP malzemelerde ölçülmüştür. Birinci aşamada kompozit malzemelerin mekanik mukavemet değerlerinde % 33 oranında iyileşme sağlanmıştır. Ancak aynı malzeme grubunda malzemenin yüzde uzama değerlerinde % 116 oranında azalma olmuştur.

Birinci aşamada, granüllere yapılan yoğunluk tayini sonucunda, takviye oranı arttıkça yoğunluğun azaldığı görülmüştür. Yoğunluk azalması, endüstrinin birçok alanında kullanılan farklı hammadde yapılarında, hafifliği azaltmayı hedefleyen farklı sektörler için alternatif sunmaktadır; başka bir deyişle yoğunluğun azalması ile birlikte mukavemetin de artması, mekanik özelliklerde iyileşme sağlandığını göstermektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında bir önceki aşamada üretilen jüt takviyeli PP malzemedan ekstrüzyon yöntemi ile film çekilmiştir. Bu aşamada üretilen filmlerin mekanik mukavemeti incelendiğinde en iyi mekanik mukavemet değerinin, JP1 kodlu, % 1.25 jüt takviyeli PP film malzemedan elde edilmiştir. Bu aşamada ölçülen ortalama en yüksek mekanik mukavemet 27.04 MPa olarak ölçülmüştür. Orijinal PP MH 418 malzeme ile karşılaştırıldığında, JP1 malzemelerin mekanik mukavemetindeki iyileşme % 26.7' dir. İkinci aşamada artan jüt oranları, malzemenin mekanik mukavemetini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu aşamada üretilen filmlerin mekanik mukavemet değerlerinde iyileşme sırasıyla JP1, JP2 ve JP3'de % 26.7, % 25.4 ve % 20.8 oranındadır. Ekstrüzyonda üretilen film kalınlıkları azaldıkça, malzeme içerisindeki jüt katkısı malzemenin mekanik mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca bu aşamada, jüt takviye edilmiş granüllerden film çekimi sırasında; takviye oranı arttıkça, çekilen filmlerde aralıklarla yırtılmalar gözlenmiştir. Seri üretimde kalite problemleri yaşanmıştır. Lif takviye oranı arttıkça elastisite modülünün artışı ise plastik şekil değişimine uğramadan dayanabileceği kuvvetin o kadar yüksek ve elastik uzama oranının da o kadar düşük olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın üçüncü aşamasında yarı mamül halde temin edilen HDPE levhaların arasına kompozit film numunelerin yerleştirilmesi ile sıcak preste üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada tabakalar arasına fırça yardımı ile uygulanan maleik anhidrit asitin, sıcak pres etkisi ile malzemelerin polimerizasyonu sırasında hava kabarcığı oluşturarak proste kalite hatası oluşturabileceği ihtimali göz önünde bulundurulmuştur. Üretim sonucunda kalite hatası yaşanmamıştır ve iki farklı malzemenin tabakaları arasında hava kabarcığına rastlanmamıştır. Ancak maleik anhidrit asit çözeltisi uygulaması ile arayüzey yapışmasının daha da iyileşeceği beklense de; yüksek sıcaklık etkisi ile asidik çözeltinin tamamen kaybolduğu, kimyasal bağ oluşturmadığı FTIR karakterizasyonunda görülmüştür. Hibrit yapıdaki malzemelerin, JPE kodlu, mekanik mukavemeti incelendiğinde, malzemenin içerisindeki kompozit malzeme miktarı arttıkça malzemenin mekanik mukavemetinde iyileşme olduğu görülmüştür. Hibrit yapı kompozit malzemelerde en yüksek mekanik mukavemet JPE3 kodlu, % 5 jüt takviyeli hibrit malzemelerde 18.41 MPa olarak ölçülmüştür. Bu değer hibrit yapıyı oluşturan orijinal malzemeler ile karşılaştırıldığında PP MH 418'e göre % 8.6, PE S 0464'e göre ise % 5 kadardır.

Çalışma sonucunda elde edilen çıktılar özetle aşağıda maddelenmiştir:

- Bu çalışmada hibrit yapı poliolefin malzemelerin mekanik mukavemetinin daha yüksek olması ön görülmüştür. Ancak çalışmanın birinci aşamasında jüt katkısının ekstrüdere manuel olarak beslenmesi, üretim sırasında aksamalara neden olmuştur. Yapılan kesintili üretim de homojen malzeme üretimini olumsuz etkilemiştir. Bu durum, araştırmanın ikinci aşamasında film üretimini de olumsuz etkilemiştir.
- Aynı malzemedan farklı proses yöntemleri ile üretilen numunelerin, mekanik mukavemet değerleri de farklılık arz etmektedir. Enjeksiyon yöntemi ile üretilen ürünlerin mekanik mukavemet değerleri ekstrüzyon yöntemi ile üretilen ürünlerin mekanik mukavemet değerlerinden daha yüksektir. Bu durum Grellmann ve Seidler (2015) 'in PA6 GF 30 malzeme ile ilgili yapmış oldukları çalışma ile de örtüşmektedir.
- Çekme testi sonrasında kırılma yüzeylerini incelemek için yapılan SEM analizlerinde, elyaf katkılarının homojen olarak dağılmadığı ve bazı elyafların kırılma yüzeyine paralel olması da malzemenin mekanik mukavemetini olumsuz etkilemiştir.
- Silan işlemi ile birlikte özellikle JPE3 numunesinde; lif bünyesindeki pektin ve hemiselüloz polimerler uzaklaşarak daha pürüzlü bir lif yüzeyi oluşmakta, bu da daha iyi bir lif/matris yapışması sağlamaktadır. Arayüzde görülen bu iyileşme silan işlemi numunelerde görülen iyileşen mekanik değerleri açıklar niteliktedir. Zira silan işlemi ile

birlikte arayüz kalitesindeki artış beraberinde daha iyi bir yük dağılımı ve dinamik yükün zayıf matristen yüksek mukavemetli liflere daha etkili aktarılmasını sağlamaktadır.

- Yoğunluk tayinine göre malzemede jüt takviyesi arttıkça yoğunluğun azalması, hafif bir malzeme üretilebildiğini ifade etmektedir. Özellikle hafif ve yüksek mukavemetli malzeme seçimine ihtiyaç duyulacak üretim sektörlerine alternatif oluşturmaktadır.
- FTIR spektrumlarına göre ise yüzey işleminin gerçekleştiği ve polimerizasyon tepkimesine dahil olduğu görülmektedir. Ancak Maleik Anhidrit asitin varlığı görülememiştir. Bunun sebebinin yüksek sıcaklıkta çalışılması sonucu; kimyasalın buharlaşarak etkisini yitirdiği şeklindedir.
- Mekanik değerler incelendiğinde ise; jüt takviyeli PP film kompozitlerde takviye oranı arttıkça kopma mukavemetindeki azalma; jüt liflerinin kısa (kesikli) yapısının malzemenin mukavemeti etkilemesi sebebiyle değerlerin düşmesine sebebiyet vermiş olması şeklinde yorumlanmaktadır. Tabloya göre; orijinal PP hammaddeye nazaran, kopma mukavemetinde % 11 oranında azalma görülmüştür.
- Hibrit yapıyı oluşturan orijinal malzemelerin maksimum gerilmesi PP ve PE ile karşılaştırıldığında PP MH 418'e göre % 8.6, PE S 0464'e göre ise % 5 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Arayüz ajanı kullanılmasının fiber-matris arayüzeyi arasındaki yapışmayı iyileştirdiği, kesikli lif yapısı takviyesinin mukavemeti düşürdüğü ve lif yönünün önemli olduğu; fakat hibrit kompozit üretimi ile oluşan poliolefin bazlı kompozit ile mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür. Jüt/PP takviyeli, poliolefin esaslı hibrit kompozitlerin hafif ve sağlam yapılar olarak başta otomotiv ve inşaat olmak üzere pek çok endüstri dalında kullanım potansiyeli taşıdığı öngörülmüştür.

Sonuç olarak, bu tip üretim yönteminde elyafların üretim sırasında kırılması ve yön değiştirmesi, mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak elle yapılan ve ağırlıkla termoset kullanılan kompozit malzeme üretimlerinin emek yoğunluklu olması ve termoset malzemelerin geri dönüşümünün olmaması; çevresel etkisi açısından oldukça olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Bu çalışmada uygulanan üretim yöntemlerinde, elyaf besleme ünitelerinin otomasyon ile geliştirilmesi, üretim proseslerinin optimizasyonu ile elyaf kırılmalarının minimize edilmesi hibrit yapıdaki kompozit malzemelerin, endüstrinin farklı alanlarında kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Acha, B.A. , Reboredo, M.M. , Marcovich, N.E. , (2007). Creep and dynamic mechanical behavior of PP–jute composites: Effect of the interfacial adhesion, *Composites: Part A*, 38 (2007) 1507–1516.

Aero Consultants AG, <http://www.aero-consultants.ch/en/Airtech-Hilfsmaterialien/Vacuum-Bagging-and-Composite-Tooling.htm>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019).

Aggarwal, P.K., N. Raghu, Ajay Karmarkar, Shakti Chuahan, (2012). Jute–polypropylene composites using m-TMI-grafted-polypropylene as a coupling agent, *Institute of Wood Science and Technology*, Malleswaram, Bangalore 560 003, India.

Akdoğan, A., (2009). Plastik Şekillendirme Yöntemleri, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin_Sekillendirme_Yontemleri_Son.pdf , (Erişim tarihi : 29.07.2019).

Alkaya E., Altay Akarsoy T., Ata Başak A., Çakar Ölmez S. ve Durtaş P., (2010). İleri teknoloji projeleri (İTEP) destek programı raporu, *Türkiye Teknoloji Gelişim Vakfı*, 18-26.

Amir, N., Abidin, K.A.Z., Shiri, F.B., (2017). Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Polymer Composite, *Procedia Engineering*, 184 (2017) 573 – 580.

Arıcasoy, O. (2006). Kompozit sektör raporu. İstanbul Ticaret Odası, 14 Aralık 2015, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>. (Erişim tarihi: 13.07.2019)

Ataş, C., (2016). Takviye ve Matris Malzemeleri, <https://docplayer.biz.tr/16359625-Bolum-2-takviye-ve-matris-malzemeleri.html>, (Erişim tarihi: 13.07.2019)

Ay, İrfan., (2008), Termoplastik ve Termoset Plastikler Ders Notları Balıkesir Üniversitesi <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>, (Erişim tarihi: 09.07.2019).

Bakkal, M. ve Savaş, M. (2012). Cam elyafla güçlendirilmiş doğal elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi. *3.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 29-30 Kasım 2012, Balıkesir.

Başer, İ. (2002). Elyaf bilgisi (2. Baskı). İstanbul: Marmara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi, Teknik Eğitim Fakültesi.

Bateman, S.A., Wu, D.Y., (2000). Composite Materials Prepared from Waste Textile Fiber, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 81, 3178–3185 (2001).

Bessaa, J., Matosa, J., Motaa C., Cunhaa, F., Araújo, I., Silvab, L. , Pinhob, E., Fangueroa, R. , (2017). Influence of surface treatments on the mechanical properties of fibre reinforced thermoplastic composites, *Procedia Engineering* 200 (2017) 465–471.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Beşergil, B.**, (2016). Kompozitler, http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_664.html , (Erişim tarihi: 14.07.2019).
- Bledzki, A.K., Franciszczaka, P. ,Osman, Z. ,Elbadawi, M.**, (2015). Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers, *Industrial Crops and Products*, 70 (2015) 91–99.
- Bulut, Y. ve Erdoğan Ü.H.** (2011). Selüloz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 18 (82), 26-35.
- Burrola-Núñez, H., Herrera-Franco, P.J.,Rodríguez-Félix, D.E.,Soto-Valdeza, H., Madera-Santanaa, T.J.**, (2018). Surface modification and performance of jute fibers as reinforcement on polymer matrix: an overview, *Journal Of Natural Fibers*, <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1441093>, (Erişim tarihi: 14.07.2019).
- C.C.M. MA.** First Asian Australasian conference on composite materials (ACCM- I) Osaka, Japan; (1998). p. 205.–76.
- Callister, W.D.** (2007), *Material Science and Engineering 7th Edition*, Page 502 and 546.
- Caner E.**, (2010). Kompozit Malzemelere Uygulanan Deneyler <http://malzeme-bilimi-ve-muhendisligi.blogspot.com/2010/02/deneyin-adi-kompozit-malzemelere.html>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019).
- Chand, N. and Dwivedi, U.K. ,** (2006). Effect of coupling agent on abrasive wear behaviour of chopped jute fibre-reinforced polypropylene composites, *Wear*, 261 (2006) 1057–1063.
- Chawla, K.K.**, (1987). *Composite Materials, Science and Engineering*. 140-283s Springer Verlag New York Inc.
- Commodity Online Sitesi**, (2019). India may extend anti-dumping duty on jute bags from Bangladesh, <https://www.commodityonline.com/commodity-news/india-may-extend-anti-dumping-duty-on-jute-bags-from-bangladesh/news-now/24996> , (Erişim Tarihi: 9.07.2019).
- Corrales, F, Vilaseca, F. , Llop, M. , Giron`es, J. , M´endez, J.A. , Mutj`e, P.**, (2007). Chemical modification of jute fibers for the production of green-composites, *Journal of Hazardous Materials*, 144 (2007) 730–735.
- Çağlarer, E.**, (2004), Plastik esaslı kompozit malzemelerde takviye türü ve oranına bağlı olarak çeşitli ortam koşullarında elektriksel özelliklerinin incelenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Çengel, Ö., (2003), Alçak yoğunluklu polietilen LDPE ile yüksek yoğunluklu polietilen HDPE arasındaki fark, <https://www.kimyasanal.com/konu/alçak-yogunluklu-polietilen-LDPE-ile-yuksek-yogunluklu-polietilen-HDPE-arasindaki-fark/>, (Erişim tarihi: 7.7.2019)

Datta, E. S. R., and M. M. Hossain. (2016). Different approaches to modify the properties of jute fiber: A review. *The International Journal of Engineering and Science*, 5:24–27.

Demir Topuk Z., (2013), Doğal Lif Takviyeli Eko-kompozitlerde Arayüzeyin Geliştirilmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Dikobe, D.G., Luyt, A.S., (2017). Thermal and mechanical properties of PP/HDPE/wood powder and MAPP/HDPE/wood powder polymer blend composites, *Thermochimica Acta*, 654 (2017) 40–50.

Dil, T., (2016). Polimer matrisli kompozitlerde sarım açısının mekanik özelliklere etkisi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Doan, T.T.L. , Gao, S. , Mäder, E. , (2006). Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification, *Composites Science and Technology*, 66(7):952-963.

Doan, T.T.L., Brodowsky, H., Mäder, E., (2007), Jute fibre/polypropylene composites II. Thermal, hydrothermal and dynamic mechanical behaviour, *Composites Science and Technology*, 67 (2007) 2707–2714.

Doan, T.T.L., Brodowsky, H., Mäder, E., (2012). Jute fibre/epoxy composites: Surface properties and interfacial adhesion, *Composites Science and Technology*, 72 (2012) 1160–1166.

EPP Composites, <https://www.eppcomposites.com/spray-layup-process.html>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019)

Euroextrusions, <http://www.euroextrusions.com/thermoforming/>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019)

Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. ve Sain, M., (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37, 1552-1596.

Felix, J.M. , Gatenholm, P., Schreiber, H.P., (1993). Controlled Interactions in Cellulose-Polymer Composites. I: Effect on Mechanical Properties, *Polymer Composites* 1993;14(6):449-457.

Frizelle, W.G., (2011). Injection Molding Technology, *Applied Plastics Engineering Handbook*, pages: 205-214.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Gassan, J., Bledzki, A. K., (2001). Thermal Degradation of Flax and Jute Fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 82: 1417-1422.

Grellmann, W. und Seidler, S., (2015). Kunststoffprüfung, 2.Auflage, seite: 21 und 119.

Gu, J., Zhang Q., Dang, J., Xie, C. (2012). Thermal conductivity epoxy resin composites filled with boron nitride. *Polymers for Advanced Technologies*, 23(6), 1025-1028.

Harmancıoğlu, M., Yazıcıoğlu, G., (1979). Ege Üniversitesi Tekstil Fakültesi Yayınları, No:3, İzmir.

Hashmi S.A.R., Kitano T, Chand N., (2003). Dynamic mechanical behavior of LLDPE composites reinforced with kevlar fibres/short glass fibres. *Polymer Composites* 2003;24(1):149–57.

Herrera-Franco P.J. , Valadez-Gonzalez, A., (2004). Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites, *Composites Part A Applied Science and Manufacturing* 35(3):339-345.

Hong C.K., Hwang I., Kim N., Park, D.H., Hwang, B.S., Nah, C., (2007). Mechanical properties of silanized jute–polypropylene composites, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 14.

Hossain, R., Islam, A., Vuurea, A.V. ve Verpoest I., (2013). Tensile behavior of environment friendly jute epoxy laminated composite. *Procedia Engineering*, 56, 782-788.

Iglesias, J.G., González-Benito, J., Aznar, A.J., Bravo, J., & Baselga, J., (2002). Effect of glass fiber surface treatments on mechanical strength of epoxy based composite materials. *Journal of Colloid and Interface Science.*, 250 (1), 251-260.

Jütsan Ambalaj Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, <http://www.jutsanambalaj.com.tr/jut.html> , (Erişim tarihi: 9.07.2019).

Kaiser, W., (2006). Kunststoffchemie für Ingenieure: Von der Synthese bis zur Anwendung, seite: 118-119.

Karmaker, A.C. and Youngquist, J.A., (1996). Injection molding of polypropylene reinforced with short jute fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 62, 1147-1151.

Kim, J. K., Sham, M. L., & Wu, J. S. (2001). Nanoscale characterisation of interphase in silane treated glass fibre composites. *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 32 (5), 607-618.

Kim, S.J. , Moon, J.B. , Kim, G.H. ,Ha, C.S. , (2008). Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber, *Polymer Testing* 27 (2008) 801–806.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Liu, X. Y. , Dai, G. C. , (2007). Surface modification and micromechanical properties of jute fiber mat reinforced polypropylene composites, *eXPRESS Polymer Letters* Vol.1, No.5 (2007) 299–307.

M. Abdelmouleh, S. Boufi, M.N. Belgacem, A.P. Duarte, A. Ben Salah, A. Gandini, (2003). Modification of cellulosic fibres with functionalised silanes: development of surface properties, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 24 (2004) 43–54.

Ma, Q., Rejab, R.M., Zhang, B., Kumar, N.M., (2019). Filament winding technique: SWOT analysis and applied favorable factors, *SCIREA Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 2 , No. 1 , 2019 , pp. 15 - 25.

Mäder E, Gliesche K., (1995). Langfaserverstärkte Kunststoffe auf der Basis von Naturfasern, *7th International Techtexil-Symposium*, Frankfurt, Germany, 1995, 6:20-22.

Martin, H.B., Snijder, 2004, Reinforcement of Commodity Plastic by Hemp And Flax Fibres- Extending the Market Opportunity, Bio- Based Products Mission, Canada.

May-Pat, A., Valadez-González, A. , Pedro J. Herrera-Franco, P.J., (2013). Effect of fiber surface treatments on the essential work of fracture of HDPE-continuous henequen fiber-reinforced composites, *Polymer Testing*, Volume 32, Issue 6, September 2013, Pages 1114-1122.

Mazumdar, S.K., (2002). Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering. CRC Pres, Boca Raton London New York Washington, D.C.

Militký, J., Venkataraman, M., Mishra, R., (2018). The chemistry, manufacture, and tensile behavior of polyamide fibers, *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition)*, Pages 367-419.

Mohanty, A.K., Khan, M.A. , Hinrichsen, G. , (2000). Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics—polyester amide composites, *Composites Part A Applied Science and Manufacturing* 31(2):143-150.

Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., 2005, Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites, CRC press, Boca Raton.

Mohanty, S., Nayak, K., Verma, S.K., Tripathy, S.S., (2004). Effect of MAPP as a Coupling Agent on the Performance of Jute–PP Composites, *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, Vol. 23, No. 6/2004.

Mohanty, S., Nayak, S.K., (2006). Dynamic and steady state viscoelastic behavior and morphology of MAPP treated PP/sisal composites, *Materials Science and Engineering A* 443 (2007) 202–208.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Mohanty, S., Nayak, S.K., (2010). Short bamboo fiber-reinforced HDPE composites: Influence of fiber content and modification on strength of the composite, *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, Vol. 29, No. 14/2010.

Mohanty, S., Verma, S.K., Nayak, S.K., (2004). Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 538–547.

Moriyama, A., Hasegawa, T., Nagaya C., Hamada, K., Himaki, T., Murakami, M., Masanori Horiec, M., Takahas, J., Iwahashi, H., Moritomi, H., (2019). Assessment of harmfulness and biological effect of carbon fiber dust generated during new carbon fiber recycling method, 2019, Japan.

Mwaikambo, L. Y. (2009). Tensile properties of alkalised jute fibres. *Bio Resources* 4 (2):566–88.

Nam, T. H., S. Ogihara, H. Nakatani, S. Kobayashi, and J. I. Song. (2012). Mechanical and thermal properties and water absorption of jute fiber reinforced poly (butylene succinate) biodegradable composites. *Advanced Composite Materials* 21 (3):241–58.

Nutt S.R., (2001). Introduction to constituent materials, *Composites*, 21: 68-70.

Olçay, Y., Akyol, M., Gemci, R., (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Cilt 7, Sayı 1, 93-116, Bursa.

Orenco Composites, <http://orencocomposites.com/processes/rtm/rtm-process-diagram/>, (Erişim tarihi: 10.07.2019).

Parikh, D.V., Chen, Y., Sun L., (2006). Reducing Automotive Interior Noise with Natural Fiber Nonwoven Floor Covering Systems, *Textile Research Journal*, 76: 813-820.

Park, J.M., Quang, S.T., Hwang, B.S., DeVries, K.L., (2006). Interfacial evaluation of modified Jute and Hemp fibers/polypropylene (PP)-maleic anhydride polypropylene copolymers (PP-MAPP) composites using micromechanical technique and nondestructive acoustic emission, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 2686–2699.

Park, R., & Jang, J. (2004). Effect of surface treatment on the mechanical properties of glass fiber/vinylester composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 3730–3736.

Park, S. J., & Jin, J. S. (2003). Effect of silane coupling agent on mechanical interfacial properties of glass fiber-reinforced unsaturated polyester composites. *Journal of Polymer Science Part B-Polymer Physics*, 41 (1), 55-62.

Philips N. L., 1989. Design with Advance Composite Materials, Springer-Verlag, The Design Council, Great Britain.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

PLASTIC, <http://www.plastic.cz/technologie-autoklav>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019)

Plastik Evreleri, Plastik geri dönüşüm sembollerinin açıklanması, 2013. <https://plastikevreleri.wordpress.com/2013/03/09/plastik-geri-donusum-sembollerinin-aciklamasi/>, (Erişim tarihi : 14.07.2019)

Plastikçiyiz Biz, Plastik termoform prosesi, (2017). <https://www.plastikciyiz.biz/bilgi-kutuphanesi/teknik-bilgi-kutuphanesi/436/plastik-termoform-prosesi>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019).

Priya, S. P. and Rai S. K. ,(2005). Impact, Compression, Density, Void Content, and Weight Reduction Studies on Waste Silk Fabric/Epoxy Composites, *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, Vol. 24, No. 15/2005.

Rahman, R. , Huque M., Islam, N. , Hasan, M. , (2008). Improvement of physico-mechanical properties of jute fiber reinforced polypropylene composites by post-treatment, *Composites: Part A* 39 (2008) 1739–1747.

Raji, M., Abdellaoui, H., Essabir, H., Kakou, C.A., Bouhfid, R., Qaiss, A., (2018). Prediction of the cyclic durability of woven-hybrid composites 3, *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering* 2019, Pages 27-62.

Rana, A. K., Jayachandran, K., (2000). Jute Fibers for Reinforced Composites and Its Prospects, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 353, 35-45.

Rana, A.K., Mandala, A., Bandyopadhyayb, S., (2002). Short jute fiber reinforced polypropylene composites: effect of compatibiliser, impact modifier and fiber loading, *Composites Science and Technology* 63 (2003) 801–806.

Ray D., Sarkar, B.K. , Das, S., Rana, A.K. , (2002). Dynamic mechanical and thermal analysis of viny Lester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres, *Composite Science Technology*, 62(7-8):911-917.

Saçak M. 2015, *Polimer Kimyası*, 7.Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, sayfa: 568.

Sağbaş, A., Kahraman, F. ve Koyuncu, M. (2009). Keten lifleri ile takviye edilmiş polyester esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1-2), 185192.

Sağır, H.O., (2016), Jüt ve keten takviyeli karma kompozitlerin mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sailesh, A., Arunkumar, R., , Saravanan, S., (2017). Mechanical Properties and Wear Properties of Kenaf – Aloe Vera – Jute Fiber Reinforced Natural Fiber Composites, *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 7184–7190.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Sain, M.N., Kokta, B.V., (1994). Polyolefin–wood filler composite. I. Performance of m-phenylene bismaleimide-modified wood fiber in polypropylene composite, *Journal of Applied Polymer Science* 54(10):1545 - 1559.

Sathishkumar, T.P. and Naveen J., (2014). Hybrid fiber reinforced polymer composites - A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* · 33(5):454–471.

Schwartz, M.M., (1984). *Composite Materials Handbook*. 8-26s McGraw-Hill Inc.

Seki Y., Sarikanat M., Ezan M., (2012). Effect of siloxane treatment of jute fabric on the mechanical and thermal properties of jute/HDPE, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 31(15) 1009–1016.

Sever K., (2009), The Role of Interfaces on the Mechanical Performance of Fiber Reinforced Polymer Composites, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sever, K, Sarikanat, M., Seki Y., Erkan, G., Erdoğan, U.H., (2010). The mechanical properties of c-methacryloxypropyltrimethoxy silane-treated jute/polyester composites, *Journal of Composite Materials*, 2010, 44(15):1913-1924.

Sever, K. , Sarikanat, M. , Seki, Y. , Erkan, G. ,Erdoğan, Ü.H. ,Erden, S. ,(2011). Surface treatments of jute fabric: The influence of surface characteristics on jute fabrics and mechanical properties of jute/polyester composites, *Industrial Crops and Products* 35 (2012) 22– 30.

Sharma, V.K., (2015). Jute, <http://gpkt.weebly.com/jute.html> , (Erişim tarihi: 10.07.2019).

SMC Tooling, <http://www.smctooling.com/Compression.html>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019).

Smith, F. W., (2001). *Materials Science and Engineering*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Çeviren; N., Kınıkoğlu.

Svečko, R., Kusić, D., Kek,T., Sarjaš, A., Hančič, A., Grum, J., (2013). Acoustic Emission Detection of Macro-Cracks on Engraving Tool Steel Inserts during the Injection Molding Cycle Using PZT Sensors, *Sensors* 13(5):6365-6379.

Srinivasarao, M., (2010). Stereocomplex fibers, http://mohan.mse.gatech.edu/Research/stereocomplex_fiber/stereocomplex.htm, (Erişim Tarihi: 09.07.2019).

Şahin, Y., (2006), *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara, sayfa: 27-108, 135-144.

Taj, S., M. A. Munawar, and S. Khan, (2007). Natural fiber-reinforced polymer composites. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences* 44:129–44.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

Tekstil Sayfası Sitesi, Sentetik liflerin tanımı ve sınıflandırılması, <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2012/12/sentetik-liflerin-tanimi-ve.html>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019).

Teknik Rehber Sitesi, Ekstrüzyon Prosesi Nedir?, <http://teknikrehber.net/ekstruzyon-prosesi-nedir/>, (Erişim Tarihi: 14.07.2019).

Toğuşlu, Ç., (2011). Cam fiber ve grafit takviyeli naylon 6 matrisli kompozit malzemelerin bazı mekanik özellikler ve aşınma mekanizmalarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vieira, J.D., Liu, T., Harries, K., (2017). Flexural stability of pultruded glass fibre-reinforced polymer I-sections, *Structures & Buildings* 171(11):1-12.

Vijaya Ramnath, B., Elanchezian, C., Nirmal, P.V., Prem Kumar, G., Santhosh Kumar, V., Karthik, S. (2014). Experimental investigation of mechanical behavior of jute-flax based glass fiber reinforced composite. *Fibers and Polymers*, 15 (6), 1251-1262.

Vural, M., 2006. Üretim Yöntemleri, <http://www.ekoendustri.com/assets/pdf/48.pdf> , (Erişim tarihi: 29.07.2019)

Whiteley, K.S., 1998. Polyethylene [Buchabschnitt] // *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. - Welwyn Garden City, United Kingdom.

Yan, L., Chouw, N. ve Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites. *Composites: Part B*, 56, 296-317.

Yıldızhan, H., (2008). Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zadorecki P, Flodin P., (1985). Surface modification of cellulose fibers. II. The effect of cellulose fiber treatment on the performance of cellulose–polyester composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 1985;30:3971

Zhang, Y., Li, Y., Ma, H. ve Yu, T. (2013). Tensile and interfacial properties of unidirectional flax/glass fiber reinforced hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 88, 172-177.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden, son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren; yoğun iş temposunda değerli vakitlerini ayırarak bilgilerini ve desteğini benden samimiyetle esirgemeyen, danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr.Sami SAYER' e,

Yüksek lisans sürecimin başladığı andan itibaren, kıymetli bilgilerini öğrenebilme fırsatı bulduğum ve desteğini her zaman hissettiğim, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Bölüm Başkanı değerli hocam Prof.Dr. Rasim İPEK' e,

Kompozit plakaların üretilmesi ve yapılan deneyler esnasında laboratuvarlarını açarak destek veren, Dokuz Eylül Üniversitesi'nden değerli hocam Prof. Dr. Çiçek ÖZEŞ' e,

Mekanik testlerin yapılması sürecinde teknik bilgilerini paylaşan ve desteklerini esirgemeyen yüksek lisans eğitim sürecimden arkadaşım Kimyager Uğur YAPICI'ya,

Hayatım boyunca kendi ayaklarımın üzerinde durmayı bana öğreten, saygıdeğer Matematik Öğretmeni babam Emrullah ŞAHİN' e, tez sürecimde her an beni bıkmadan dinleyen ve güçlü kalmamı sağlayan, annem Nebiha ŞAHİN' e, benden 11 yaş küçük olsa da her konuştuğumuzda beni güldürerek mutlu eden küçük kardeşim Mehmet Akif ŞAHİN'e ve aynı anda hem lisans hem yüksek lisans yapma şansını yakaladığım, bu süreci bitirmemi manevi olarak daha rahat hale getiren kız kardeşim Beliz Büşra ŞAHİN' e sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Ayça Şahika ŞAHİN

İzmir 2019

ÖZGEÇMİŞ

Endüstri Mühendisi, Ayça Şahika ŞAHİN

İLETİŞİM BİLGİLERİ

E-posta: aycasahikasahin@gmail.com

Yaşadığı İlçe/İl: Konak/İZMİR

KİŞİSEL BİLGİLER

Uyruk : Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Tarihi : 27.06.1991

Doğum Yeri : Adana

Medeni Durumu : Bekar

EĞİTİM BİLGİLERİ

2016-2019 Ege Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği(%30 İngilizce, Yüksek Lisans)

2010-2016 Gaziantep Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği(%100 İngilizce, Lisans)

2005-2009 Hasan Aybaba Anadolu Öğretmen Lisesi, Fen Bilimleri

DENEYİM

Teknik Planlama Uzmanı (01.2019 -)

ESBAŞ – Ege Serbest Bölge Kurucu ve İşleticisi, İZMİR

Metot Mühendisi (07.2017 - 01.2019)

Elginkan Holding/ E.C.A. Emas Makine Sanayi A.Ş., MANİSA

Proses Geliştirme ve Metot Mühendisi (02.2016 - 06.017)

Olgun Çelik A.Ş., MANİSA

Uzun Dönem Stajyer (09.2015 - 01.2016)

Schneider Electric Sanayi ve Ticaret A.Ş., Üretim Bölümü Stajyeri, MANİSA

Yaz Dönemi Stajyeri (08.2014 - 08.2014)

TEMSA, Kalite ve İnovasyon Bölümü Stajyeri, ADANA

ULUSLARARASI BİLDİRİLER

1- Şahin, A.Ş., Sayer, S., Yeni, E.Ç. ve Yaşar, A., 2017, Production of natural fiber reinforced composite materials from thermoplastic process wastes, *5. International Polymeric Composite Symposium and Workshops.*

ULUSAL BİLDİRİLER

1- Şahin, A.Ş. ve Sayer, S., 2019, The Influence of Natural Fiber Reinforcement on the Mechanical Properties of Polyolefin-Based Hybrid Composites, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Ref.No PAJES-05152. (yayın kurulu değerlendirmesinde).*