

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK BİTKİ ESASLI KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİ VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALPER DEMİR

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK BİTKİ ESASLI KOMPOZİT
MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALPER DEMİR
(162081903)**

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ

TEMMUZ 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162081903 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Alper DEMİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK BİTKİ ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ali ERMEYDAN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL
Uludağ Üniversitesi

Savunma Tarihi : 29 Temmuz 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Alper Demir

İmzası :

X X X X X

Yalnızca kendi bilgisiyle bir yere gelen, var olan ve kendisine kendisini referans yapan Gazi Mustafa Kemal Atatürk ve onun gibi nicelerine,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada biyopolimer ve doğal liflerin kompozitlere etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmalar hem sonlu elemanlar analizi ile hem de kompozitin sıcak pres yöntemiyle üretilerek mekanik testlerinin yapılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışmanım, sayın hocam Doç. Dr. Hüseyin Lekesiz'e, gerekli malzemelerin temini ve orman endüstri mühendisliği laboratuvarlarının kullanımında benden desteklerini hiç esirgemeyen Biyokompozit Mühendisliği Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Sami İmamoğlu, Doç. Dr. Murat Ertaş, Doç. Dr. Oktay Gönültaş'a, gerekli mekanik testler ve sonlu elemanlar yöntemi konusunda bana yardımcı olan Makine Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Safa Şenaysoy'a, benden yardımını hiç esirgemeyen okul ve bölüm arkadaşım Biyokompozit Mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Onur Aykanat'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2019

Alper Demir

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR.....	viii
SEMBOLLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Önemli Tanımlar	3
1.2.1 Kompozit.....	3
1.2.2 Kompozit elemanlar.....	3
1.2.3 Kompozit malzeme	3
1.2.4 Doğal kompozitler.....	3
1.2.5 Yapay kompozitler.....	4
1.2.6 Kompoziti oluşturan temel malzemeler	4
1.2.7 Kompozit malzemelerin ana bileşenleri.....	4
1.2.8 Kompozitlerin avantajları ve dezavantajları	4
1.2.9 Kompozitlerin kullanım alanları	5
1.2.10 Matris malzemesine göre kompozitler	9
1.2.10.1 Polimer matrisli kompozitler	9
1.2.10.2 Seramik matrisli kompozitler.....	11
1.2.10.3 Metal matrisli kompozitler.....	11
1.2.11 Takviye malzemesine göre kompozitler	12
1.2.11.1 Elyaf takviyeli kompozitler.....	12
1.2.11.2 Parçacık takviyeli kompozitler.....	14
1.2.11.3 Tabakalı kompozitler	15
1.3 Kompozit üretim yöntemleri	15
1.3.1 El yatırma yöntemi	15
1.3.2 Püskürtme yöntemi.....	16
1.3.3 Sürekli kalıplama yöntemi	17
1.3.4 Elyaf sarma yöntemi.....	18
1.3.5 Torba ile kalıplama.....	19
1.3.6 Kapalı döküm yöntemi	20
1.3.7 Sıcak presleme yöntemi	21
1.3.8 Toz metalurjisi yöntemi	21
1.3.9 Sıvı metal emdirme yöntemi	21
1.3.10 Elektroliz yöntemi	22
1.3.11 Buhar çökeltme yöntemi	22
1.3.12 Yüksek performanslı kompozit üretimi.....	22

1.4 Biyobozunurluk	23
1.5 Biyopolimer.....	23
1.6 Biyokompozit	24
1.7 Polilaktik Asit (PLA)	24
1.8 Polipropilen (PP)	26
1.9 Keten Lifi	27
1.10 Jüt Lifi	30
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	33
2.1 Literatür Özeti	33
2.2 Hipotez	35
3. MATERYAL VE METOT	36
3.1 Materyal	36
3.1.1 Matris malzemeleri	36
3.1.1.1 Polilaktik asit (PLA)	36
3.1.1.2 Polipropilen (PP).....	36
3.1.2 Takviye malzemeleri.....	36
3.1.2.1 Keten lifi	36
3.1.2.2 Keten kumaşı.....	36
3.1.2.3 Jüt lifi	36
3.1.2.4 Jüt kumaşı	37
3.2 Metot	37
3.2.1 Biyokompozit üretimi	37
3.2.1.1 Ön test aşaması.....	38
3.2.2 Üretilen biyokompozitin mekanik testleri.....	47
3.2.2.1 Çekme Testi	49
3.2.2.2 Üç nokta eğme testi deneyi	55
3.2.3 Üretilen biyokompozitte kullanılan lif ve kumaşların mekanik testleri	57
3.2.3.1 Lif çekme testleri	58
3.2.3.2 Kumaş çekme testleri	59
4. TEORİK MUKAVEMET YAKLAŞIMI VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	61
4.1 Basit Mukavemet Yaklaşımı:	61
4.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Torpido Gözü Analizi.....	62
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	65
5.1 Çekme Testi Sonuçları	65
5.1.1 Lif ve Kumaş Çekme Testi Sonuçları	65
5.1.2 Saf Matris Çekme Deneyi Sonuçları	68
5.1.3 Kompozit çekme deneyi sonuçları	69
5.2 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları	71
5.3 Analitik Yaklaşım ve Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	80
6.2 Sonuçların Genel Olarak Yorumlanması	80
6.2.1 Kullanılan yöntem.....	80
6.2.2 Kullanılan malzemelerin çevrim özelliği	81
6.2.3 Olumlu sonuçlar	81
6.2.4 Hipotezlere göre sonuçların yorumlanması	82
6.3 Öneriler.....	84
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMALAR

PLA	: Polilaktik Asit
PP	: Polipropilen
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi



SEMBOLLER

t	: Kalınlık
G	: Kayma modülü
E	: Elastisite modülü
ν	: Poisson oranı
E_m	: Matris malzemesinin elastisite modülü
G_m	: Matris malzemesinin kayma modülü
E_f	: Fiber malzemesinin elastisite modülü
G_f	: Fiber malzemesinin kayma modülü
ν_m	: Matris malzemesinin poisson oranı
ν_f	: Fiber malzemesinin poisson oranı
t_f	: Fiber malzemesinin kalınlığı
t_m	: Matris malzemesinin kalınlığı
t_c	: Kompozitin kalınlığı
A_f	: Fiber malzemesinin alanı
A_m	: Matris malzemesinin alanı
A_c	: Kompozitin alanı
E_1	: 1 yönünde elastisite modülü
E_2	: 2 yönünde elastisite modülü
G_{12}	: 1-2 doğrultusunda poisson oranı
ν_{12}	: 1-2 doğrultusunda kayma modülü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem sıcaklıkları..... 10



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kompozit malzemenin yapısı	4
Şekil 1.2 : Kompozit çelik yelek.....	5
Şekil 1.3 : Boeing 787 model uçakta kullanılan malzemeler	6
Şekil 1.4 : Yapı sektöründe kompozit malzeme.	7
Şekil 1.5 : Onyx konsepti peugeot.	7
Şekil 1.6 : Yat imalatında kompozit malzeme	8
Şekil 1.7 : Diş hekimliğinde kompozit	9
Şekil 1.8 : Sürekli fiber takviyeli kompozitler.....	13
Şekil 1.9 : Kısa elyaf takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı	13
Şekil 1.10 : Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş MMK yapısı	14
Şekil 1.11 : Parçacık takviyeli kompozit	14
Şekil 1.12 : Tabakalı kompozit.....	15
Şekil 1.13 : El yatırma yönteminin şematik görünümü	16
Şekil 1.14 : Püskürtme yöntemi ve püskürtme tabancası	17
Şekil 1.15 : Devamlı levha üretim yöntemi imalat şeması	17
Şekil 1.16 : Profil çekme yöntemi üretim şeması	18
Şekil 1.17 : Filament sarma yöntemiyle elde edilebilecek geometriler.....	18
Şekil 1.18 : Filament sarma yönteminin şematik gösterimi	19
Şekil 1.19 : Otoklav yöntemi imalat şeması	20
Şekil 1.20 : Toz metalurjisi yöntemi üretim şeması	21
Şekil 1.21 : Yüksek performanslı kompozit üretim şeması.....	23
Şekil 1.22 : Biyoplastik bir çatalın 45 gün içerisinde doğaya karışımı	23
Şekil 1.23 : PLA'nın kimyasal formülü ve üç boyutlu görünümü	25
Şekil 1.24 : Monomer PP ve polimer PP'nin kimyasal formülü	26
Şekil 1.25 : Keten bitkisi	27
Şekil 1.26 : Keten lifinin enine kesiti ve bölümleri	28
Şekil 1.27 : Keten kumaşı.....	30
Şekil 1.28 : Jüt ipliği, kumaşı ve çeşitli kullanım alanları (halı, çuval, çanta).....	31
Şekil 1.29 : Jüt bitkisi ve elde edilmesi	32
Şekil 3.1 : Carver markasının 4122CE model sıcak pres cihazı.....	38
Şekil 3.2 : Keten/PLA kompozitinin kalıba yerleşimi.....	39
Şekil 3.3 : PLA'nın ve keten kumaş'ın kalıp içersine yerleştirilmesi	39
Şekil 3.4 : Ön test deneyi sonucu üretilen PLA/Keten kompozitinin üstten ve alttan sırayla görüntüsü	40
Şekil 3.5 : Ön test deneyi sonucu üretilen PLA/Jüt kompozitinin üst ve alt görünütleri.....	40
Şekil 3.6 : Üretilen PLA plakası	42
Şekil 3.7 : Kalıbın köşelerine ulaşamayan PLA tabakası	44
Şekil 3.8 : Jüt/PLA kompoziti	45
Şekil 3.9 : Keten/PLA kompoziti.....	46

Şekil 3.10 : Saf PLA plakası.....	47
Şekil 3.11 : Kare numunenin lazer kesimle hazırlanması.....	48
Şekil 3.12 : Çekme ve üç nokta eğme testi numunesi	48
Şekil 3.13 : Çekme Deneyinde kullanılan üniversal çekme cihazı ve tutucu çeneler	49
Şekil 3.14 : Test edilmiş saf PLA plakası çekme numuneleri	51
Şekil 3.15 : Test edilmiş keten/PLA kompoziti çekme numuneleri	53
Şekil 3.16 : Test edilmiş jüt/PLA kompoziti çekme numuneleri.....	55
Şekil 3.17 : Biyokompozit üç nokta eğme testi	56
Şekil 3.18 : Shimadzu® 5 kN elektromekanik çekme cihazı –lif çekme çenesi	57
Şekil 3.19 : Keten lifi çekme deneyi.....	58
Şekil 3.20 : Jüt kumaşı çekme deneyi.....	59
Şekil 3.21 : Keten kumaşı çekme deneyi	60
Şekil 4.1 : Tek yönlü fiber destekli kompozit için temsili hacim eleman ve büyüklükler	62
Şekil 4.2 : Torpido Gözü Mesh yapısı, sınır koşulları ve malzeme girişi	64
Şekil 5.1 : Jüt İplik Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler)	65
Şekil 5.2 : Keten İplik Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler)	66
Şekil 5.3 : Jüt Kumaş Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler)	66
Şekil 5.4 : Keten Kumaş Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).....	67
Şekil 5.5 : Saf PP Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler)	68
Şekil 5.6 : Saf PLA Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler)	68
Şekil 5.7 : PP/Jüt kompoziti çekme numuneleri grafiği	69
Şekil 5.8 : PP/Keten kompoziti çekme numuneleri grafiği	69
Şekil 5.9 : PLA/Jüt kompoziti çekme numuneleri grafiği	70
Şekil 5.10 : PLA/Keten kompoziti çekme numuneleri grafiği	71
Şekil 5.11 : PP/Jüt için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği	72
Şekil 5.12 : PP/Keten için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği	73
Şekil 5.13 : PLA/Jüt için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği	73
Şekil 5.14 : PLA/Keten için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği	72
Şekil 5.15 : Saf PP Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı	76
Şekil 5.16 : Saf PLA Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı	76
Şekil 5.17 : PP/Jüt Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı	77
Şekil 5.18 : PP/Keten Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.....	77
Şekil 5.19 : PLA/Jüt Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı	78
Şekil 5.20 : PLA/Keten Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.....	78

OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK BİTKİ ESASLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmanın ana amacı, bitki esaslı polimer ve doğal liflere dayanan Otomotiv sektörüne yönelik biyokompozit bir malzeme üretmek, bunu daha önce üretilmiş petrol bazlı polimer matrise dayanan kompozitlerle, mekanik özellikler bakımından karşılaştırmak ve biyokompozitlerin otomotiv sektöründe nasıl kullanılabileceğini tespit etmektir. Ayrıca dünyada kullanım alanı hızla gelişmekte olan, bitkilerden elde edilen biyobozunur, tekrar kullanılabilir ve insan sağlığına zararlı olmayan polimerler ile yine bitkilerden elde edilen doğal liflerin kompozit olarak adlandırılan malzemede etkileşimi incelemek hedeflenmiştir.

Dünyada gelişen teknolojiyle beraber aynı oranda var olan doğal kaynakların (Petrol,doğal gaz vb.) azalması bilim insanlarını, devletleri ve şirketleri yeni malzeme arayışlarına itmiştir. Bunun polimer ve polimer matrisli ya da takviyeli kompozit sektöründeki karşılığı geridönüştürülebilir polimerler olmuştur. Geridönüştürülebilir polimerler ikiye ayrılır; tekrar kullanılabilir petrol bazlı termoplastikler ve bitki bazlı biyopolimerler. Birinci seçenek ekonomik olarak avantajlı olsa da sağlık ve insan popülasyonunun artışı göz önüne alındığında kısa vadede geçerli olan bir çözümdür. İkinci seçenek ise bitkilerden elde edilen polimerlerin insan sağlığına zarar vermemesi ve her zaman bitki yetiştirilerek üretilmesi ve sekonder polimer olarak yine kullanılabilmesi sağlıklı yaşam, geridönüşüm ve kaynak kısıtlaması olmaması bakımından çok uzun vadeli bir çözüm olarak görünmektedir.

Öte yandan, otomotiv sektöründe de hammadde sıkıntısı ve geridönüştürülebilirlik bakımından yeni nesil malzeme arayışı sürmektedir. Ayrıca bazı otomobil şirketleri yukarıda sayılan iki malzeme seçeneği ile ilgili Ar-ge çalışmaları yapmakta, çeşitli öneriler sunmakta ve uygulamaktadırlar. Türkiye’de ise otomotiv sektörü açısından biyopolimer ve biyokompozit malzemelerin kullanımı henüz tam gelişmemiştir. Dünyada literatüre bakıldığında, biyokompozit sadece petrol bazlı polimere takviye edilmiş biyoliflerle (Doğal lif) üretilmiştir. Örneğin, Mercedes ® firmasının ürettiği iç ve dış panel ya da iç ve dış trim parçası olarak kullanılmak üzere tasarlanmış keten takviyeli polipropilen (PP) matrisli kompozitler söz konusudur.

Bu çalışmada %100 biyomalzemedan yapılmış, biyobozunur ve çevre dostu bir biyokompozit üzerinde çalışılmıştır. Mercedes® örneğindeki petrol bazlı polimere takviye edilmiş doğal lifli kompozitteki PP çıkararak yerine Polilaktik Asit (PLA) kullanılmıştır. Ayrıca keten lifine alternatif olarak ucuz olması nedeniyle Jüt lifi de çalışılmıştır. Keten/PLA, Jüt/PLA kompozit plakalar, granül halindeki katkısız PLA ve dokunmuş (woven) haldeki keten ve jüt kumaşlar kullanılarak sıcak presleme yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca kıyaslama amacıyla aynı şekilde keten/PP ve Jüt/PP kompozit plakalar ve numuneler elde edilmiştir. Bu plakalardan lazer kesim yöntemiyle çekme ve üç noktalı eğme testleri için numuneler kesilmiştir. Bu

numuneler, universal bir çekme cihazında uluslararası standartları yakalamaya özen gösterilerek test edilmiş ve kuvvet-deplasman verileri elde edilmiştir.

Kompozit teorisini kullanarak, sonlu elemanlar simülasyonuna malzeme özellikleri girdisi elde edebilmek amacıyla tüm bileşenler ayrıca tekil olarak çekme testine tabii tutulmuştur. Örnek bir otomotiv parçası olarak torpido gözü seçilmiş ve bu parça için elde edilen malzeme özellikleri ve kompozit teorisine dayanarak sonlu elemanlar simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Hem kompozitin mekanik testleri hem de sonlu elemanlar simülasyonlarına bakarak, %100 bitkisel bazlı kompozitlerin, petrol bazlı kompozitlere alternatif olup olamayacağı tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyokompozit, Biyopolimer, PLA, Keten, Jüt, Sonlu Elemanlar Analizi, Mekanik Testler.



PRODUCTION AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF BIOCOMPOSITES FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

The main purpose of this study is to produce a biocomposite material for the automotive sector based on plant based polymers and natural fibers, to compare this with the previously produced petroleum based polymer matrix composites in terms of mechanical properties and to determine how biocomposites can be used in the automotive industry. In addition, it is aimed to examine the interaction of biodegradable, reusable and non-harmful polymers obtained from plants with the rapidly developing field of use in the world and the natural fibers obtained from plants in composite materials.

Decreasing natural resources (oil, natural gas, etc.) with the developing technology in the world has pushed scientists, governments and companies to search for new materials. The equivalent in the polymer and polymer matrix or reinforced composite sector was recyclable polymers. Recyclable polymers are divided into two; reusable petroleum-based thermoplastics and plant-based biopolymers. Although the first option is economically advantageous, it is a viable solution in the short term given the increase in health and human population. The second option seems to be a long-term solution in terms of healthy living, recycling and resource constraints since the polymers obtained from plants do not harm human health and can always be produced and grown as plants and used as secondary polymers.

On the other hand, in the automotive sector, the search for a new generation of materials continues in terms of shortage of raw materials and recyclability. In addition, some automobile companies carry out R & D studies on the two material options listed above, and offer and implement various recommendations. In Turkey, the use of biopolymers and biocomposite materials for the automotive sector is not yet fully developed. In the world literature, biocomposites are produced with bioliphs (natural fibers) supplemented only with petroleum-based polymer. For example, there are flax reinforced polypropylene (PP) matrix composites designed by Mercedes ® for interior and exterior panels or interior and exterior trim parts.

In this study, a biodegradable and environmentally friendly biocomposite made of 100% biomaterial has been studied. Polylactic Acid (PLA) was used instead of PP in the natural fiber composite reinforced with petroleum-based polymer in the Mercedes® sample. Jute fiber was also studied as an alternative to flax fiber. Flax / PLA, Jute / PLA composite plates were obtained by hot pressing by using plain PLA in granular form and woven flax and jute fabrics. Flax / PP and Jute / PP composite plates and samples were also obtained for comparison. Samples were cut from these plates for tensile and three-point bending tests by laser cutting method. These

samples were tested in a universal tensile device taking care to meet international standards and force-displacement data were obtained.

Using the composite theory, all components were individually subjected to tensile testing in order to obtain material properties input to the finite element simulation. The glove compartment was chosen as an exemplary automotive part and finite element simulations were performed based on the material properties and composite theory required for this part. Both the mechanical tests of the composite and the finite element simulations, it is discussed whether 100% plant based composites can be an alternative to petroleum based composites.

Keywords: Biocomposite, Biopolymer, PLA, Flax, Jute, Finite Element Analysis, Mechanical Testings.



1. GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kompozit malzeme ile makine parçaları özellikle de otomotiv aksamaları üretimi hızla artmaktadır. Otomotiv firmaları kompozit iş parçalarını üretirken en fazla polimer matrisli kompozitleri tercih etmektedir. Bunun en önemli sebebi polimerlerin (plastiklerin) diğer malzeme türlerine göre ucuz olmasıdır. İnsanın bilimsel gelişimi ve geleceği açısından polimerlerin devre dışı kalmayacak bir öneme sahip olduğu gayet açıktır. Polimerlerin dezavantajı petrol türevi olması yani kaynaklarının sınırlı olması ve çevreyi kirletmesi, canlıların yaşam alanını kısıtlamasıdır.

Polimerlerin üretiminden kullanıldığı çeşitli sektörler kadar (ambalaj, otomotiv, sağlık) çevreyi kirlettiği ve insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir. Sağlık sektöründe sterilize edilmesinden ötürü, ambalaj sektöründe plastiklerin hemen harcanması ve tüketilmesinden ötürü insana olan etkisi en asgari seviyeye indirilebilir. Fakat otomotiv sektöründe bu mümkün değildir. Öte yandan, otomobillerde kompozit aksamaların kullanımı günümüzde araç ağırlığı yüzdesi bakımından önemli seviyelere ulaşmıştır. Bu seviye polimerlerin yüksek ısı ya da güneş ışığında bozunmasından dolayı özellikle iki yerde önemli sağlık sorunlarına yol açacaktır.

1-Bu kompozit ağırlıklı araçları üreten fabrikalardaki işçiler yoğun sıcaklıkta yahut güneş ışığına maruz kalan yerlerde polimerin bozunmasından ötürü çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri görülmektedir. Ayrıca evlerinde yahut bulundukları herhangi bir ortamdaki kişilerinde sağlık durumunu bozma ihtimalleri olacaktır.

2-Yine polimer matris kompozitle üretilmiş bir araçta, aracı kullanan bir kişi sıcak bir günde araba kullandığında ya da arabasını güneşe açık bir yerde bir otoparka bıraktığı zaman her iki durumda da sağlık durumunun bozulma ihtimali olacaktır.

Bu soruna en büyük dayanak, otomotiv firmalarının arabaların iç ve dış panellerini ve araçların iç döşeme parçalarını bu yolla üretmesi ya da yüzde olarak her araçta bunu arttırmak istemesidir. Bu durum uzun vadeli direkt ve dolaylı olarak yaşanacak

bir hadisedir. Bir şehrin nüfusunun yarısında polimer matris kompozitle üretilmiş parçalar içeren otomobiller ya da toplu taşıma araçları mevcut olduğu düşünüldüğünde, o şehirde yaşayan bir çok insan kanserojen etkiye maruz kalacaktır.

Günümüzde büyük önem arzeden bu soruna biyo-esaslı yöntemlerle üretilmiş polimer matrisli ve takviyeli kompozitlerle çözüm bulabileceği öngörülmektedir. Biyokompozit olarak tarif edilen bu malzeme türü bitkilerden elde edilen polimerlerden üretilmektedir. Ayrıca bozunsu bile insan vücuduna katılım göstermektedir. Kanseröjen bir etkisi yoktur. Vücut içi biyomalzeme olarak da kullanılmaktadır. Buna dayanarak, yukarıda tariflenmiş olan sorunun açık bir çözümü de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründeki bu soruna çözüm olabilecek ya da en azından çözüm örneği sunabilecek bir biyolif takviye/ biyopolimer matris esasına dayanan bir kompozit üretilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında temel hedef önce %100 biyopolimere dayanan bir biyokompozit üretmek ardından bunu mekanik testler ışığında bir otomobil parçasına uyarlayarak, bitki esaslı polimer matris/bitki esaslı polimer lif temeline dayanan biyokompoziti, bilimsel literatüre ve endüstriye kazandırmaktır. Bu çalışmanın olumlu sonuçlanmasıyla uzun vadede üç ana hedef ortaya konmaktadır:

- Otomobil üretiminde sağlık için olumsuz etkilere sahip petrol bazlı kompozit kullanımı en minimum seviyeye düşecek, bir süre sonra tamamen ortadan kalkacaktır. Böylece bireysel ve toplu taşıma araçlarındaki sağlık açısından oluşacak riskler bütünüyle ortadan kalkacaktır.
- Petrol türevlerinden polimer üretiminde dışa bağımlı olan ülkemiz otomotiv sektörüne bitki esaslı kompozitlerin (Biyokompozitlerin) hâkim olmasıyla bu bağlamda dışa bağımlılıktan kurtulacaktır.
- Biyokompozitlerin otomotiv sektöründe kendini ispatlamasıyla diğer iş kolları (Makine, uçak sanayi, sağlık sektörü vb.), hızla biyopolimer ve biyokompozitlere geçiş yaparak her alanda dışa bağımlılığımız azalacak ve insan sağlığı bakımından riskler en asgari düzeye inecektir.

1.2 Önemli Tanımlar

1.2.1 Kompozit

Sözlükte kompozit "karma" anlamında kullanılmaktadır. Mimarlık alanında ise "değişik tarzları bir arada taşıyan." anlamına gelmektedir.

1.2.2 Kompozit elemanlar

Farklı cins malzemelerden oluşup, homojen bir yapıya sahip olmayan elemanlara kompozit elemanlar denir.

1.2.3 Kompozit malzeme

Farklı ya da aynı grupta bulunan malzemelerin en iyi özelliklerini tek ve yeni bir malzemede toplamak için birbirlerinden farklı şekil veya malzeme konsantrasyonuna sahip, ayrıca birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla makro bileşenin karışımından ya da birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir.

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için;

- Kompoziti oluşturan bileşenlerin farklı kimyasal kompozisyona sahip olmaları,
- Bileşenlerin birbiri içerisinde çözünmemeleri gerekir.

Kompozitler doğal ya da yapay (insan yapımı) olabilir.

1.2.4 Doğal kompozitler

Doğal kompozitlere hayvan ve bitkilerde de rastlanmaktadır. Örneğin ağaç bir kompozittir - ligin adı verilen çok daha zayıf bir madde ile bir arada tutunan uzun selüloz liflerinden (bir tür polimer) oluşur [1]. Selüloz aynı zamanda pamuğun içinde de bulunur, fakat onu bağlayan ligin maddesi olmadan pamuk çok daha mukavemetsizdir. İki zayıf madde – lignin ve selüloz – birlikte çok daha güçlü bir malzeme oluştururlar. Vücudumuzdaki kemikler de doğal kompozitlere güzel bir örnektir. Hidroksiapatit (ağırlıkla kalsiyum fosfattan oluşan) denilen sert fakat kırılğan malzeme ve kollajen (bir protein türü) adı verilen yumuşak ve esnek bir malzemeden oluşur.

1.2.5 Yapay kompozitler

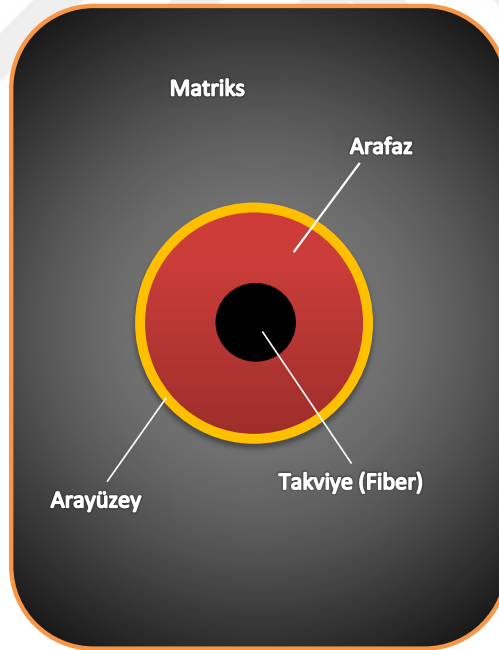
İnsanların çeşitli proseslerle, aynı ya da farklı malzeme gruplarıyla üretmiş olduğu kompozitlerdir.

1.2.6 Kompoziti oluşturan temel malzemeler

Bir kompoziti oluşturan temel malzemeler, matris malzemeleri, takviye malzemeleri, bağlayıcı malzemeler (termoset reçineler veya termoplast reçineler), katkı malzemeleri ve dolgu malzemeleridir.

1.2.7 Kompozit malzemelerin ana bileşenleri

Şekil 1.1’de bir kompozit malzemenin ana bileşenleri görülmektedir. Matris fazı sürekli ve ana fazdır. Takviye fazını matris fazı sayesinde bir arada kalır. Ayrıca yükü aralarında paylaşırlar. Takviye fazı kompozitin yapısında ikincil fazdır, matris malzemesinin rijitlik ve dayanımını artırır. Matris ile takviye fazı arasında ise arayüzey fazı bulunur. Arayüzey fazı fiziksel, kimyasal, mekanik yapışmayı belirler.



Şekil 1.1: Kompozit malzemenin yapısı [2].

1.2.8 Kompozitlerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemeler birçok bakımdan metal malzemelere göre farklılıklar gösterir. Bundan dolayı metal malzemelere göre daha fazla önem kazanmışlardır. Kompozitlerin yoğunluklarının diğer malzemelere göre düşük olması hafif yapılarda

kullanılması için büyük bir avantaj sağlamaktadır [3]. Bunun yanında fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyon dirençleri, elektrik, ısı ve ses yalıtımına sahip olmaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır. Kompozitlerin metallere kıyasla sağladıkları en önemli avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet
- Yüksek mukavemet
- Kalıcı renklendirme
- Isıya ve ateşe dayanıklılığı
- Baskı

1.2.9 Kompozitlerin kullanım alanları

Kompozit malzemeler üstün mekanik özelliklerinden dolayı savunma sanayinden otomotiv sektörüne kadar bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu alanların hepsi aşağıda sıralanmaktadır.

- **Savunma sanayi**

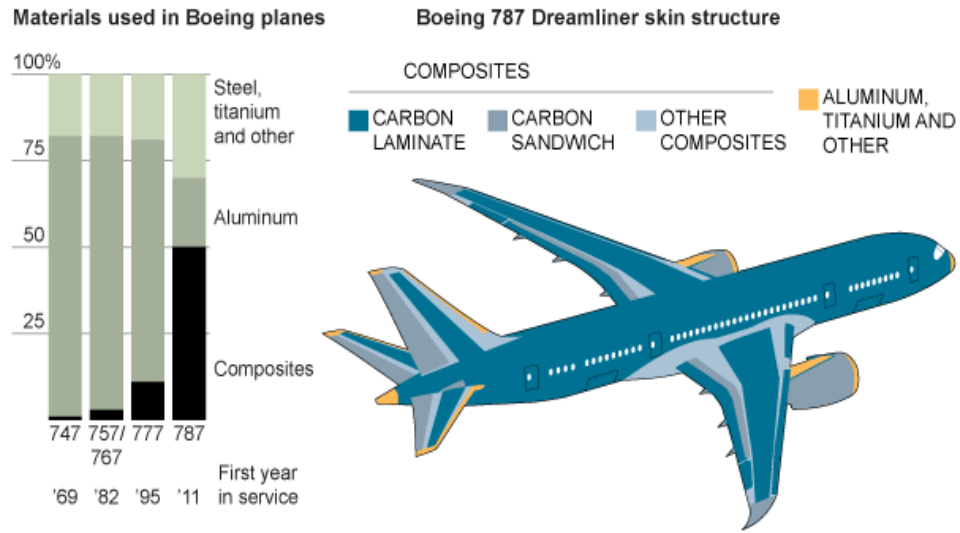
Hafifliğinden ve darbe dayanımından ötürü kompozitler ateşli silahlara karşı bir zırh şeklinde üretilmeye başlanmıştır (Şekil 1.2). Ayrıca zırh yapımı ile ilgili ar-ge çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır.



Şekil 1.2 : Kompozit çelik yelek [4].

- **Uzay teknolojisi ve havacılık sektörü**

Kompozit malzemelerin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri temel alınarak uçaklarda ve helikopterlerde iç mekân tasarımında, yapısal malzeme üretiminde kullanılmaktadır [4]. Şekil 1.3’de Boeing 787 model uçakta kullanılan malzemeler görülmektedir ve kompozitlerin oranının yıllar içinde %50’ye geldiği gösterilmektedir.



Şekil 1.3 : Boeing 787 model uçakta kullanılan malzemeler [4].

- **İnşaat sektörü**

Kompozitler inşaat sektöründe hafifliklerinin yanı sıra fonksiyonel özelliklerinden dolayı da tercih edilmektedirler. Su geçirmezliği önleme, ses yalıtımı, mukavemet ve ısı yalıtımı gibi özelliklerinden dolayı da tercih edilmektedirler. Şekil 1.4’de yapı sektöründe kullanılan örnek bir malzeme gösterilmiştir.



Şekil 1.4 : Yapı sektöründe kompozit malzeme [4].

- **Otomotiv sektörü**

Kompozitlere yoğunluğunun düşük olması ve yüksek mukavemetleri nedeniyle otomotiv sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Akışkan dinamiği de temel alınarak aracın hızlanma süresi, yakıt verimi yine kompozit malzemenin kullanımına göre değişebilmektedir [4]. Örneğin, filtre kutusu %35 Cam ve Poliamid 66'dan, pedallar %40 Cam ve Poliamid 6'dan, dikiz aynası % 30 Cam ve ABS'den, hava giriş manifoldu %30 Cam ve Poliamid 6'dan üretilmektedir. Şekil 1.5'te Peugeot ® firmasının Onyx konsepti arabasında geniş bir şekilde kullanılan kompozit kısımlar görülmektedir.



Şekil 1.5 : Onyx konsepti peugeot [4].

- **Ulaşım sektörü**

Kompozitler ulaşım sektöründe motorlu araçlar için kabin ve kaporta gibi yerlerde kullanılırlar. Tren ve otobüs gibi araçlar için oturma birimlerinde kullanılmaktadırlar. Aynı zamanda yatların yapımında çok yoğun olarak cam elyaf takviyeli reçine kompozitler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 1.6)



Şekil 1.6 : Yat imalatında kompozit malzeme [4].

- **Sağlık sektörü**

Kompozitler, sağlık sektöründe implant, dikiş ipliği, protez gibi ürünler halinde kullanılırlar. Kompozitler bu sektörde genel olarak insan için adeta bir tamamlayıcı olarak kullanılırlar. İmplant dişler bunun en güzel örnekleridir.

Bunun yanı sıra ortodontik teller; cam lif ile güçlendirilmiş naylon, polipropilen, polimetilmetakrilattan üretilirler. Düşük maliyeti ve kolay hazırlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı kollajen, cam ya da kevlar ile güçlendirilmiş polimetilmetakrilat kompozitler ise köprü olarak kullanılırlar [4]. Şekil 1.7’de dişçilikte kullanılan kompozit beyaz dolguların diğer dolgular arasındaki yeri görülmektedir.



Şekil 1.7 : Diş hekimliğinde kompozit [4].

1.2.10 Matris malzemesine göre kompozitler

1.2.10.1 Polimer matrisli kompozitler

İlk modern sentetik polimerlerin 1900'lü yılların başında ortaya çıkmasının ardından, 1930'ların sonunda polimer malzemelerin özellikleri diğer malzeme türleriyle rekabet edecek seviyeye gelmeye başlamıştır. Şekillendirilebilme kolaylığı , metallere göre daha düşük yoğunluğa sahip olması, yüzey kalitesinin üstünlüğü ve korozyona karşı direnci polimerin popüler hale gelmesindeki en önemli etkenlerdir [5].

Üstün özelliklerinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olmasından dolayı polimerik malzemelerin güçlendirilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaya başlamıştır. Bu noksanlığın giderilmesi ya da azaltılması amacıyla 1950'li yıllarda polimer matrisli kompozitler geliştirilmiştir. Polimer matrisli kompozitler mukavemeti yüksek, termal kararlılık gösteren malzemelerdir. Ayrıca sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi pek çok özellikleriyle diğer malzeme gruplarına göre avantajlar sunmaktadırlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasına rağmen çok daha hafiftirler [7].

Polimer matrisli kompozitler reçine (Matrix) ve takviye (Reinforcement) malzemelerinden meydana gelirler. Kompozitler genellikle kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşan bir yapı içermektedirler.

Elyaf sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri sağlar. Polimer reçine ise elyafın yapısal bütünlüğünün oluşması için birbirine bağlanması, yükün elyaf arasında eşit şekilde dağıtılmasını sağlar. Ayrıca takviye malzemesinin kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından muhafaza edilmesini sağlar.

Bu özellikleri büyük ölçüde sağlayan polimer bazlı matrisler Termoset ve Termoplastik Matrisler olmak üzere ikiye ayrılır:

Termoset matrisler

Termoset esaslı kompozit matrisleri en çok tercih edilendir. Çünkü termoset polimerler sıvı haldedirler, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termosetlerin polimerizasyon süreci termo plastiklerden farklı olarak geridönüşümü sağlanamayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklar bile termosetleri yumuşatamazlar. Termosetlerin çoğu matris sertleşmemeleri için dondurulmuş halde depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiği zaman sertleşmeye başlarlar. Daha sonra özelliklerini kaybederek biçim verilemeyecek bir hal alırlar .Bu süreçten sonra kullanılamaz hale gelirler. Dondurucu içinde kalmak kaydıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişebilmektedir. Kimyasal etkiler altında termoset reçineler çözülmez ve olağan dışı hava şartları olduğu zamanlar dahi uzun ömürlü olmaktadır.

Termoplastik matrisler

Çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen termoplastik polimerlerin matris olarak kullanılması sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar. Isıtıldıkları zaman ise yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha azdır. Bunun yanı sıra hammaddenin raf ömrünün uzun olması, üstün kırılma tokluğu, geri dönüşüm kapasitesi gibi önemli avantajları vardır. Ayrıca sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlamaktadır. [5] Bununla beraber, şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunur. Termoplastikler soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler çarpma dayanımı ve yüksek sertlik özelliğine de sahiptirler.

Çizelge 1.1 : Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem sıcaklıkları [8].

Malzeme	Erime sıcaklık aralığı (°C)	Maksimum işlem sıcaklığı (°C)
PP	160-220	110
PA	220-270	170
PES-Polieter sülfon	-	180
PEI-Polieterimid	-	170
PAI-Poliamid imide	-	230
PPS-Polfenilen sulfit	290-340	240
PEEK-Polieter eter keton	350-390	250

Matris malzemesi olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni termoplastiklerin üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlamaktadırlar. Bu da onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere getirebilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalıdır.

1.2.10.2 Seramik matrisli kompozitler

Seramikler, metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşikler olup doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir.

Seramikler iyonik ya da iyonik + kovalent bağa sahip oldukları için çok kararlı malzemeleridir. Fakat seramikler gevrek ve darbe direnci düşük malzemelerdir.

Buna karşın seramik malzemelerin kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılma sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sertlik
- Kimyasal kararılık
- Erozyon ve aşınmaya karşı direnç
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık
- Hafiflik

Üç tip seramik matrisli kompozit malzeme vardır; Sürekli fiberli kompozitler, süreksiz fiberli kompozitler ve partiküllü kompozitler.

1.2.10.3 Metal matrisli kompozitler

Metaller, sünekliği ve tokluğu iyi olan malzemelerdir. Metal matrisli kompozitler seramiklerin yüksek mukavemet ve elastisite modülü özelliklerinden faydalanılarak, metallerle bir araya getirilmesiyle oluşan kompozitlerdir. Bu kompozitler yüksek elastiklik modülü ve mukavemet, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme, düşük yoğunluk gibi önemli özellikleri içermektedir.

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük

yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları ise Al_2O_3 , SiC, bor, TiC ve karbondur.

1.2.11 Takviye malzemesine göre kompozitler

1.2.11.1 Elyaf takviyeli kompozitler

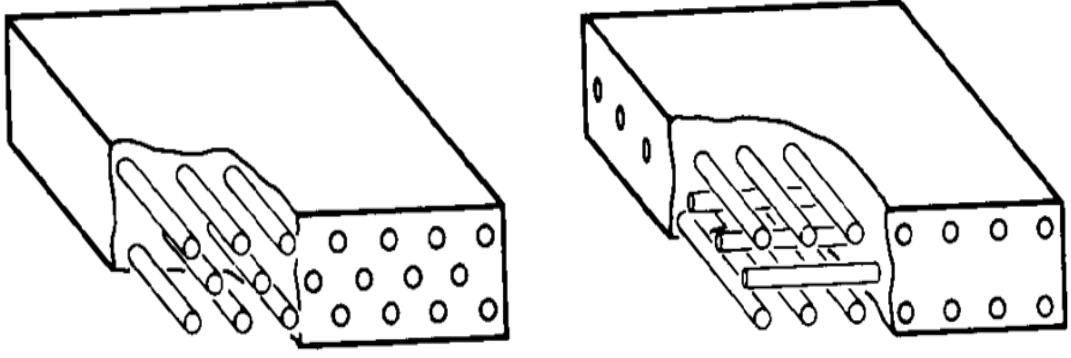
Fiberlerin bir araya gelmesiyle elyaflar meydana gelir. Elyaflar matris içinde yöne bağlı olarak takviye edilerek kompozite çeşitli mekanik özellikler kazandırır. Çünkü elyafların matris içindeki görevi yükü matrisle paylaşmak ve yükün çoğunu taşımaktır. Elyaf takviyesi bir kompozite genel olarak şu özellikleri kazandırır:

- Özgül dayanım
- Özgül modül
- Çekme dayanımı
- Yorulma dayanımı

Ayrıca elyafın yönlendirilmesine göre kompozit izotropik ya da anizotropik özellik kazanabilir. Elyaf takviyeli malzemeler üçe ayrılır: Sürekli elyaf takviyeli kompozitler, kısa elyaf takviyeli kompozitler ve rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş kompozitler

Sürekli elyaf takviyeli kompozitler

Bu kompozit türünde uzun elyaflar kullanılır. Elyaflar istenildiği yönde ve açıda takviyelendirilebilir. Uzun elyaflar kullanıldıkları yönde kompozitlerin çekme mukavemetini maksimuma çıkarırlar. Buna karşın elyafa dik yönde uygulanan kuvvete karşı daha düşük bir direnç gösterirler. Bunu da karşılamak için Şekil 1.8’ de görüldüğü gibi iki boyutlu ve üç boyutlu ve istenilen açıda yönlendirme yapılabilir.

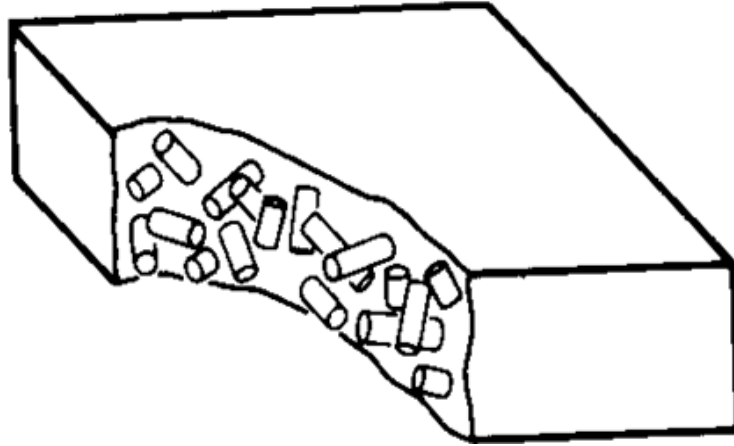


Şekil 1.8 : Sürekli fiber takviyeli kompozitler [9].

Kısa elyaf takviyeli kompozitler

İzotropik bir kompozit üretmek ve takviye yönlendirilmesiyle uğraşmamak için kısa fiber takviyeli kompozitler üretilmektedir. Kısa fiberler genellikle rastgele yönlendirilirler (Şekil 1.9).

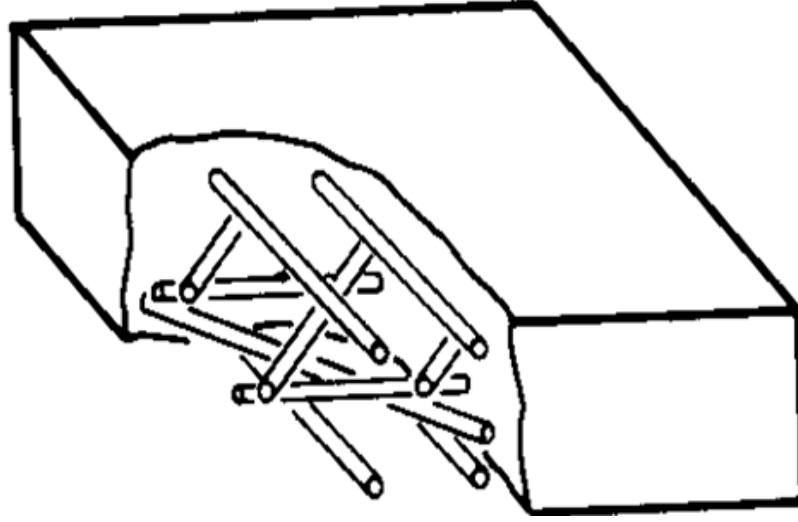
Kısa fiberli kompozit üretmek için en uygun yöntem pres döküm yöntemidir. Diğer yöntemler kısa elyaflara zarar verdiği için sağlıklı sonuç alınamaktadır.



Şekil 1.9 : Kısa elyaf takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı [10].

Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş kompozitler

Bu kompozitler kısa fiberlerden oluşurlar ve genelde matris malzemesi metallerdir. Gelişigüzel ve rastgele bir biçimde yönlendirilirler. Yönlendirilmeleri 2 boyutludur. (Şekil 1.10).

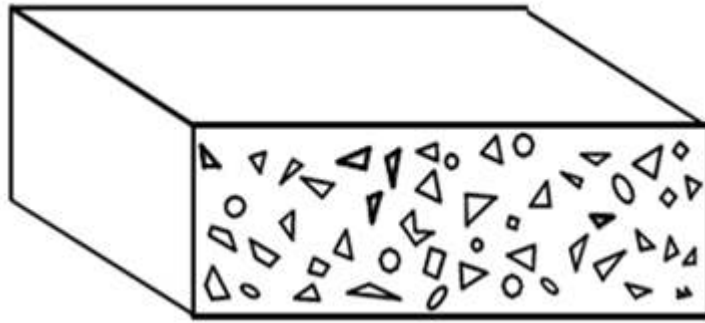


Şekil 1.10 : Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş MMK yapısı [11].

Fiberlerin yönlendirilmeleri ne kadar boşluk doldurma üstüne olursa matris alanları o kadar azalmış olur. Hangi yönde boşluk oranı azaltılır ve elyaf oranı arttırılırsa o yönde mekanik özellikler iyileştirilir.

1.2.11.2 Parçacık takviyeli kompozitler

Bu kompozitler çok küçük partikül halindeki takviyelerin matris içine serpiştirilmesiyle meydana gelir. (Şekil 1.11). En çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 ve SiC' den oluşan seramiklerdir.



Şekil 1.11 : Parçacık takviyeli kompozit [11].

Parçacık takviyeli kompozitlerin genel olarak avantajları şunlardır:

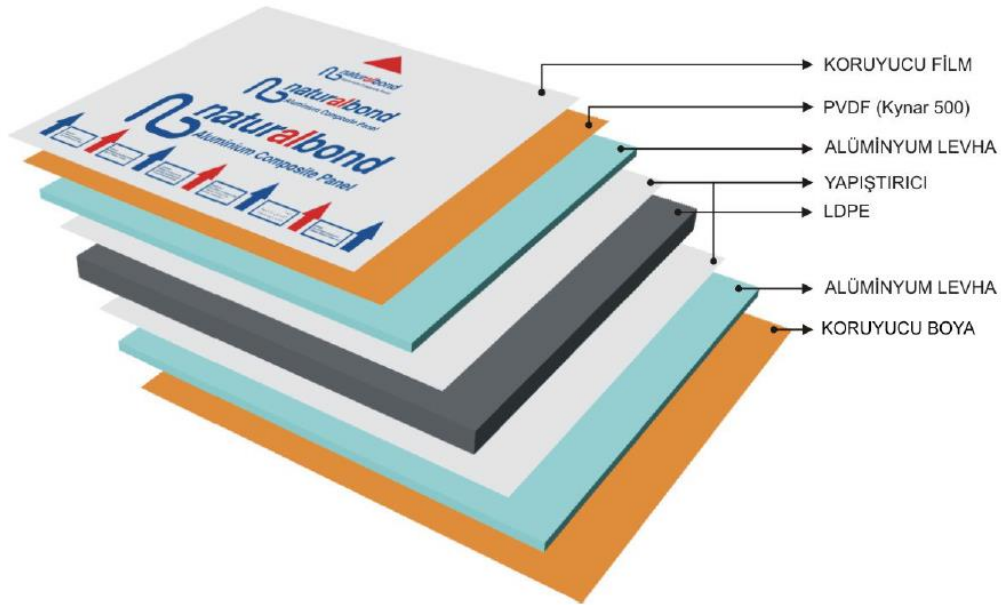
- Yüksek mukavemet
- Yüksek elastiklik modülü
- Aşınma dayanımı
- Yüksek sıcaklık mukavemeti

Bu kompozitler döküm, toz metalurjisi yöntemleriyle elde edilebilirler.

Parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri kullanılan partiküllerin büyüklüğüne, dağılımına, partiküller arası uzaklığa ve matrisin malzeme özelliklerine bağlıdır.

1.2.11.3 Tabakalı kompozitler

Bu kompozitte matris ve takviye malzemesi tabaka halindedir. Bu tabakalar üst üste konulacağı gibi yan yana da konumlandırılabilir. Bu tabakalar aynı ya da farklı malzeme gruplarından meydana gelebilir. Katmanlı kompozitler hafiflik ve yük taşıma kapasitesinden dolayı tercih edilirler. Tabakalı kompozitler kullanılan tabakalarına göre farklı fonksiyonellikte kullanılabilir. Buna örnek aşınma direnci, korozyon dayanımı verilebilir. Şekil 1.12’ de tabakalı kompozite örnek gösterilmiştir.



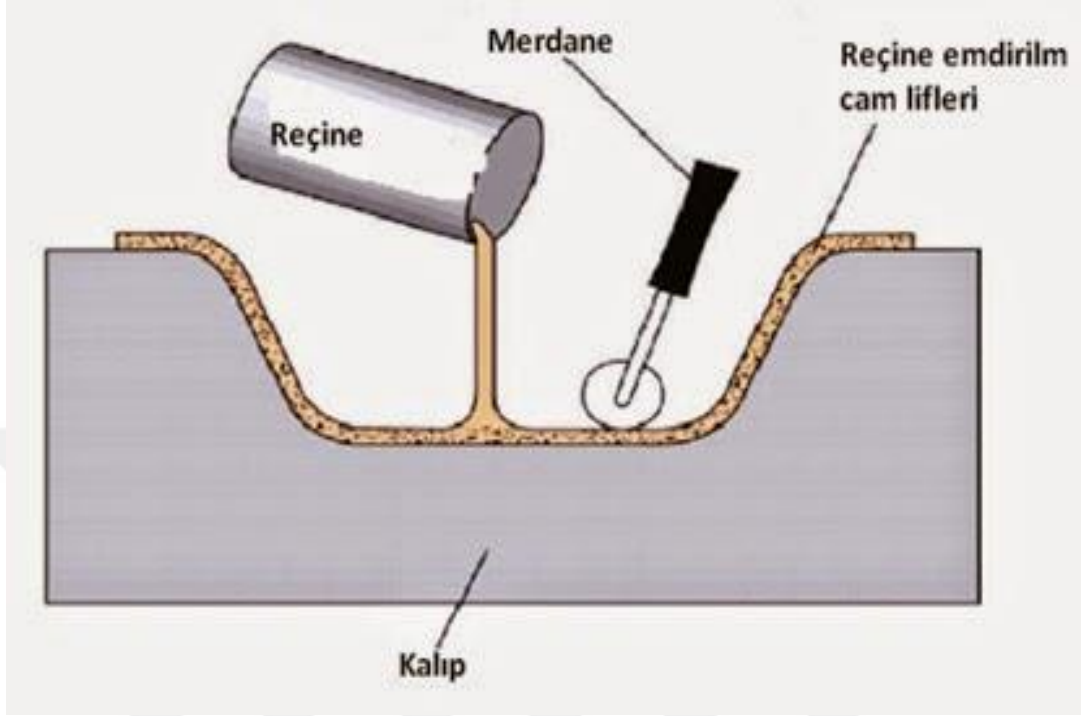
Şekil 1.12 : Tabakalı kompozit [12].

1.3 Kompozit üretim yöntemleri

1.3.1 El yatırma yöntemi

En basit ve en eski üretim yöntemidir. Bir fırça yardımı ile manuel olarak matris ve takviye malzemeleri arasına bağlayıcı sürülmektedir. Ardından bağlayıcı kuruduğu zaman ortaya tabakalı bir kompozit çıkmaktadır. Büyük parçaların üretiminde

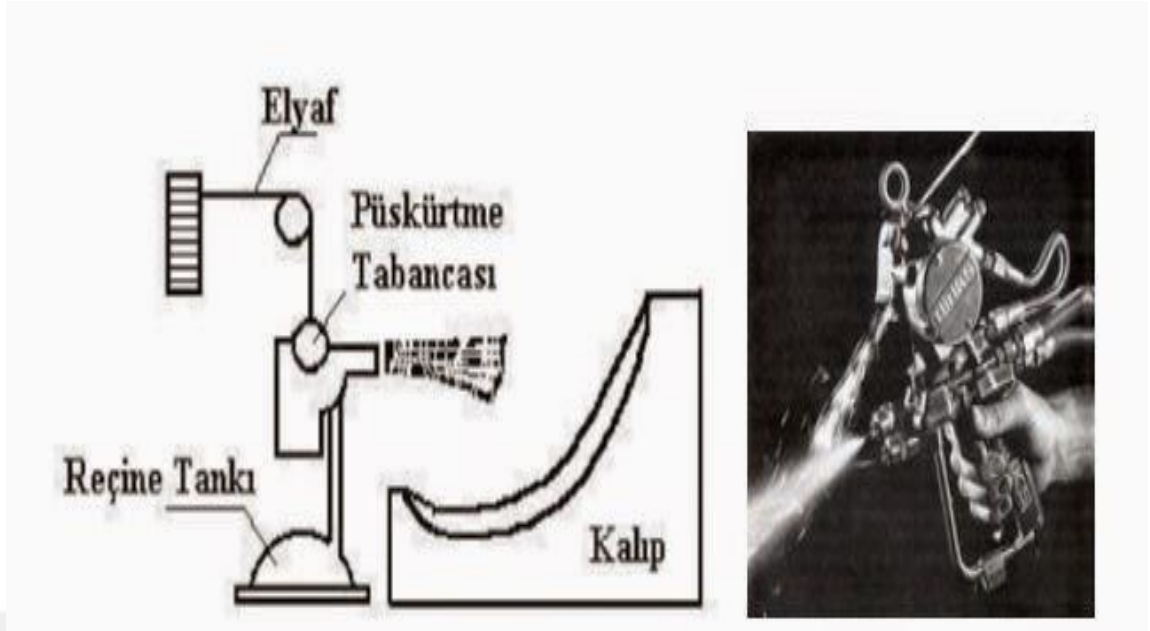
kolaylıkla kullanılabilir (Şekil 1.13). Bağlayıcı olarak genelde reçine kullanılır. Burada işçilik çok önemlidir. Reçinenin matris ve takviye malzemesi arasında arayüzey bağı oluşturabilmesi için iyi nüfus ettirilmesi gerekir.



Şekil 1.13 : El yatırma yönteminin şematik görünümü [13].

1.3.2 Püskürtme yöntemi

Elle yatırma yöntemine benzemektedir. Bir püskürtme tabancası yardımıyla kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine reçine ile beraber püskürtülür. (Şekil 1.14). Püskürtme işlemi yapılırken ise ayrı bir mekanizma tarafından elyaflar kırılarak püskürtme tabancasına gönderilir. Bu yöntemde de tabakalı bir kompozit oluşturulur. Seri üretim olanağı sağlar. İşçiliği azaltmaktadır.

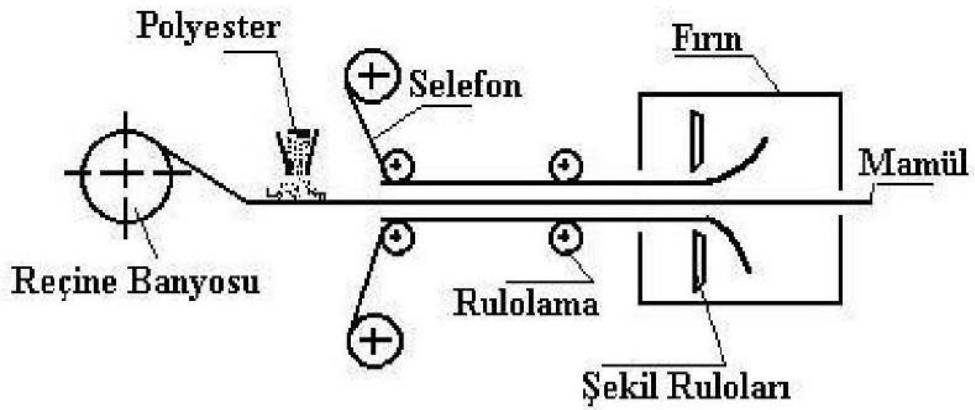


Şekil 1.14 : Püskürtme yöntemi ve püskürtme tabancası [13].

1.3.3 Sürekli kalıplama yöntemi

Devamlı levha üretim yöntemi

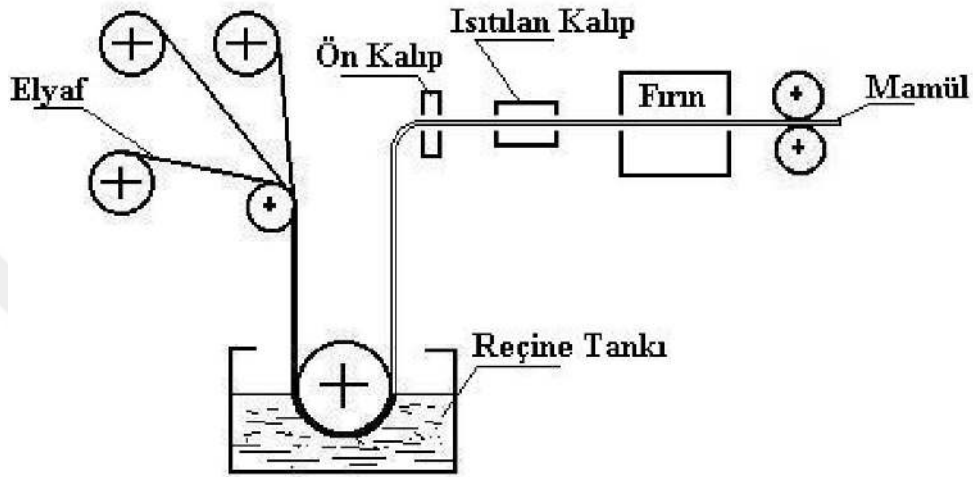
Önce elyaf ya da kumaş reçine banyosu yaptırılır. Ardından üstü polyester ile kaplanır. İnce iki katman arasında sandviç şekli alır. Rulolardan geçirilerek hava kabarcıklarının çıkması önlenir. Sonraki süreçte şekil alması için fırına verilir. Jelleşme başlar başlamaz şekil alacağı rulolardan geçirilir. Bu sayede ürün nihai haline ulaşır. (Şekil 1.15). Bu üretim yönteminde sertleştirici miktarlarının fırın sıcaklık ve boyuna göre ayarlanmalıdır.



Şekil 1.15 : Devamlı levha üretim yöntemi imalat şeması [13].

Profil çekme yöntemi

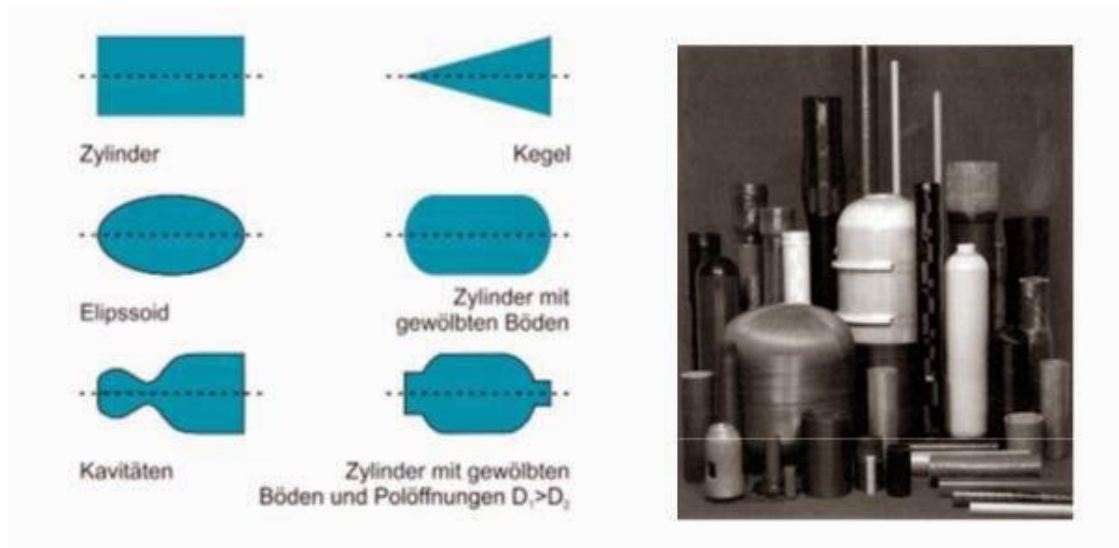
Elyaf lar reçine dolu bir tanktan geçerler. Böylece emdirilme işlemine tabi tutulurlar. Bu yöntemde genelde boru ve çubuk formlu ürünler üretilmektedir. Bu şekilleri kazanmak için uygun kalıplardan geçilirler. Şekillerin kalıcı olabilmesi için çekme kafaları ya ısıtılır ya da ısıtılabilceği bir kafadan geçirilir. (Şekil 1.16). Bu proses sayesinde pencere profilleri, korkuluk ve kapı gibi mamüller üretilmektedir.



Şekil 1.16 : Profil çekme yöntemi üretim şeması [13].

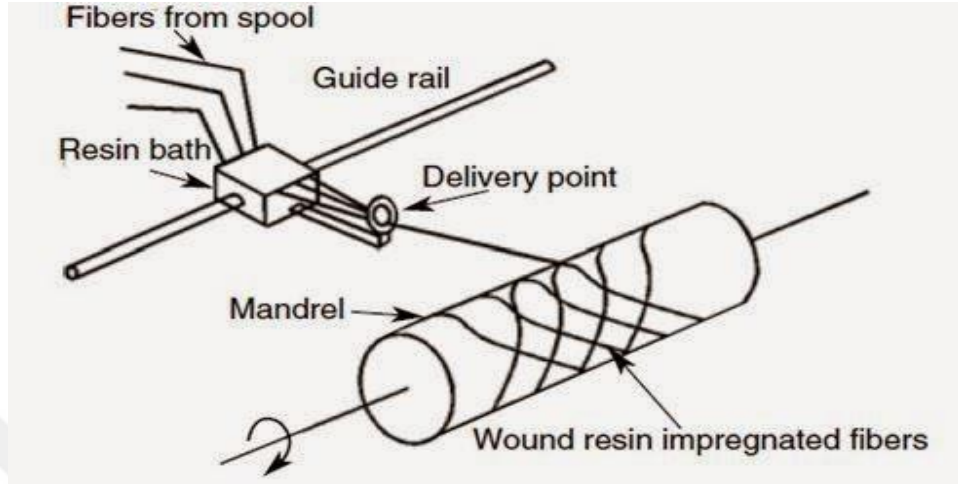
1.3.4 Elyaf sarma yöntemi

Özellikle silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tankları için kullanılan üretim metodudur (Şekil 1.17).



Şekil 1.17 : Filament sarma yöntemiyle elde edilebilecek geometriler [13].

Bu yöntemde elyaflar reçine ile muamele gördükten sonra bir makara yardımıyla çekilerek dönen bir kalıbın üstüne ya da etrafına sarılmaktadırlar. (Şekil 1.18). 700 bar basınca kadar dayanıklı yapılar üretilebilmektedir. Elyafların sarılma açısı değiştirilirse farklı mekanik özellikler elde edilir.



Şekil 1.18 : Filament sarma yönteminin şematik gösterimi [13].

Sağladığı önemli avantajlar şunlardır:

- Bazı basınçlı kaplar ve yakıt tankları sadece bu yöntemle üretilebilmektedir.
- Yapılan uygulamaya göre yüksek performans ve uygun fiyat gösterebilmektedir.
- Makine donanımı ucuzdur.
- Hammaddesi ucuzdur.

Birçok avantajına rağmen bu yöntemi sınırlayan durumlar söz konusudur. Bunlar:

- Üretim açısından kapalı ve dış bükey geometriler için uygundur. Küvet gibi formlara sahip ürünler üretilemez.
- 0-15° arasındaki parçaların sarımını yapamamaktadır.
- Elyaf oranı %60'ı aşamamaktadır.

1.3.5 Torba ile kalıplama

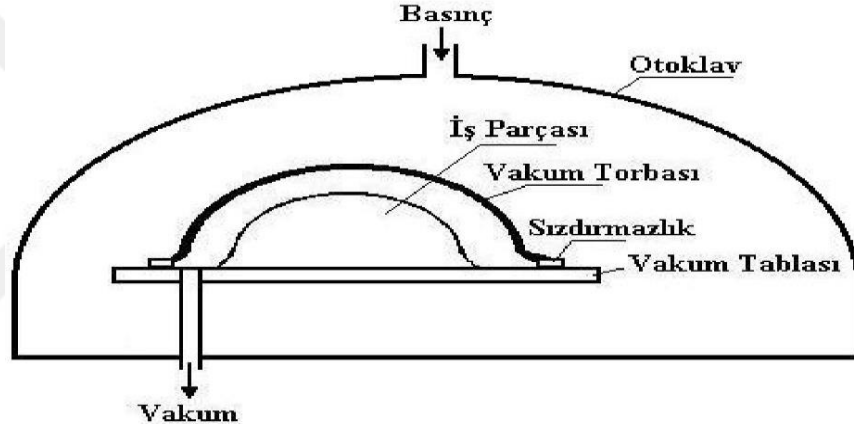
Püskürtme ve el yatırma yöntemlerinde ortaya çıkan yüzey problemlerini aşmak için kullanılan yöntemlerdir. Üçe ayrılırlar.

Vakum torbası yöntemi

İş parçası vakum tablasının üzerine konur ardından tablanın üzeri vakum torbası ile kapatılır. Torbanın içerisindeki hava emdirilmeye başlanır. Hava boşaldıkça vakum torbası iş parçasına temas eder ve iş parçasına basınç uygular. Bu sayede daha kaliteli parça üretimi gerçekleşir. Naylon veya selefon torbalar vakum torbası olarak kullanılır.

Otoklav yöntemi

Vakum torbası yöntemine benzemektedir. Farklı olarak, üretim basınçlı bir metal içerisinde yapılır ve bir üst basınç parça üzerine uygulanır. Basınç, Azot gazı ile sağlanır. Sertleşmenin hızlı olması için otoklav basınç kabı aynı bir fırın gibi ısıtılır ya da içerisinde sıcak gaz sirkülasyonu sağlanır. (Şekil 1.19).



Şekil 1.19 : Otoklav yöntemi imalat şeması [13].

Basınç torbası yöntemi

Vakum torbası yöntemine benzerdir. Torbadaki basıncın vakum olarak içerden değil de dışardan verilmesi vakum torbası yönteminden tek farkıdır.

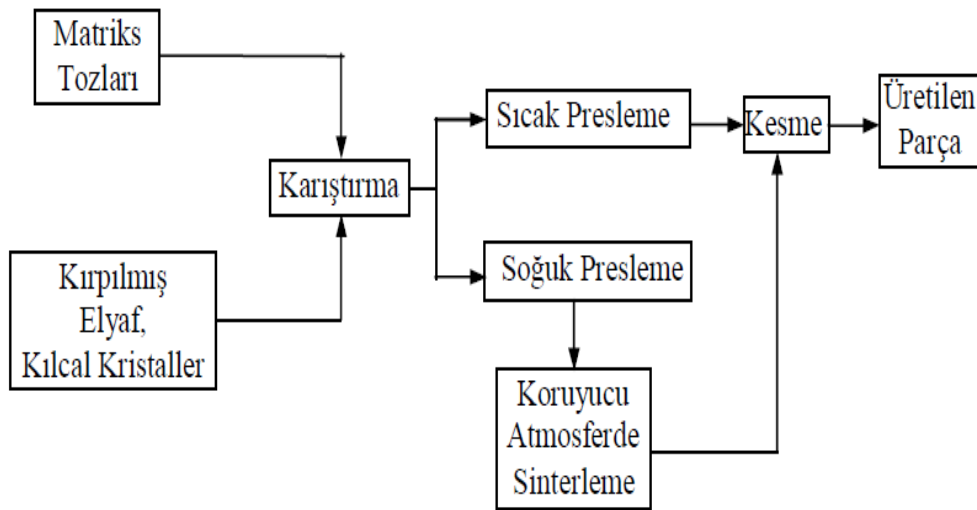
1.3.6 Kapalı döküm yöntemi

Döküm iki kalıp arasında yapılan bir üretim yöntemidir. Geniş ve kompleks parçalar için idealdir. Üretim sonunda ürünün her iki yüzeyi de pürüzsüz çıkmaktadır. Bu yüzden bir ek işleme ihtiyaç duyulmaz.

1.3.7 Sıcak presleme yöntemi

Üst üste koyulan matris ve takviye malzemelerinden katmanlı bir kompozit üretebilmek için kullanılan bir yöntemdir. Tabaka halinde birbiri üstüne koyulan matris ve takviyeler belirli bir sıcaklık ve basınç uygulanarak kompozit haline getirilir.

1.3.8 Toz metalurjisi yöntemi



Şekil 1.20 : Toz metalurjisi yöntemi üretim şeması [13].

Şekil 1.20’de üretim şemasından da görülebileceği gibi metal veya seramik matriks tozları kırpılmış elyaf veya kılcal kristaller ile karıştırılır.

Bu yöntemde esas olan toz haline getirilmiş iki malzemenin karıştırılarak önce sinterlemeye sonra da basınca tabi tutularak ya da ikisi de aynı anda yapılarak boşluksuz bir yapı elde edilmesidir.

1.3.9 Sıvı metal emdirme yöntemi

Erime noktası düşük olan hafif metallere basınç ve vakum altında metal emdirilerek yapılan bir üretim yöntemidir. Boru veya kiriş gibi parçalar üretilir. Bu yöntemle Ni-W, Al-Bor ve Ni-SiC kompozitleri üretilebilir.

1.3.10 Elektroliz yöntemi

Katot olarak kullanılan mandrel üzerinde bulunan elyaflara elektroliz sırasında metal matriks çökeltilir. Yüksek elyaf hacim oranına sahip kompozit malzeme üretmek söz konusudur. Genellikle matriks olarak nikel kullanılır. Elektroliz ile boron, silikon karpit ve tungsten filamentleri nikel matriks üzerine çökertilir. Daha sonra elyaflar preslenerek birleştirilir.

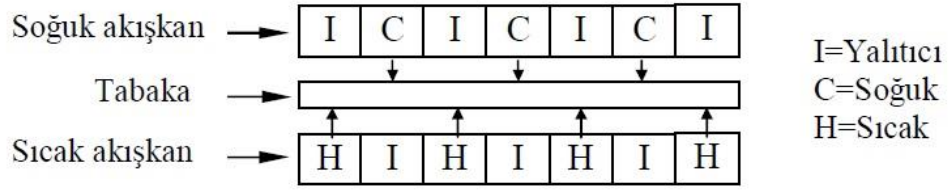
1.3.11 Buhar çökeltme yöntemi

Bu metotta önce matris elemanı buharlaştırılır. Ardından düşük sıcaklıkta takviyenin üstüne çökeltilir. Düşük sıcaklıkta yapılmasına rağmen pahalı bir yöntemdir. Nikel ve Alüminyum matrisli elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan bir yöntemdir.

1.3.12 Yüksek performanslı kompozit üretimi

Quickstep Technologies Pty Ltd. firması yüksek performanslı kompozit üretimi için daha ucuz ve daha hızlı olan yeni bir otoklav metodu geliştirmişlerdir. Normal şartlarda altı saatte yapılabilecek bu proses uygulanan bu metotla bir saatte yapılabilmektedir. Parça üzerine sıcak akışkan temas ettirilerek parçanın ısıl işlem için hazırlanması sağlanmaktadır. Kullanılan sıvılar genellikle su ve yağdır. Su ile beraber vinilester, polyester ve fenolik reçineler kullanılır. (gemi yapımı ve otomotiv uygulamaları vb.). Biri yüksek basınçla diğeri düşük basınçla çalışan iki kalıpta üretim yapılmaktadır.

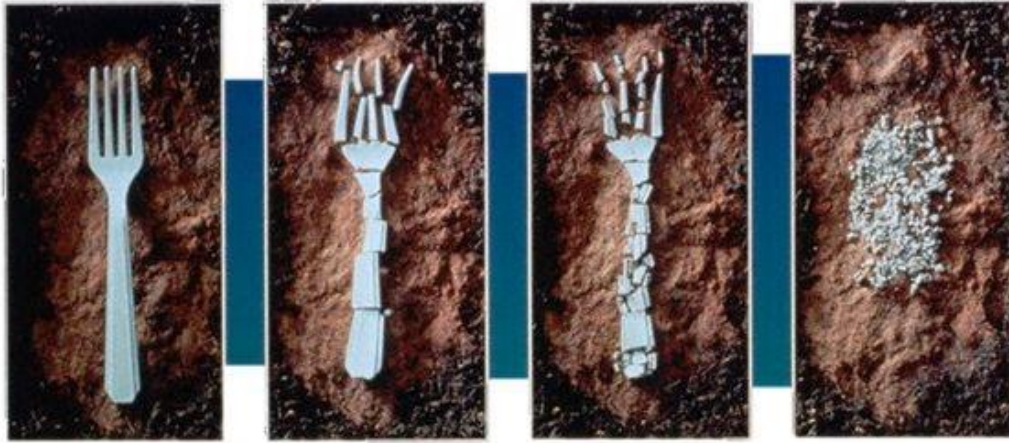
Üst kalıp (yüksek basınç odası) iç kısmında ısıl işlem sırasında alt basınç odasındaki parçanın üzerini saracak esnek bir membran mevcuttur. Bu metotla çok kalın numuneler bile üniform bir yapıya sahip olacak şekilde ısıl işleme tabi tutulabilir. Öyle ki; fiberglas/epoksi kompozitlerde 22 mm'ye kadar sorunsuz üniform bir ısıl işlem yapılmaktadır. Bu metot daha çok tabakalı kompozit üretimine elverişli olup hassas ve ucuz parça üretimine de uygundur. Bu metotla; Şekil 1.21'de görüldüğü gibi parça üzerinde istenen bölgeler ısıtılırken istenen bölgeler soğutulabilir.



Şekil 1.21 : Yüksek performanslı kompozit üretim şeması [13].

1.4 Biyobozunurluk

Bir malzemenin doğada bulunan mikroorganizmalar sayesinde güneş, basınç gibi diğer etkilerin yardımıyla karbondioksit, su gibi maddelere dönüşerek doğal çevrime katılmasıdır. Özetle çeşitli mikroorganizmaların polimerin yapısını bozarak içinde bulunan karbonun bir kısmını kütleye, bir kısmını karbondioksitide dönüştürmesidir. Polimerlerde bulunan hidrojen bu sayede suya dönüşmektedir (Şekil 1.22).



Şekil 1.22 : Biyoplastik bir çatalın 45 gün içerisinde doğaya karışımı [14].

1.5 Biyopolimer

Canlıların bünyesinde bulunup daha sonra çeşitli yollarla elde edilen, genellikle bitki esaslı polimerlerdir. Örneğin PLA, mısır ya da patates nişastasından elde edilir. Biyopolimerlere yeşil polimerler de denir. Biyopolimerler biyobozunurlardır ve bozunurken çevreye zarar vermezler.

1.6 Biyokompozit

Matris, takviye ya da her ikisinde de biyomalzeme kullanılarak elde edilen kompozitlerdir. Bir kompozitin biyokompozit sayılabilmesi için gereken en minimum şart matris ya da takviyesinden en az birisinin biyomalzemedan oluşmasıdır.

Burada biyomalzemedan kasıt organik olarak bir canlıdan alınmış olmasıdır. Patates nişastasından üretilen PLA polimeri örnek olarak gösterilebilir. PLA hem matris hem de takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Bir başka örnek olarak muz kabuğundan elde edilen muz lifi gösterilebilir. Muz lifi takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Biyokompozit ahşap (odun) ya da doğal lif takviyeli olabilir. Biyokompozitlerin matrisinde doğal malzeme olarak ahşap (odun) ya da biyopolimer kullanılır. Fakat matris malzemesi olarak petrol bazlı polimerlerin doğal liflerle takviye edildiği biyokompozitlerde mevcuttur. Biyokompozitlere “yeşil kompozit” de denilmektedir.

1.7 Polilaktik Asit (PLA)

Şeker kamışı, patates ve mısır nişastası gibi bitkisel ürünlerden elde edilir. Bundan dolayı biyopolimer ya da yeşil polimer diye de adlandırılır. Diğer polimer türleriyle kıyaslandığı zaman doğada biyobozunurluğu daha yüksektir ve çevreye zarar vermez. Genel olarak ambalaj malzemesi halinde gıda endüstrisinde kullanılır.

Olumlu tarafları;

- Taban ısıtmasıyla basılmaya ihtiyacı yoktur.
- Çevre dostu bir malzemedir.
- Pürüzsüz ve parlak bir yapısı vardır.
- ABS'den daha güzel kokar ve
- Baskı esnasında ortama zararlı gaz vermez.
- Daha seri bir şekilde baskı alınabilir.

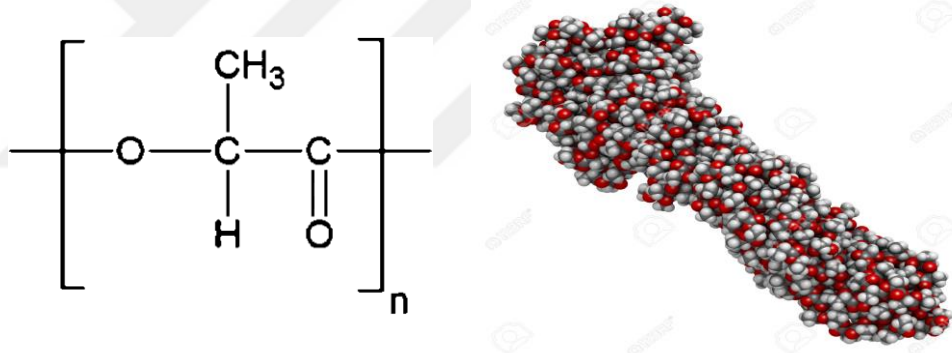
Olumsuz tarafları;

- Güneş ve sıcaklık altında bozunma ve deformeye uğrayabilir.

- ABS'den daha kırılğan bir yapıya sahiptir.

PLA ve PET-A iyi derecede kıyaslanabilir ayrıca aynı proseste dönüştürülebilir (şişirme kalıp, ISBM ve termoform). Enjeksiyon kalıplama üretim yönteminde kolaylıkla kullanılabilir. Ayrıca Polistiren (PS) yerine de kullanılabilir. Daha yüksek MFI sınıfları da vardır. Bu biyoplastik aynı zamanda, Polipropilen (PP) yerine kullanılabilen fiber ekstrüzyonu için de oldukça elverişlidir.

PLA, belli koşullar altında biyolojik olarak parçalanabilir. PLA (poliaktik asit) ürünler, ısı (70°C veya daha yüksek) ve nem (minimum %70 RH) kontrolü yapılabilen endüstriyel işletmelerde üretilebilir. Materyal, higroskopik olup çoğu durumda dönüştürme öncesi ön-kurutmaya ihtiyaç duyar. Tüm türleri için, biyolojik olarak tamamen çözünebilirlik sertifikası (EN12342) vardır. PLA'nın kimyasal formülü ve üç boyutlu görünümü Şekil 1.23'te verilmiştir.



Şekil 1.23 : PLA'nın kimyasal formülü ve üç boyutlu görünümü [15].

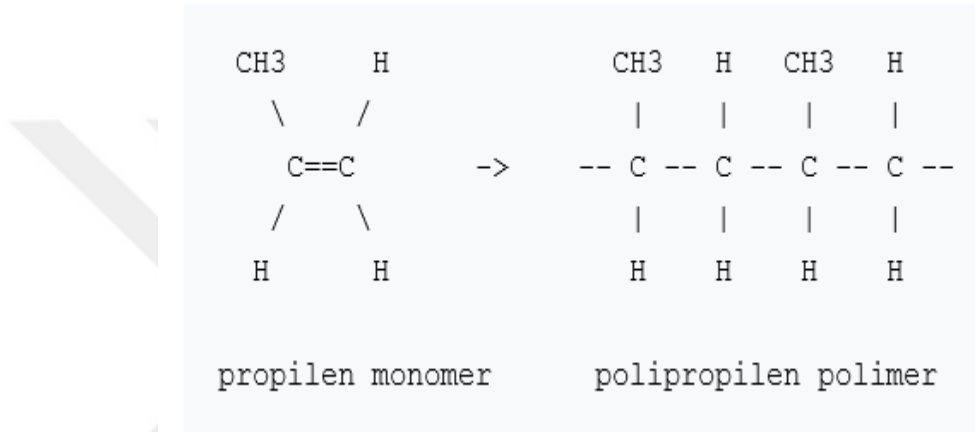
Malzeme özelliklerini zenginleştirmek için harmanlar, karışımlar ve bileşikler içinde sıkça kullanılmaktadır. Standart PLA türleri saydamdır ve parlaklığı yüksektir. PLA'nın (Polilaktik Asit) kullanım alanları şunlardır:

- Fiber ekstrüzyonu: Çay poşetleri, kıyafet.
- Bileşikler için: Ahşap ile, PMMA.
- Termoform: kepçeler, kurabiye tepkileri, fincanlar
- Enjeksiyon kalıplama: Takı kutuları.
- Şişirme kalıplama: Karbonsuz su şişeleri, kozmetik ve meyve suyu şişeleri

- Biyokompozitler: Matris veya takviye malzemesi

1.8 Polipropilen (PP)

Polipropilen, otomotiv sanayinde komponent üretiminde kullanılır. Yiyecek ve ambalaj sektöründe de kullanılmaktadır. Ayrıca paketlenme işlemleri içinde tercih edilir. Kullanım alanı çok geniş bir termoplastiktir. Polimer polipropilen, asit ve bazlara karşı monomer polimerlere göre aşırı derecede dirençlidir. Monomer ve polimer yapıları Şekil 1.24'te gösterilmiştir.



Şekil 1.24 : Monomer PP ve polimer PP'nin kimyasal formülü [16].

Propilen, ilk defa 1954 yılı Giulio Natta ve Alman kimyager Karl Rehn tarafından polimerleştirilerek kristalin izotaktik hale getirilmiştir. Sendiyotaktik polipropilen de ilk defa Natta ve yardımcıları tarafından sentezlenmiştir.

Polipropilenin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz.

- Sert, opak ve sağlam bir polimerdir.
- Suda yüzebilir.
- Elastisite modülü orta seviyededir
- Düşük özgül ağırlığı vardır.
- Yorulma dayanımı çok yüksektir.
- Ticari kullanımı oldukça fazladır.
- Maliyeti düşüktür.
- 130-171 °C erime sıcaklığı vardır.

Polipropilenin dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz.

- Yanıcı bir polimerdir.Çabuk etkileşime girer.
- Kaplama ve boya işleri zordur.

- Oksitlenmeye açıktır.

1.9 Keten Lifi

Günümüzde keten lifi gibi doğal lifler üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Bunu sebebi keten, tekstil ürünleri yanında yağ ve kompozitler için de kullanılan bir hammaddedir. Tekstilden otomotiv sektörüne kadar pek çok alanda kullanılırlar.

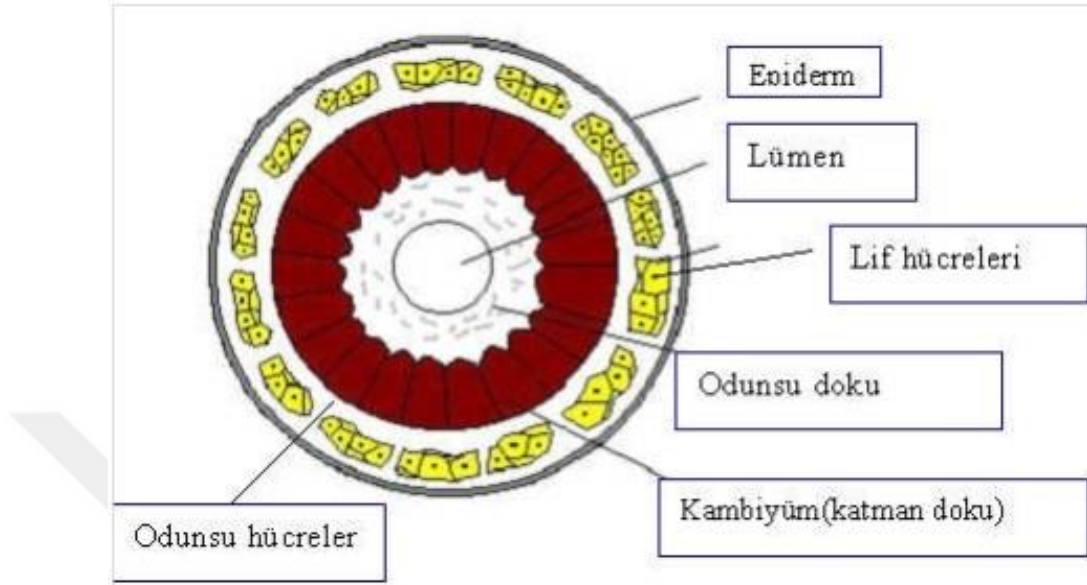
Doğal oldukları için çevre sorunu da oluşturmamaktadırlar. Fakat kullanılabilimleri için temizlenmeleri gerekir. Bunun yanında pek çok işlem den geçirilmeleri gereklidir. Keten bir gövde lifi olduğundan, genellikle kabuk ve iç doku arasındaki gövdenin dış kısımlarından elde edilir ve havuzlanma işlemi ile kullanılır hale gelir (Şekil 1.25). Havuzlama, liflerin lif olmayan dokulardan biyokimyasal olarak ayrılmasıdır.



Şekil 1.25 : Keten bitkisi [17].

Ketenin fiziksel ve kimyasal yapısı

Keten gövdesinin enine kesiti alındığında, değişik tabakalar içerdiği görülmektedir (Şekil 1.28).



Şekil 1.26 : Keten lifinin enine kesiti ve bölümleri [17].

Lif yığınlarını bir epidermis tabakası çevrelemektedir. Bunlar kuvvetli gövde lifleridir ve gövde boyunda, kökten yukarı doğru uzanırlar.

Ketenin yapısında selüloz yanında pek çok madde bulunmaktadır.

Keten lifinin fiziksel özellikleri:

- Lif kalınlığı 0.014–0.025 mm arasındadır.
- Lif demetinin uzunluğu 30–90 cm arasındadır. Tek lifin uzunluğu ise 7–8 cm arasındadır.
- Kopma anında uzaması; kuru iken %1.8'dir, yaş iken ise %2.2'dir. Islakken dayanıklılığı %20 daha fazladır.
- Özgül ağırlığı 1,5 g/cm³ tür.

Keten lifinin kimyasal özellikleri:

Keten lifleri, kimyasal reaktiflere karşı pamuk lifinin göstermiş olduğu özellikleri gösterir .

- Nem çekme özelliği pamuktan iyidir. Bu nedenle ticarete en fazla %18 nem kabul edilir. Bu nemi taşıdığı halde bile kuru hissi verir.
- 120 °C „nin üstündeki sıcaklıklarda bozulur.
- Uzun süre güneş ışığında maruz kaldığında dayanıklılığında azalma görülür.

Keten lifinin kullanım alanları:

Yazlık dış giyimde genellikle serin tutması için kullanılır. Ceket, pantolon,gömlek, vs. ev tekstili sektöründe kullanılmaktadır. Ayrıca su tesisatlarında lif halinde, halat yapımı ve kaliteli kâğıt yapımında kullanılır.

Keten kumaşların özellikleri (Şekil 1.29)

- Keten kumaş doğal bir elyafıdır.
- Parlak yapıya sahiptir ve esnekliği azdır.
- Keten kumaşın nem çekme özelliği yüksektir ve bu nedenle banyo ürünlerinde kullanımı fazladır.
- En çok bilinen özelliği çabuk kırışmasıdır, keten kıyafetlerin kullanımı bundan dolayı rahat değildir.
- Sıcak havalarda daha çok tercih edilir.Çünkü iri gözenekli yapısından dolayı vücudun hava almasını ve serin kalmasını sağlar.
- Pürüzsüz ve tüysüz bir yapıya sahiptir.
- Çabuk kirlenmediği için çokça tercih edilir.
- Sık ütülenmesi gerekir.
- Duvarlarda kullanıldığı zaman ısı ve ses yalıtımı sağlar.
- Dayanıklılığı, toz çekmemesi ve kendini bırakmaması sayesinde döşeme olarak kullanılır.



Şekil 1.27 : Keten kumaşı [17].

1.10 Jüt Lifi

Jüt, ıhlamurgillerden, tropikal ve subtropikal iklimlerde yetişen, 2 - 4 metreye kadar uzayabilen odunsu bir bitkidir. Çok fazla sayıda türü vardır. Buna rağmen ticari bakımdan lif üretimi *Corchorus capstilaris* L. türünden yapılmaktadır. Anavatanı Hindistan Yarımadası'dır.

Jüt, pamuktan sonra dünyada en fazla üretilen doğal lifidir. Jüt lifinin kendine özgü altın ve ipeksi bir parlak bir yapısı vardır. Dünyada biyoesaslı liflerden imalatı en ucuz olan iplik türüdür.

Jüt doğada % 100 bozunurdur. Bu sebeple geri dönüştürülebilir ve çevre dostu bir malzemedir.

Jüt, sadece tekstil sektöründe kullanılan bir ürün değildir. Ambalaj, ayakkabı-çanta, giyim aksesuarları, tarım, inşaat, denizcilik, otomotiv ve ilaç sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Şekil 1.30).



Şekil 1.28 : Jüt ipliği, kumaşı ve çeşitli kullanım alanları (halı, çuval, çanta) [17].

Jüt, tropik ve subtropik iklimlerde yetişen, 2- 4 metreye kadar boylan odunsu yıllık bir bitkidir (Şekil 1.31).



Şekil 1.29 : Jüt bitkisi ve elde edilmesi [17].

Jüt, pamuktan sonra dünyada en fazla üretilen bitkisel lifdir. Bir yıllık bir bitki olan jütün gövdesinde lif hücreleri demetler halinde bulunur. Hücrelerin primer duvarlarında büyük ölçüde linyin vardır. Sekonder duvarındaki selüloz tabakaları da bir miktar linyin içerir. Bitki gövdesinin enine kesiti incelendiğinde beşgen veya altıgen şeklinde köşeli hücreler görülür (Şekil 1.32).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE HİPOTEZ

2.1 Literatür Özeti

Kompozit malzeme sektöründe “yeşil kompozitler” adıyla kendini gösteren çevreci çalışmalar, kompozit imalatında sürdürülebilir kaynaklardan gelen biyopolimer ve biyoesaslı liflerin kullanma üzerine odaklanmıştır. Aslında yeşil kompozitler çok eski çağlardan itibaren kullanılmaktadır. Anadolu’da eski çağlardan beri harç malzemelerinin içerisine keçi kılı vb. malzemelerin katkı şeklinde eklendiği bilinmektedir. Açıkça görülüyor ki tarihin ilk zamanlarında kullanılan yeşil kompozitler genel olarak inşaat ve çeşitli günlük işlerin yapılması amacıyla üretilmiş ve kullanılmışlardır.

Başka alanlarda kullanılması ise Sanayi Devrimi’nden sonra gerçekleşmiştir. Otomobil sektörü incelenecek olursa ilk otomobillerin üretiminde genel olarak, sağlamlık açısından metal malzeme odaklı üretilmişlerdir. Daha sonraları metalin zor işlenmesi, giderek azalması ve ağırlığı sebebiyle otomobil üreticileri yeni malzeme arayışlarına girmişleridir.

Otomobil üretiminin gelişmeye başladığı dönemde ise Henry Ford, 1938 yılında, ilk lif takviyeli araba gövde panelini üretmek için soya-fasülyesi esaslı reçine kullanmıştır [26]. Daha sonra ise İkinci Dünya Savaşı sebebiyle bir durgunluk yaşansa da savaşın bitişini izleyen süreçle beraber, yeşil polimer ve yeşil kompozitlerin ar-ge çalışmaları hızla artmış ve otomobil sektöründe daha fazla kullanılmaya başlamışlardır.

Yeşil kompozitler hem çevre-dostu özellikleri hem de hafiflikleri ile otomotiv sanayiinde muhteşem bir başarı yakalamıştır. Kara taşıtlarının ağırlığında ortalama %10-30 oranında azalma sağlayabilen [27] yeşil kompozitler böylece yakıt tasarrufuna büyük katkıda bulunurlar [28].

Daimler-Benz 1991 yılından beri, cam lifinin yerini alacak doğal lifleri araştırmaktadır [16,29]. Hindistan cevizi lifli kompozitleri baz alan “Beleem

project”in ardından gelen başarı ile 1996 yılında, Mercedes E-sınıfı taşıtların kapı panelleri jüt lifi takviyeli kompozitlerden imal edilmiştir [26,27].

Fakat biyokompozitlerde tam anlamıyla %100 biyomalzeme olarak üretilmiş bir otomobil parçası bulunmamaktadır.

Bu çalışmada ise aslında pek çok açıdan geliştirilmiş olan biyokompozitlerin en az çalışılan kısmını içeriyor. PLA hem lif hem de matris olabilme özelliğine sahipken, şu zamana kadar PLA ile yapılan çalışmaların çoğu ambalaj, şişe gibi nesneler üzerine yapılmıştır ([20],[23],[24]). Kompozit olarak ise, keten, ipek gibi doğal lifler PLA ya da PHA’nın takviyelendirilmesi ile mekanik özellikleri test edilmiş ayrıca bu kompozitler petrol bazlı polimer matrise sahip (Örneğin; PP,PA gibi) malzemelerle karşılaştırılmıştır ([18],[19],[29]). Fakat bu çalışmaların hiçbiri otomotiv alanı ile ilişkilendirilmemiştir.

Literatür incelediğinde bilimsel çalışmalarda otomotiv alanı için düşünülen çalışmaya en yakın çalışmalar petrol esaslı polimer matris/bitki esaslı doğal polimer lif kompozitleri olmuştur: Örneğin; PP/İpek lifi, PP/Keten lifi gibi ([18],[21],[22],[25],[26]). Burada en önemli husus doğal matris/doğal lif ya da başka bir deyişle biyopolimer matris/biyopolimer lif esasına dayanan bir otomotiv kompozitin bulunamamış olmasıdır.

Mercedes firması keten/PP kompozitine dayanan otomotiv parçaları üretmiştir. [30] Bu parçalar çok fazla darbe dayanımı gerektirmeyen yerler için daha hafif ve daha çevreci bir anlayışla üretilmiştir. Üretilen parçalar genellikle iç ve dış trim ya da iç ve dış panel parçaları olarak isimlendirilmektedir. Bunun dışında yine Mercedes firması muz lifi/PP kompozitine dayanan bir imal tekerlek taşıyıcısı üretmiştir. [31]

Özellikle son iki çalışma bu tez çalışmasına ışık tutmaktadır. Literatürün genelinden yola çıkarak termoplastik biyopolimer matris ve bitki esaslı doğal lif takviyesine dayanan bir biyokompozit çalışılmıştır. Çalışmada yukarıda anlatılan sebeplerden dolayı petrol bazlı bir termoplastik olan polipropilen yerine bitki esaslı polimer olan polilaktik asit kullanılmıştır. Mercedes firması örnek uygulamayı keten ve muz lifinden yaparken, bu tez çalışmasında keten ve jüt lifi kullanılmıştır.

2.2 Hipotez

Bu çalışmada temel olarak dört hipotez test edilecektir:

Hipotez 1: PLA/Keten kompozit, PP/Keten kompozite mekanik özellikler bakımından alternatif olabilecek kadar dayanıklıdır.

Hipotez 2: PLA/Jüt kompozit, PP/Jüt kompozite mekanik özellikler bakımından benzerdir.

Hipotez 3: PLA/Keten kompozit, PLA/Jüt kompozite benzer mekanik özellikler gösterir ve bu sebeple birbirinin alternatiftir.

Hipotez 4: PLA/Jüt ve PLA/Keten kompozitler mevcutta plastik bazlı olarak üretilen bir otomotiv parçası için kullanılabilir.

3. MATERİYAL VE METOT

Bu çalışmada temel olarak dört farklı malzeme kullanılmıştır. PLA, PP, Keten ve Jüt. Bunlarla ilgili detaylı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

3.1 Materyal

3.1.1 Matris malzemeleri

3.1.1.1 Polilaktik asit (PLA)

Kumru Kimya firmasından saf ve granül halde 180 °C erime sıcaklığına sahip PLA temin edilmiştir.

3.1.1.2 Polipropilen (PP)

Petkim firmasından saf ve granül halde 163 °C erime sıcaklığına sahip PP temin edilmiştir.

3.1.2 Takviye malzemeleri

3.1.2.1 Keten lifi

Alfa tekstil firmasından yaklaşık 0.36 mm çapında, DN 2031 standardına uygun olarak çekilmiş fiber iplik bobin halinde temin edilmiştir.

3.1.2.2 Keten kumaşı

Alfa tekstil firmasından yaklaşık 0.4 mm kalınlığında, DN 2031 standardına uygun olarak twill dokunmuş keten kumaş halinde temin edilmiştir.

3.1.2.3 Jüt lifi

Alfa tekstil firmasından yaklaşık 0.4 mm çapında, DN 2031 standardına uygun olarak çekilmiş fiber iplik bobin halinde temin edilmiştir.

3.1.2.4 Jüt kumaşı

Alfa tekstil firmasından yaklaşık 0.7 mm kalınlığında, DN 2031 standardına uygun olarak twill dokunmuş keten kumaş halinde temin edilmiştir.

3.2 Metot

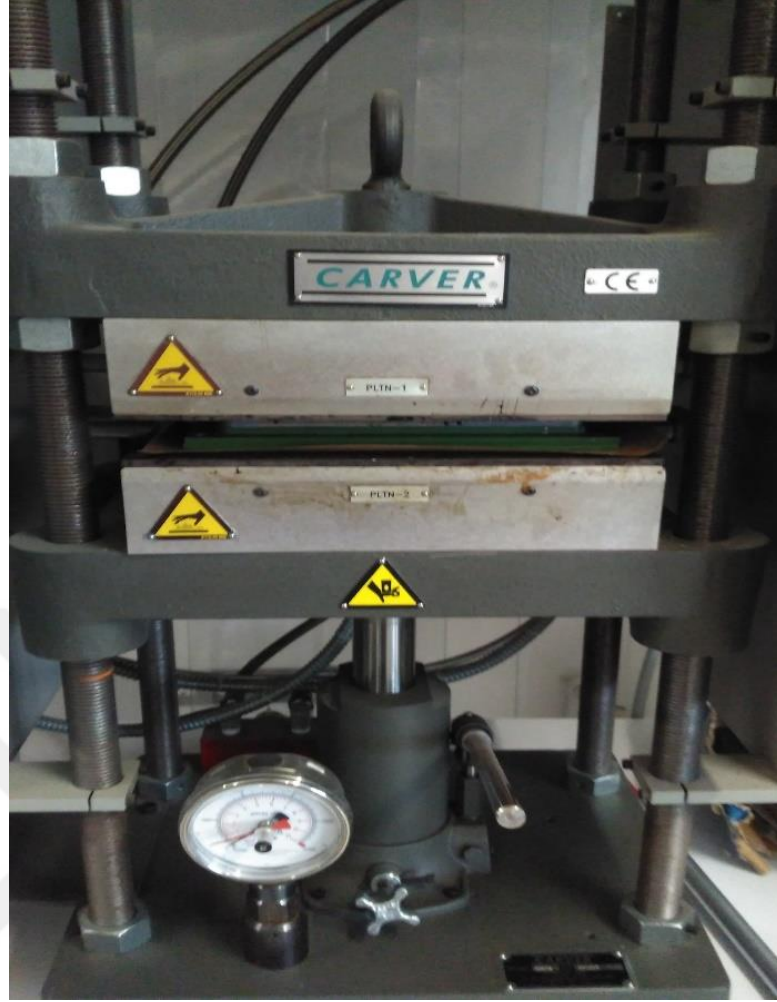
Metot bölümünü 3 kısma ayırabiliriz.

- Biyokompozit Üretimi
- Üretilen Biyokompozitte Kullanılan Lif ve Kumaşların Mekanik Testleri
- Üretilen Biyokompozitin Mekanik Testleri

Tüm bunlarla ilgili izlenen metotlar aşağıda detayları ile sunulmuştur.

3.2.1 Biyokompozit üretimi

Bu aşamada temel olarak tabakalı bir kompozit üretimi hedeflenmiştir. Takviye olarak lif değil hazır dokunmuş kumaş (woven) tercih edilmiştir. Yani tabakalardan bir tanesi hazır kumaş olarak belirlenmiştir. Çünkü liflerin uygun yönlendirilmesini sağlayacak bir mekanizma tasarlamak ve bunu mevcut imkanlarla entegre etmek çok uzun süreceğinden, tezin ana hipotezlerinin test edilebilmesi için (zaman olarak) önemli sapmalara yol açacağı öngörülmüştür. Biyokompozitlerin tabakalı olarak üretimi için granül halde bulunan PLA ve PP malzemeleri ile hazır dokunmuş halde bulunan Keten ve Jüt kumaşları sıcak pres altında çeşitli denemelerle elde edilmiştir. Hot press için Carver marka 4122 CE model hot press cihazı kullanılmıştır ve cihazın görüntüsü Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1 : Carver markasının 4122CE model sıcak pres cihazı.

3.2.1.1 Ön test aşaması

Bu aşamada matris olarak kullanılan PLA biyopolimerinin jüt ve keten lifiyle arayüzey oluşturarak kompozit haline gelip gelmediğini test edilmiştir ve 220 x 220 mm kompozit plakaların uygun kalınlıklarda elde edilmesi ve düz bir arayüzey elde edilebilmesi için uygun gramajlar test edilmiştir. Bu deneyde biyokompozit, lamina türünde bir tabakalı kompozit şeklinde düşünülmüştür. Biyokompozit 3 tabakadan meydana gelmektedir. Bunlar sırasıyla PLA tabakası, takviye (Jüt veya Keten) tabakası ve tekrar PLA tabakası şeklindedir. Ön test için üretilen biyokompozit Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

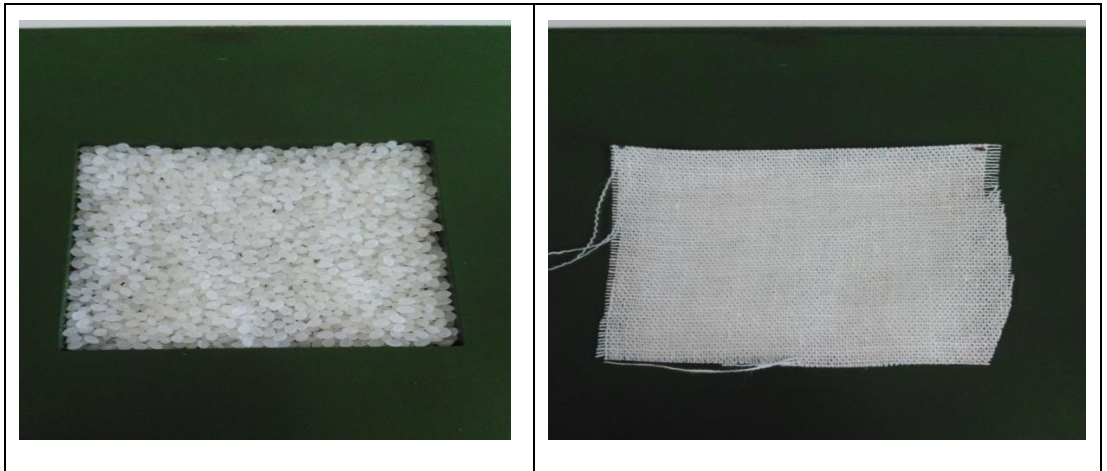
60 gr PLA
Takviye (Keten)
60 gr PLA

Şekil 3.2 : Keten/PLA kompozitinin kalıba yerleşimi.

Deneyde her iki PLA tabakası için 60 gr granül halde PLA kullanılmıştır. Takviye olarak keten kumaşı kullanılmıştır.

Deneme 1:

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere PLA tabakası, takviye tabakası, PLA tabakası sırasına göre kompozit bileşenleri 220 x 220 mm boyutlarındaki kare kalıp içine yerleştirildi (Şekil 3.3). Erimeyi gözlemlemek amacıyla hot-press cihazının plakalarının arası açık bırakıldı. 180°C de 26 dakika ısınma süresi uygulandı. PLA’da erime gözlenmediği için 17 dakika daha 180°C de beklenildi. Fakat yine erime gözlemlenmedi. Bunun sebebi olarak hot-press cihazının plakaları arasındaki açıklığın ısı kaçışına yol açması olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple, hot-press cihazının plakaları birbirine yaklaştırıldı. Cihazda plakalar arasına giren hava miktarı minimuma düşürüldü. Sıcaklık 190°C ye çıkarıldı. 33 dakika sonra PLA tabakaları tamamen eridi. Fakat kompozitin üst yüzeyi homojen elde edilemedi. Hot-press cihazının plakaları kalıba temas ettirilerek kompozite 7000 ton/m² basınç 5 dakika süreyle uygulandı. Kalıbın dışına bir miktar PLA aktığı görüldü. Kalıbı soğutmak için hot-press cihazının sıcaklığı oda sıcaklığına düşürüldü. Ardından cihazın kendi su soğutma sistemi açıldı. 18 dakika soğuma süresi uygulandı. Kompozit kalıp teflon kaplı olduğu için kolayca çıkarıldı.



Şekil 3.3 : PLA'nın ve keten kumaş'ın kalıp içersine yerleştirilmesi.

Bu işlem sonucu elde edilen kompozitin görüntüsü Şekil 3.4'te sunulmuştur. Şekilden tam anlaşılmasa da üst yüzeyi düz olarak elde edilememiştir. Kompozitin alt kısmında boşluklar mevcuttur. Akan PLA'dan dolayı kompozitin içinde belirgin boş kısımlar oluşmuştur. Diğer yandan alt yüzey homojen ve düzdür. PLA, takviye malzemesi olan kumaşı tamamen geçerek üstte kalmıştır. Bu prosedürle takviye malzemesinin biyokompozitteki matris malzemelerinin ya da tabakalarının arasına girmedeği ve ıslatmadığı gözlenmiştir.



Şekil 3.4 : Ön test deneyi sonucu üretilen PLA/Keten kompozitinin üstten ve alttan sırayla görüntüsü.

Aynı prosedür sonucu elde edilen PLA/Jüt kompozitin üst ve alttan görüntüleri Şekil 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.5 : Ön test deneyi sonucu üretilen PLA/Jüt kompozitinin üst ve alt görüntüleri.

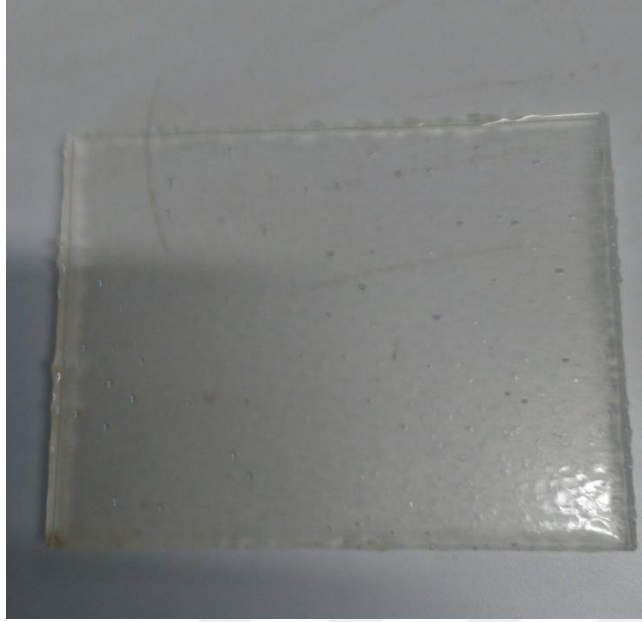
Deneme 2:

Şekil 3.5’de görüldüğü üzere PLA/Jüt kompozitte yine alt tabakada boşluklar ortaya çıkmıştır. Bu sıkıntılardan dolayı deneme 1’de uygulanan metodun değiştirilmesine karar verildi. Biyokompozitin hot-press cihazında tek seferde basılması yerine, önce PLA plakaları üretilip daha sonra iki üretilmiş PLA plakaları arasına takviye malzemesi koyularak tost şeklinde üretilmesi kararlaştırıldı. Özetle, önce 2 adet 60 gr’lık PLA tabakası üretilecek ardından keten kumaşı 2 plakanın arasına tost şeklinde koyularak basınç yardımıyla kompozitin üretilmesi sağlanacaktır.

PLA plakasının üretimi:

60 gram granül haldeki PLA kalıp içine yerleştirildi. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. 20 dakika PLA’nın erimesi için bekleme süresi uygulandı. Ön Test Deneyi’nde söz edilen soğutma aşamaları aynen uygulandı. 20 dakika kalıbın soğuması için soğuma süresi uygulandı.

Kalıbın üstü açık şekilde ve basınç olmadan üretim gerçekleştirildi. Basınç olmamasının sebebi kalıp içindeki PLA miktarının, kalıbın yüksekliğinin üzerine çıkamamasından dolayı basınç uygulayacak koşulların oluşmamasıdır. Kalıbın üstünün açık olması, hot-press cihazının üst plakasının üretim için kullanılan kalıba değmediğini açıklamaktadır. Üretilen PLA tabakasının görüntüsü Şekil 3.6’da sunulmuştur.



Şekil 3.6 : Üretilen PLA plakası.

Biyokompozitin üretimi:

Yukarıda tarif edildiği gibi hazırlanan PLA plakasını ve keten lifini, tost şeklinde sırasıyla PLA tabakası, takviye tabakası, PLA tabakası halinde kalıbın içine yerleştirilmiştir. Isınma süresinden soğutma süresine kadar yani tüm üretim süreci boyunca hot-press cihazının plakaları kalıba temas ettirilerek kompozite 7100 ton/m² basınç uygulandı. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. 20 dakika PLA'nın erimesi için bekleme süresi uygulandı. 20 dakika kalıbın soğuması için soğuma süresi uygulandı.

Presli üretimde PLA kalıp dışına çıktı. Kompozitin alt ve üst yüzeyi düzgün bir şekilde çıktı fakat kompozitin alt ve üst kısmında akan PLA'dan dolayı delikler ve yüzeylerin altında belirgin boşluklar tespit edildi. Deneyde pozitif sonuç olarak alt ve üst yüzeyin düzgün çıkması ve takviye olarak kullanılan keten kumaşın biyokompozitin orta kısmında kaldığı saptandı. PLA'nın kalıp dışına akma sorunu en acil çözümlenecek sorun olarak tespit edildi.

Deneme 3:

Kalıptan PLA taşmasını önlemek için basınç kullanılmamasına karar verildi. Deneme 2'de uygulanan metodla basınçsız şekilde üretilmesi kararlaştırıldı. Biyokompozit, hot-press cihazında önce PLA plakaları üretilip daha sonra iki üretilmiş PLA plakaları arasına takviye malzemesi koyularak tost şeklinde üretilenektir. Taşmaları önlemek için PLA'nın gramajı düşürülmüştür.

Özetle, önce 2 adet 30 gr'lık PLA tabakası üretilmiş ardından keten kumaşı iki plakanın arasına tost şeklinde koyularak basınçsız bir şekilde kompozitin üretilmesi sağlanmıştır.

PLA plakasının üretimi:

30 gram granül haldeki PLA kalıp içine yerleştirildi. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. 20 dakika PLA'nın erimesi için bekleme süresi uygulandı. Deneme 1'de söz edilen soğutma aşamaları aynen uygulandı. 20 dakika kalıbın soğuması için soğuma süresi uygulandı.

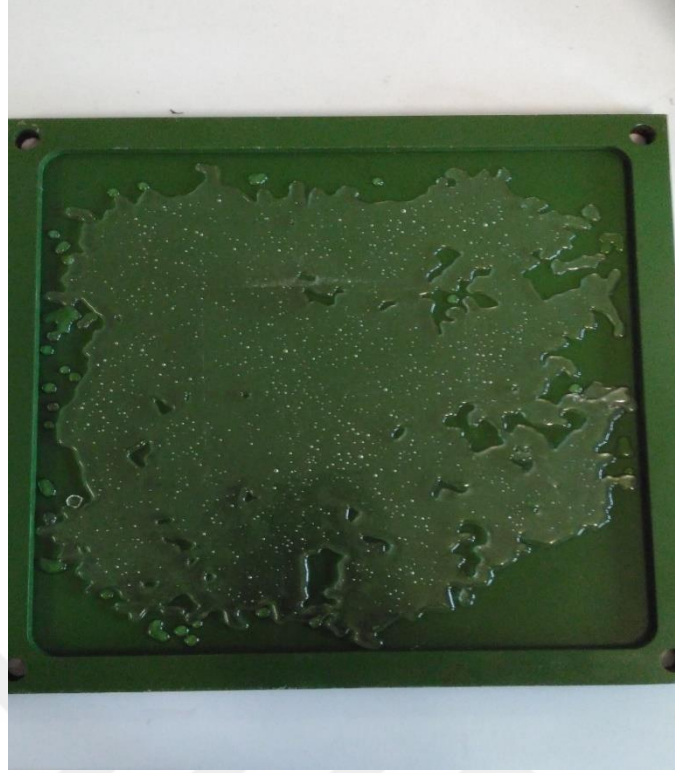
Kalıbın üstü açık şekilde ve basınç olmadan üretim gerçekleştirildi. Basınç olmamasının sebebi kalıp içindeki PLA miktarının, kalıbın yüksekliğinin üzerine çıkamamasından dolayı basınç uygulayacak koşulların oluşmamasıdır. Kalıbın üstünün açık olması, hot-press cihazının üst plakasının üretim için kullanılan kalıba değmediğini açıklamaktadır.

Biyokompozitin üretimi:

İki PLA plakası ve keten lifini, tost şeklinde sırasıyla PLA tabakası, takviye tabakası, PLA tabakası halinde kalıbın içine yerleştirildi. Isınma süresinden soğutma süresine hiç basınç uygulanmadı. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. 20 dakika PLA'nın erimesi için bekleme süresi uygulandı. 20 dakika kalıbın soğuması için soğuma süresi uygulandı.

Deney sonuçları:

Presli üretim olmadığı için tahmin edildiği üzere kalıp dışına PLA taşması olmadı. PLA plakalarının boyutları kalıptaki istenen boyuta ulaşamadı. Biyokompozit üretildiğinde bunun giderilebileceği düşünüldü. Fakat kompozit üretildiğinde de kompozitin boyutu kalıpta istediğimiz kare numune boyutuna ulaşmadı (Şekil 3.7). Yani malzeme (PLA) köşelere ulaşamadı. Kompozit sadece tam boyutlu olarak üretilemedi. Geriye kalan tüm hususlar kompozitin üretilmesi bakımından sağlandı. PLA plakası için kullanılan gramajın, PLA tüm köşelere yayılana arttırılmasına karar verildi.



Şekil 3.7 : Kalıbın köşelerine ulaşamayan PLA tabakası.

Deneme 4:

66 gram granül haldeki PLA kalıp içine yerleştirildi. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. 20 dakika PLA'nın erimesi için bekleme süresi uygulandı. Deneme 1'de söz edilen soğutma aşamaları aynen uygulandı. 20 dakika kalıbın soğuması için soğuma süresi uygulandı. Kalıbın üstü açık şekilde ve basınç olmadan üretim gerçekleştirildi. Basınç olmamasının sebebi kalıp içindeki PLA miktarının, kalıbın yüksekliğinin üzerine çıkamamasından dolayı basınç uygulayacak koşulların oluşmamasıdır. 0.7 mm kalınlık elde edildi. PLA köşelere yetmediği için tekrar malzeme eklenmiştir.

Azar azar ekleme yapılarak deneme yanılma yoluyla toplam 130 gram granül haldeki PLA kalıp içine yerleştirildi. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. PLA köşelere çok büyük oranda ulaştı. PLA tabakaları istenen forma ulaştı. Bu aşamadan sonra biyokompozit, 130 gramlık tabakalar halinde (Toplamda 260 gram PLA) hot-press cihazında plakalar şeklinde üretilip daha sonra iki üretilmiş PLA plakaları arasına takviye malzemesi koyularak tost şeklinde üretilmiştir.

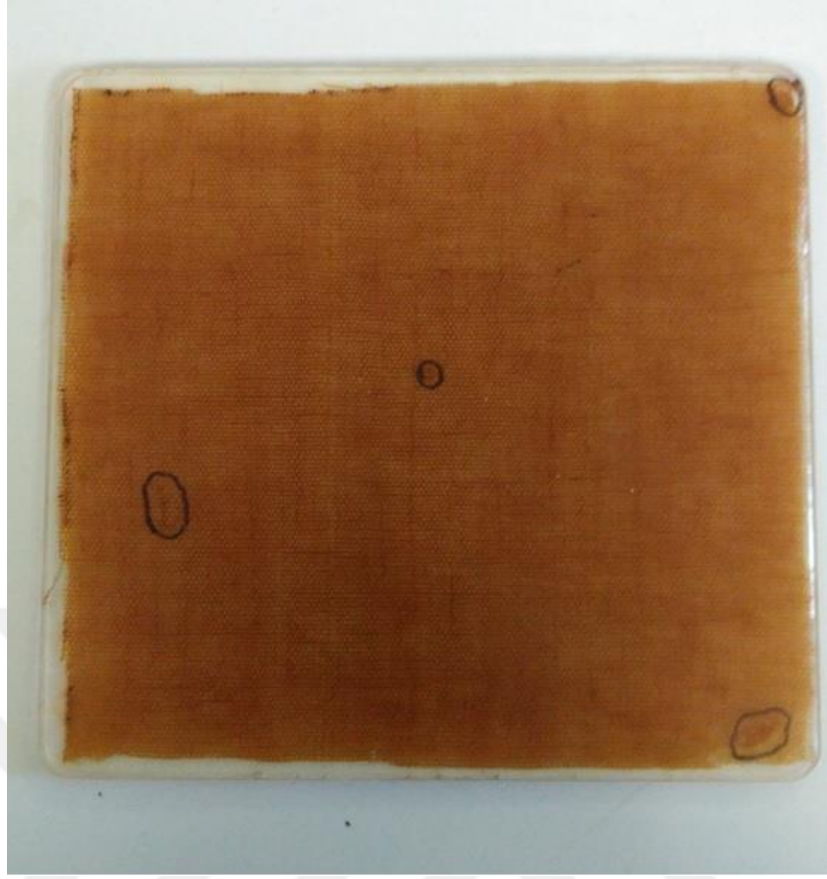
İki PLA plakası ve jüt kumaşı, tost şeklinde sırasıyla PLA tabakası, takviye tabakası, PLA tabakası halinde kalıbın içine yerleştirildi. Isınma süresinden soğutma

süresine kadar yani tüm üretim süreci boyunca hiç basınç uygulanmadı. 190°C de 30 dakika süreyle kalıp için ısınma süresi uygulandı. 20 dakika PLA'nın erimesi için bekleme süresi uygulandı. 20 dakika kalıbın soğuması için soğuma süresi uygulandı. Bu proses sonucunda elde edilen numune Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Jüt/PLA kompoziti.

Çekme ve üç nokta eğme testleri için gerekli olan kare numune böylece hazırlandı. Bu aşamadan itibaren sadece kare numunenin lazer kesimle kesilmesi sonucu ASTM D3039 standardı için çekme numunesi boyutlarına ve ASTM D7264 standardı için üç nokta eğme numunesi boyutlarına getirildi. PLA/Keten kompozit plakalarda benzer bir prosesle üretilmiştir ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

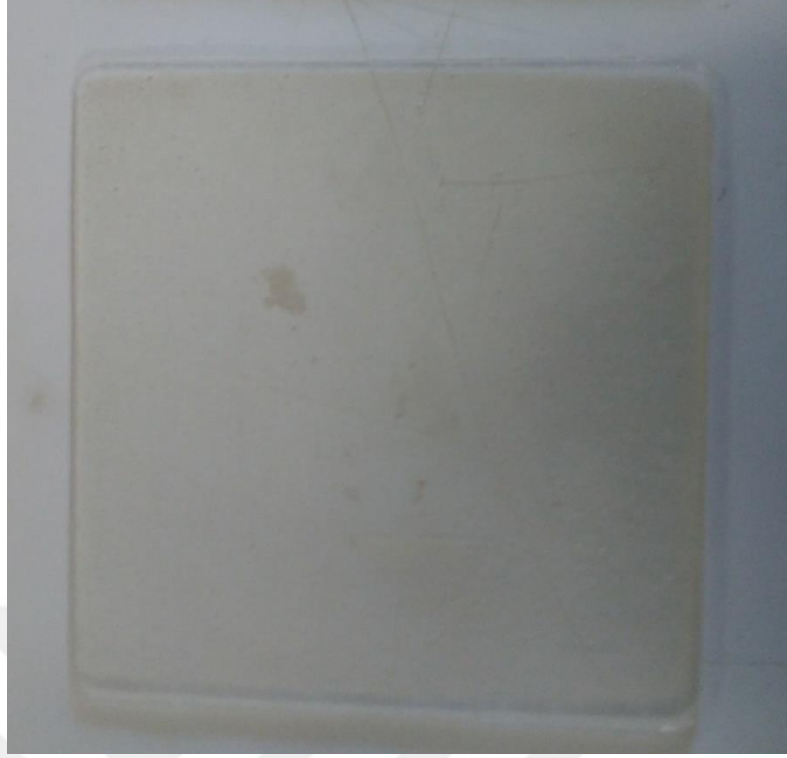


Şekil 3.9 : Keten/PLA kompoziti.

Saf PLA plakasının üretimi:

İki adet PLA plakasının ayrı ayrı üretilip ardından birleştirilerek üretilen biyokompozitler boyutunda bir PLA tabakası üretilmesine karar verildi. Kompozit boyutunda saf PLA plakası üretilmesinin sebebi saf PLA plakasını jüt/PLA ve keten/PLA kompozitleriyle kıyaslayarak takviye malzemesinin kompozite olan etkilerini belirleyebilmektir.

Özetle, önce iki adet 130 gr'lık PLA tabakası üretilmiş ardından 2 plakanın üst üste koyularak, basınçsız bir şekilde, üretilen biyokompozitlerin boyutunda saf bir PLA tabakasının üretilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Saf PLA plakası.

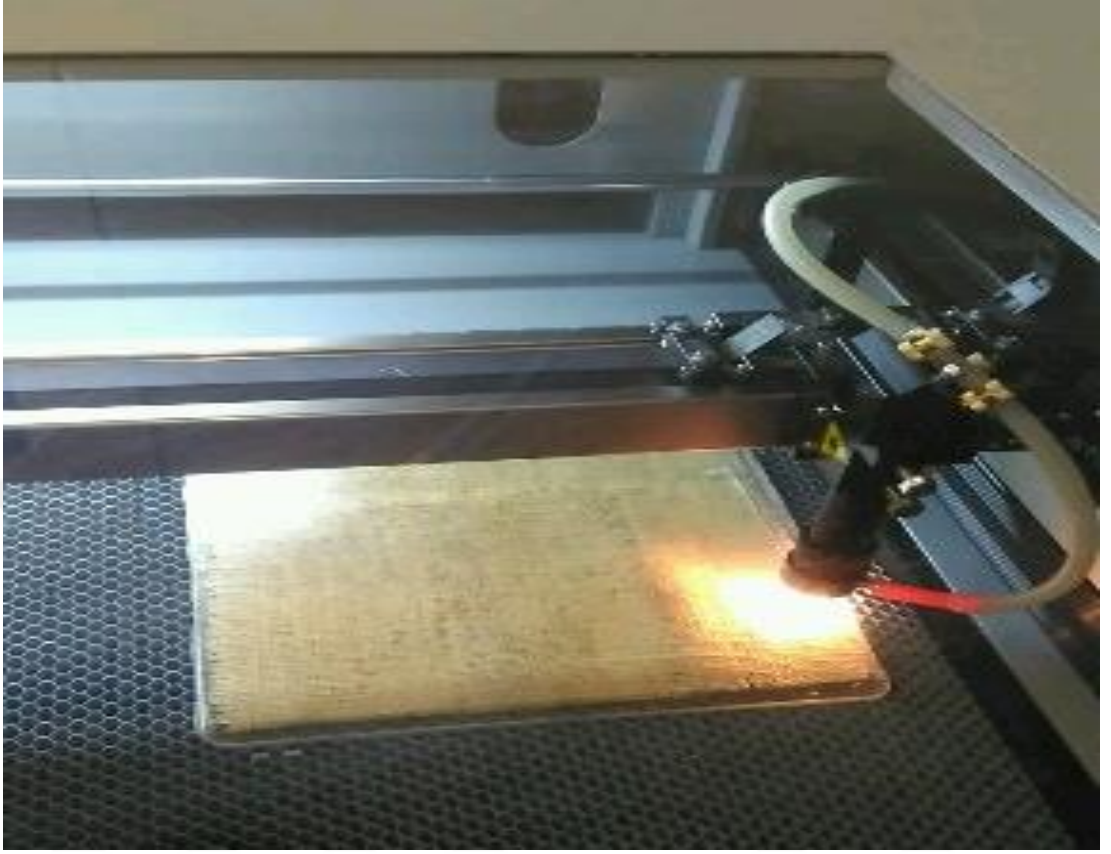
Sonuç olarak, Saf PLA plakası, jüt/PLA kompoziti, keten/PLA kompoziti, çekme ve üç nokta eğme testlerindeki standartlara uygun şekilde lazer kesimle kesilmek üzere hazır duruma getirildi.

3.2.2 Üretilen biyokompozitin mekanik testleri

Çekme testlerini yapabilmek için mevcut olan kare numuneler çekme numunesi haline getirildi. Bunun için lazer kesimle ASTM D3039 standardına göre kare numuneler kesildi ve standarda uygun çekme numuneleri meydana getirildi. Üç nokta eğme testlerini yapabilmek için mevcut olan kare numuneler üç nokta eğme numunesi haline getirildi. Bunun için lazer kesimle ASTM D7264 standardına göre kare numuneler kesildi ve standarda uygun üç nokta eğme numuneleri meydana getirildi.

Lazer kesimi yapabilmek için Autocad programında kare numunenin şekli daha sonra kare numunenin şeklinin içine ASTM D3039 standardına göre çekme numunesinin şekli ve ASTM D7264 standardına göre üç nokta eğme numunesinin şekli çizildi. Çizilen bu şekil lazer kesim programına tanıtılarak ve kare numuneden bir referans noktası belirlenerek saf PLA, keten/PLA ve jüt/PLA biyokompozitinin

kesimi gerçekleştirildi. Bu proses şekil 3.11’de gösterilmiştir ve bu proses neticesi elde edilen çekme ve  noktalı eğme numunesi şekil 3.12’de verilmiştir.



şekil 3.11 : Kare numunenin lazer kesimle hazırlanması.



şekil 3.12 : Çekme ve  nokta eğme testi numunesi.

3.2.2.1 Çekme Testi

Çekme testi Shimadzu® marka 250 kN kapasiteli video extansometreli elektomekanik universal çekme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz (Şekil 3.13) Bursa Teknik Üniversitesi makine mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunmaktadır.



Şekil 3.13 : Çekme Deneyinde kullanılan universal çekme cihazı ve tutucu çeneler. Her bir numune için gerçekleştirilen çekme testi spesifikasyonları aşağıda verilmiştir.

Saf PLA tabakası çekme testi deneyleri:

PLA-1 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 25 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.95 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 51.2168 MPa

Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.70-5.00 mm arasında değiştiği görülmüştür. Bu deneyde numune çenelerden kaydığı için test 2 defa yapılmıştır. Deney 3 dakika sürmüştür.

PLA-2 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 25 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.95 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 46.3206 MPa

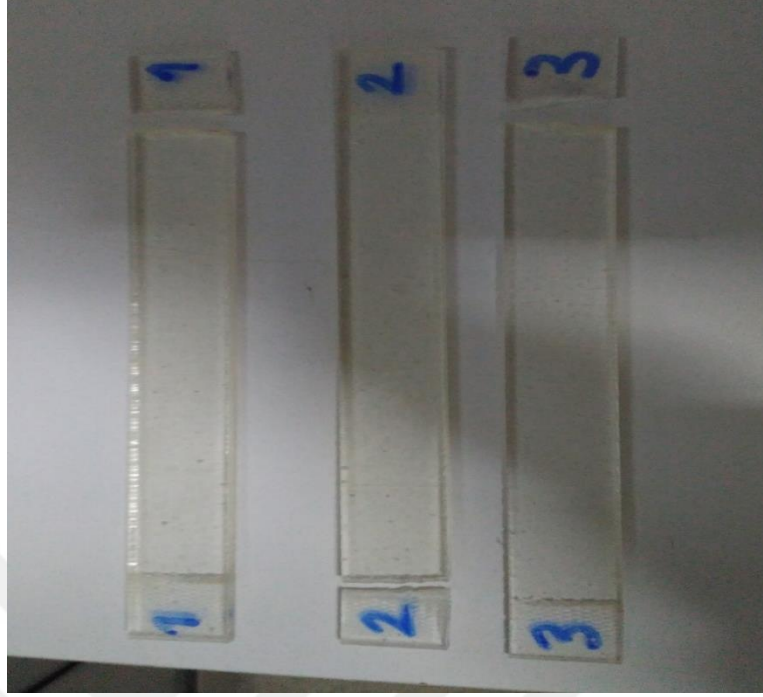
Bu deneyde numune çenelerden kaydığı için test 2 defa yapılmıştır. Deney 3 dakika 30 saniye sürmüştür.

PLA-3 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.85 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.70 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 43.6827 MPa

Deney 2 dakika 13 saniye sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.50-4.90 mm arasında değiştiği görülmüştür.

Bu üç numuneye ait çekme testi sonucu kırılan numuneler Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14 : Test edilmiş saf PLA plakası çekme numuneleri.

Keten/PLA kompoziti çekme testi deneyleri

PLA/Keten-1 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.9 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.35 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 13.9759 MPa

Numunede PLA yetersizliğinden dolayı delik olduğundan numune erken kırıldı. Deney 1 dakika 12 saniye sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.30-4.50 mm arasında değiştiği görülmüştür.

PLA/Keten-2 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.75 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.50 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 16.7490 MPa

Deney 1 dakika sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.39-4.90 mm arasında değiştiği görülmüştür.

PLA/Keten-3 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.85 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.40 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 16.9161 MPa

Deney 1 dakika sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.35-4.60 mm arasında değiştiği görülmüştür.

PLA/Keten-4 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.75 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.55 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 17.2227 MPa

Deney 30 saniye sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.40-4.65 mm arasında değiştiği görülmüştür.

Şekil 3.15’de deney sonrası numune fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.15 : Test edilmiş keten/PLA kompoziti çekme numuneleri.

Jüt/PLA kompoziti çekme testi deneyleri

PLA/Jüt-1 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 25 mm
- Numunenin Kalınlığı = 5 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 7.85224 MPa

Numunede PLA yetersizliğinden dolayı delik olduğundan numune erken kırıldı. Deney 1 dakika 12 saniye sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.95-5.10 mm arasında değiştiği görülmüştür.

Deneyde tam kopma gözlenmedi. Büyük oranda kopma deneyin 3. dakikasında gerçekleşti. Deneyde PLA tabakasında kopma gerçekleşirken jüt lifinin aynı kuvvetle koparılamadığı gözlemlendi. Jüt kumaşı çekme cihazının çenelerinin aşağı ve yukarı doğru daha fazla bir kuvvetle çekilmesi sonucu tamamen birbirinden ayrıldı.

PLA/Jüt-2 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.80 mm
- Numunenin Kalınlığı = 5 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 7.15801 MPa

Numunede PLA yetersizliğinden dolayı delik olduğundan numune erken kırıldı. Deney 28 saniye sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.95-5.10 mm arasında değiştiği görülmüştür. Deneyde tam kopma gözlenmediği için büyük oranda kopma (PLA tabakasının kopması) baz alındı. Önceki deneydeki gibi PLA tabakasında kopma gerçekleşirken jüt lifinin aynı kuvvetle koparılamadığı gözlemlendi. Jüt kumaşı çekme cihazının çenelerinin aşağı ve yukarı doğru daha fazla bir kuvvetle çekilmesi sonucu tamamen birbirinden ayrıldı.

PLA/Jüt-3 numunesi çekme testi

- Numunenin Genişliği = 24.90 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.90 mm
- Çekme Hızı = 2 mm/dk
- Çekme Gerilmesi Değeri = 7.48677 MPa

Numunede PLA yetersizliğinden dolayı delik olduğundan numune erken kırıldı.

Deney 15 saniye sürmüştür. Bu deneyde numunelerin kalınlık bakımından çeşitli bölgelerde ölçümü yapıldığında 4.85-5 mm arasında değiştiği görülmüştür. Deneyde tam kopma gözlenmediği için büyük oranda kopma (PLA tabakasının kopması) baz alındı. Önceki deneydeki gibi PLA tabakasında kopma gerçekleşirken jüt lifinin aynı kuvvetle koparılamadığı gözlemlendi. Jüt kumaşı çekme cihazının çenelerinin aşağı ve yukarı doğru daha fazla bir kuvvetle çekilmesi sonucu tamamen birbirinden ayrıldı.

Şekil 3.16'da deney sonrası numune fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.16 : Test edilmiş jüt/PLA kompoziti çekme numuneleri.

3.2.2.2 Üç nokta eğme testi deneyi

Üç nokta eğme testi Shimadzu marka 1 kN kapasiteli masaüstü tipi elektromekanik üniversal çekme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz için özel olarak üç nokta eğme aparatı kullanılmıştır. Deneyin görüntüsü, 3 nokta eğme aparatıyla birlikte Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 : Biyokompozit üç nokta eğme testi.

PLA-1 numunesi üç nokta eğme testi

- Numunenin Genişliği = 26.2 mm
- Numunenin Kalınlığı = 5 mm
- Test Hızı = 1 mm/dk
- Maksimum Eğilme Gerilmesi Değeri = 8.44727 MPa

Deney 26 dakika sürmüştür.

PLA/Keten-1 numunesi üç nokta eğme testi

- Numunenin Genişliği = 25 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.47 mm
- Test Hızı = 1 mm/dk
- Maksimum Eğilme Gerilmesi Değeri = 12.1442 MPa

Deneyin başlamasından 8 dakika 30 saniye sonra alttaki PLA tabakasının çatladığı gözlemlendi. Bu çatlamadan dolayı deney süresi 8 dakika 30 saniye olarak kabul edildi.

PLA/Jüt-1 ÜN numunesi üç nokta eğme testi

- Numunenin Genişliği = 24.80 mm
- Numunenin Kalınlığı = 4.90 mm
- Test Hızı = 1 mm/dk
- Maksimum Eğilme Gerilmesi Değeri = 15.3421 MPa

Deneyin başlamasından 13 dakika sonra alttaki PLA tabakasının çatladığı gözlemlendi. Bu çatlamadan dolayı deney süresi 13 dakika olarak kabul edildi.

3.2.3 Üretilen biyokompozitte kullanılan lif ve kumaşların mekanik testleri

Materyal & Metodun bu aşamasında PLA kompozitlerinde kullanılmış olan lif ve kumaşların çekme testleri gerçekleştirildi. Hem lif çekme hem de kumaş çekme testinde yine Shimadzu markasının 5 kN kapasiteli üniversal çekme cihazı kullanılmıştır. Sadece kullanılan çeneler değiştirilmiştir. Çeneler tekstil ürünlerine özel olarak tasarlanmış çenelerdir ve testler Lif ve Polimer Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.



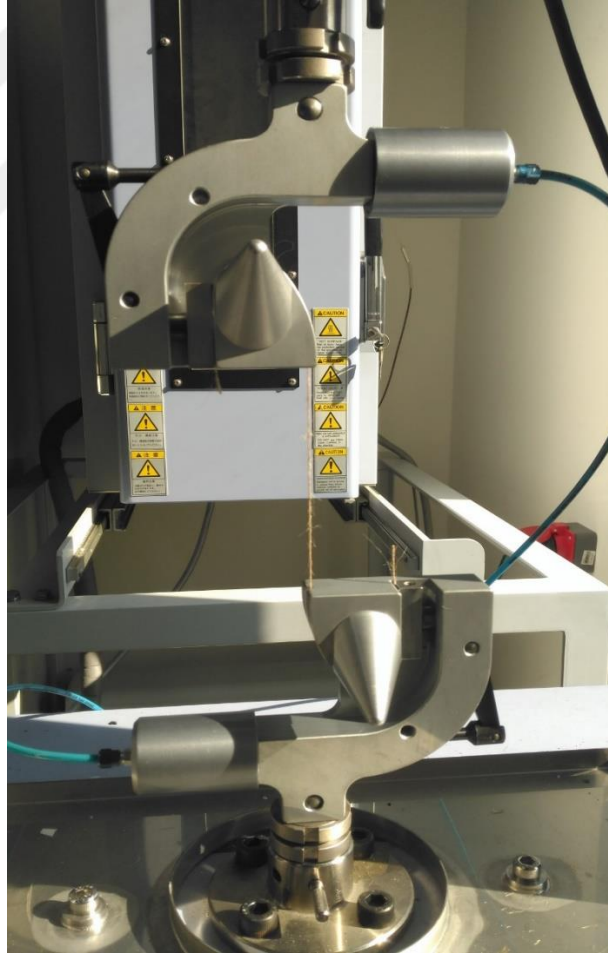
Şekil 3.18 : Shimadzu® 5 kN elektromekanik çekme cihazı –lif çekme çenesi.

Keten ve jüt lifinin çekme testinde ASTM D3822/D3822M – 14 standardındaki numune boyu ve çekme hızı referans alındı. Keten ve jüt kımasının çekme testinde ISO 13934-1 standardındaki numune boyu, numune genişliği ve çekme hızı referans alındı.

3.2.3.1 Lif çekme testleri

Keten lifi çekme testleri (Şekil 3.19)

- Lif Numune Boyu = 250 mm
- Çekme Hızı = 10 mm/dk
- Lif çapı=0.42 mm
- Çeneler Arası Mesafe = 100 mm
- Numune sayısı= 20



Şekil 3.19 : Keten lifi çekme deneyi.

Jüt lifi çekme testleri

- Lif Numune Boyu = 250 mm
- Lif Numune Çapı = 0,46 mm
- Çekme Hızı = 10 mm/dk
- Çeneler Arası Mesafe = 100 mm
- Numune sayısı= 20

3.2.3.2 Kumaş çekme testleri

Jüt kumaşı çekme testleri (Şekil 3.20)

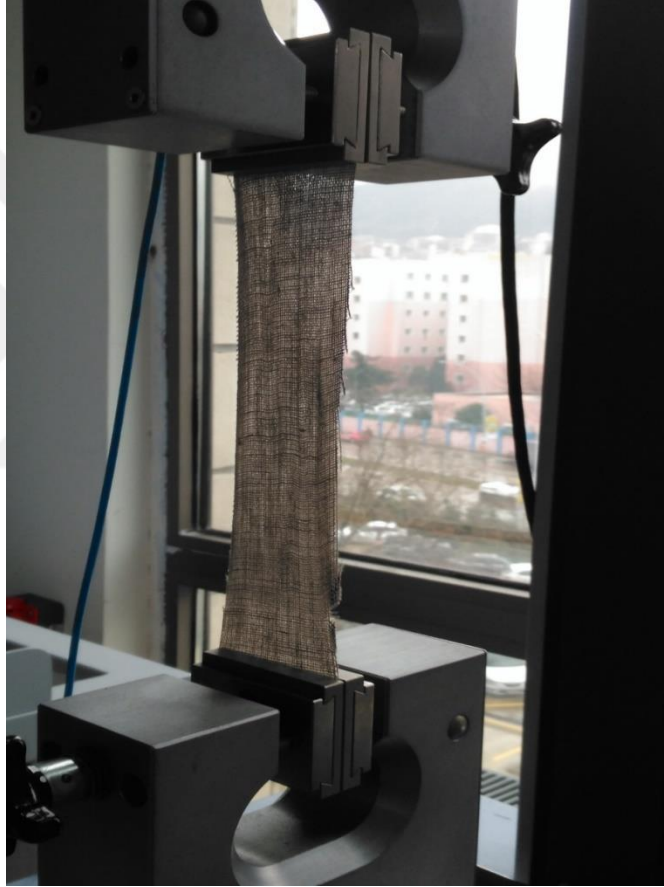
- Kumaş Numune Boyu = 270 mm
- Kumaş Numune Genişliği = 50 mm
- Kumaş Numune Kalınlığı = 0,7 mm
- Çekme Hızı = 100 mm/dk
- Çeneler Arası Mesafe = 200 mm
- Numune sayısı= 16.



Şekil 3.20 : Jüt kumaşı çekme deneyi.

Keten kumaşı çekme testleri (Şekil 3.21)

- Kumaş Numune Boyu = 270 mm
- Kumaş Numune Genişliği = 50 mm
- Kumaş Numune Kalınlığı = 0,4 mm
- Çekme Hızı = 100 mm/dk
- Çeneler Arası Mesafe = 200 mm
- Numune Sayısı= 15.



Şekil 3.21 : Keten kumaşı çekme deneyi.

4. TEORİK MUKAVEMET YAKLAŞIMI VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

4.1 Basit Mukavemet Yaklaşımı:

Temel mukavemet yaklaşımına dayanarak belirli bir yönde fiber ile desteklenmiş kompozit lamina tabakası için Şekil 3.22’de verilen mukavemet yaklaşımına göre, Fiber doğrultusu ve fibere dik doğrultularda eşdeğer malzeme özellikleri şu deneklemlerle ifade edilmektedir: [2]

$$E_1 = E_f \frac{A_f}{A_c} + E_m \frac{A_m}{A_c} \quad (4.1)$$

$$\frac{1}{E_2} = \frac{1}{E_f} \frac{t_f}{t_c} + \frac{1}{E_m} \frac{t_m}{t_c} \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{G_f} \frac{t_f}{t_c} + \frac{1}{G_m} \frac{t_m}{t_c} \quad (4.3)$$

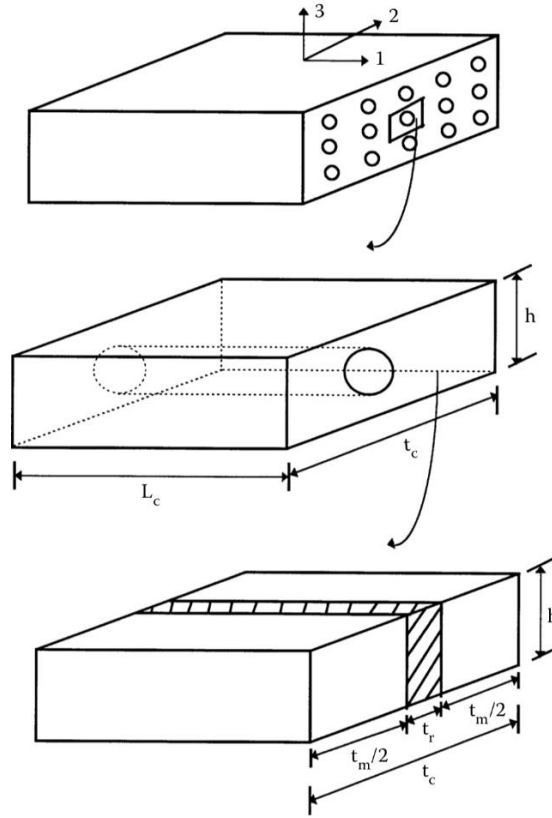
$$\nu_{12} = \nu_f \frac{t_f}{t_c} + \nu_m \frac{t_m}{t_c} \quad (4.4)$$

Burada,

E_1 = fiber yönünde elastisite modülü , E_2 = fibere dik yönünde elastisite modülü, ν_{12} = 1-2 doğrultusunda poisson oranı ve G_{12} = 1-2 doğrultusunda kayma modülü olarak verilir.

E_m =Matris malzemesinin elastisite modülü (PP ya da PLA için), G_m = Matris malzemesinin kayma modülü (PP ya da PLA için), E_f =Fiber malzemesinin elastisite modülü (Keten ya da Jüt için), G_f = Fiber malzemesinin kayma modülü (Keten ya da Jüt için), ν_m =Matris malzemesinin poisson oranı, ν_f =Fiber malzemesinin poisson oranı, t_f = Fiber malzemesinin kalınlığı, t_m = Matris malzemesinin kalınlığı, t_c = Kompozitin kalınlığı, A_f = Fiber malzemesinin alanı, A_m = Matris malzemesinin alanı

ve A_c = Kompozitin alanı (Keten/PLA,Keten/PP ve Jüt/PLA,Jüt/PP için) olarak verilir.



Şekil 4.1 : Tek yönlü fiber destekli kompozit için temsili hacim eleman ve büyüklükler. [2]

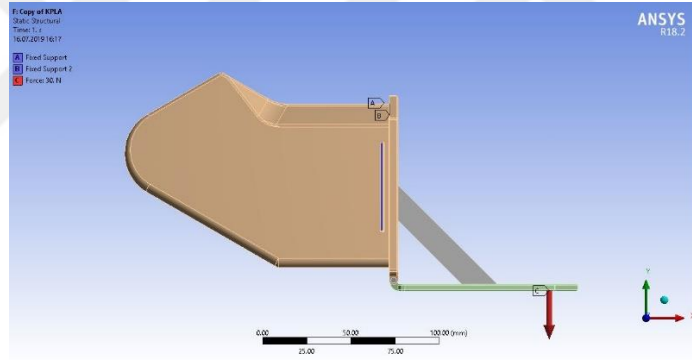
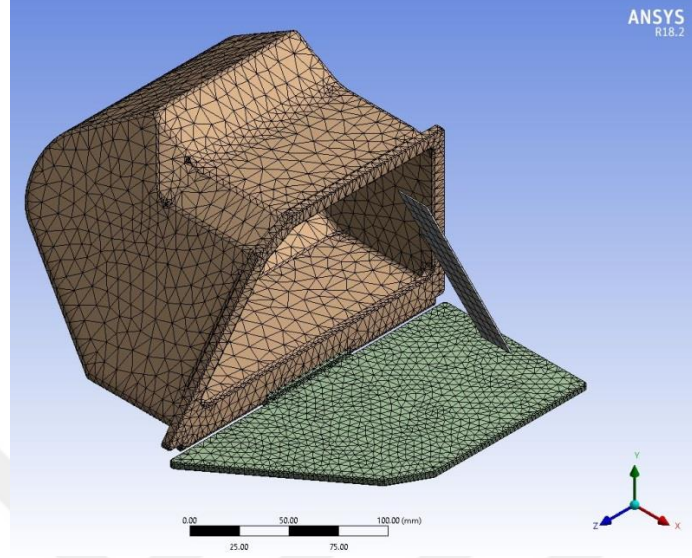
Kumaş takviyeli kompozitlerde, her iki doğrultuda fiber takviyesi söz konusu olduğundan E_1 ve E_2 değerlerinin yaklaşık aynı olması beklenmektedir.

Bu çalışmada matris ve kumaşlar için E değerleri çekme deneylerinden elde edilen değerlere göre alınmıştır ve bu değerler literatürde bu malzemeler için verilen değerlerle kıyaslanmıştır.

4.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Torpido Gözü Analizi

Elde edilen kompozitlerin alternatif uygulama alanı olarak torpido gözü parçası seçilmiştir. Günümüzde kapı panellerinde özellikle kenaf takviyeli polyester sıklıkla kullanılmaktadır ancak torpido gözü gibi hareketli ve mekanik yüklemelerin olduğu parçalar kullanılmamaktadır.

Sonlu Elemanlar simülasyonu için Ansys Workbench yazılımından yararlanılmıştır. Sınır koşulları, mesh yapısı ve kullanılan malzeme girdileri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Outline of Schematic F2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	JPLA			
4	JPLA2			
5	JPLA3			
6	PLA			
7	PP			
8	Structural Steel			
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 5: JPLA3				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	E
2	Material Field Variables	Table		
3	Orthotropic Elasticity			
4	Young's Modulus X direction	1965	MPa	
5	Young's Modulus Y direction	1E+05	MPa	
6	Young's Modulus Z direction	1965	MPa	
7	Poisson's Ratio XY	0.1		
8	Poisson's Ratio YZ	0.1		
9	Poisson's Ratio XZ	0.357		
10	Shear Modulus XY	155.79	MPa	
11	Shear Modulus YZ	155.79	MPa	
12	Shear Modulus XZ	155.79	MPa	

Şekil 4.2 : Torpido Gözü Mesh yapısı, sınır koşulları ve malzeme girişi.

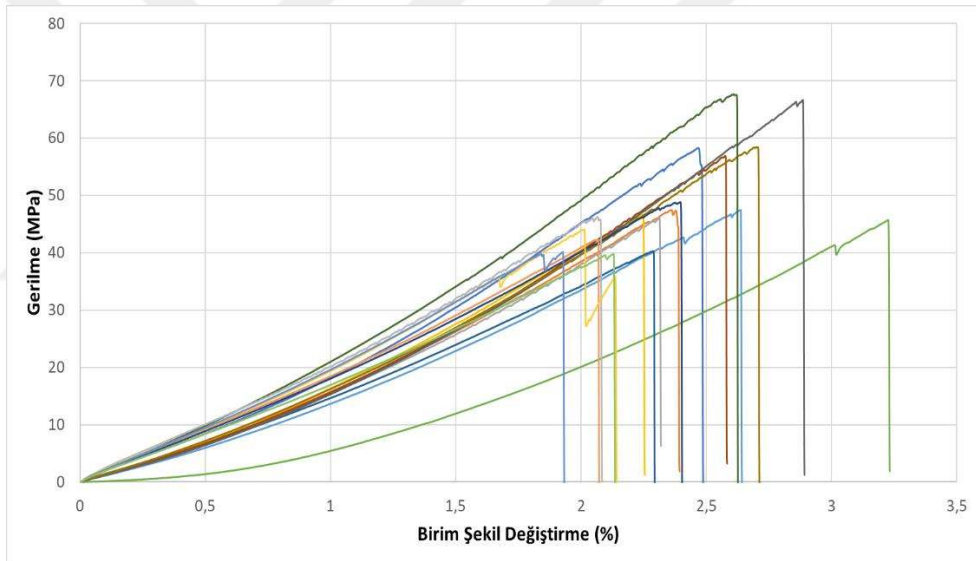
Burada şekilde görüldüğü gibi torpido gözü üç boyutlu olarak modellenmiş, tetra mesh yapısı kullanılmıştır. Sınır koşulları olarak, torpido gözü tırnak kısımlarından sabitlenmiş ve kapağın uç kısmından 30 N yük tatbik edilmiştir. Kapak ve hazne için altı farklı malzeme özelliği tanımlanmıştır. Tanımlanan malzemeler şunlardır: Saf PP, Saf PLA, PP/Keten, PP/Jut, PLA/Keten ve PLA/Jut. Saf malzemeler isotropik elastik malzeme olarak girilmiştir ve elastisite modülleri yukarıda tarif edilen çekme deneylerinden elde edilmiş, Poisson oranları çeşitli literatürden alınmıştır. Kompozitlerin özellikleri denklem (4.1) - (4.4) ile elde edilmiştir. Burada matris ve kumaş elastisite modülleri yine çekme deneylerinden elde edilmiş Poisson oranları literatürden alınmıştır. Kalınlık oranları üretilen kompozitler baz alınarak hesaplanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

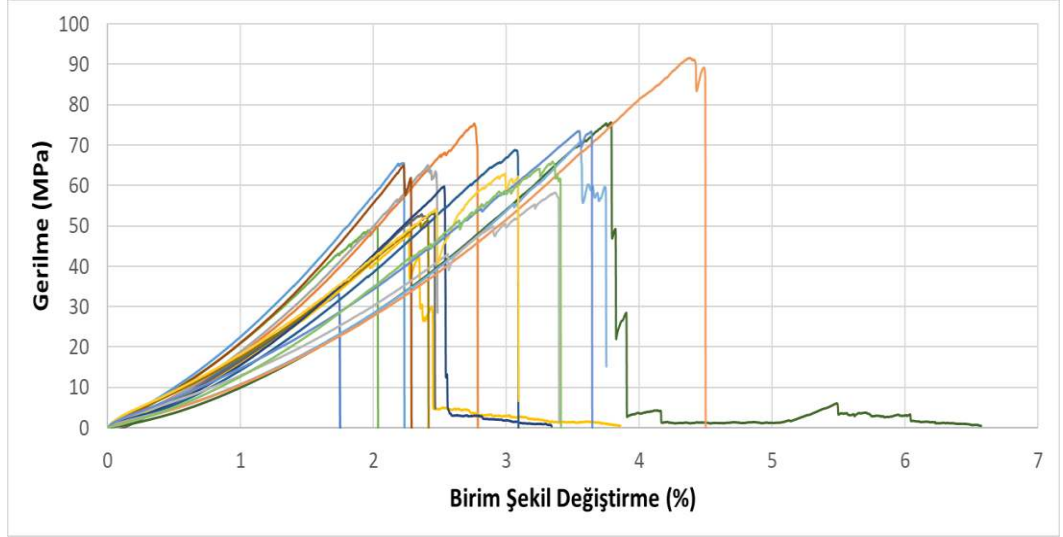
5.1 Çekme Testi Sonuçları

5.1.1 Lif ve Kumaş Çekme Testi Sonuçları

Yukarıda materyal metot kısmında tarif edildiği şekliyle uygulanan çekme testleri için elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.1-Şekil 5.4 arasında sunulmuştur.

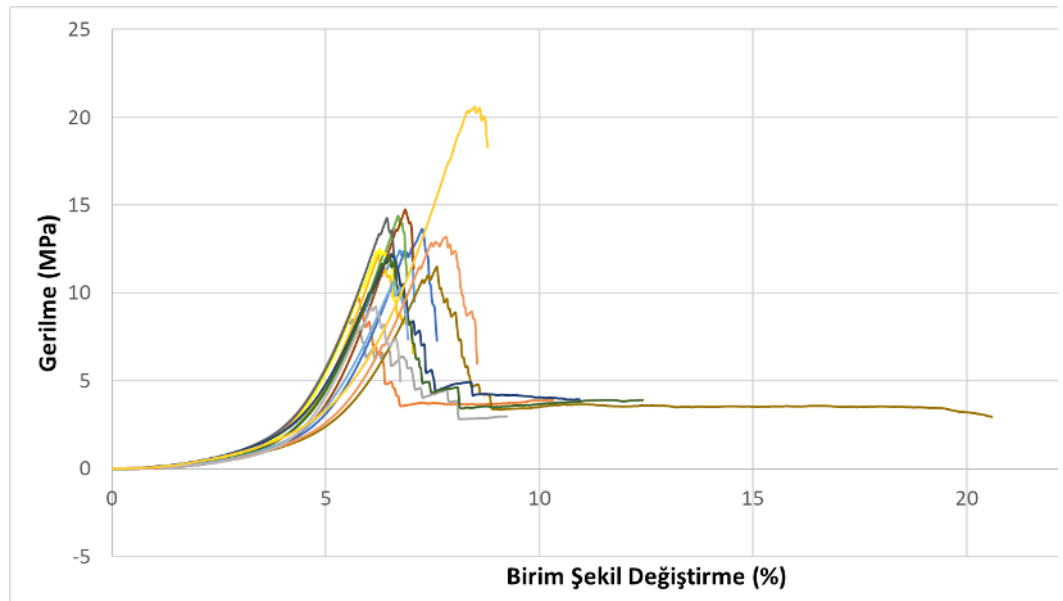


Şekil 5.1 : Jüt İplik Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).

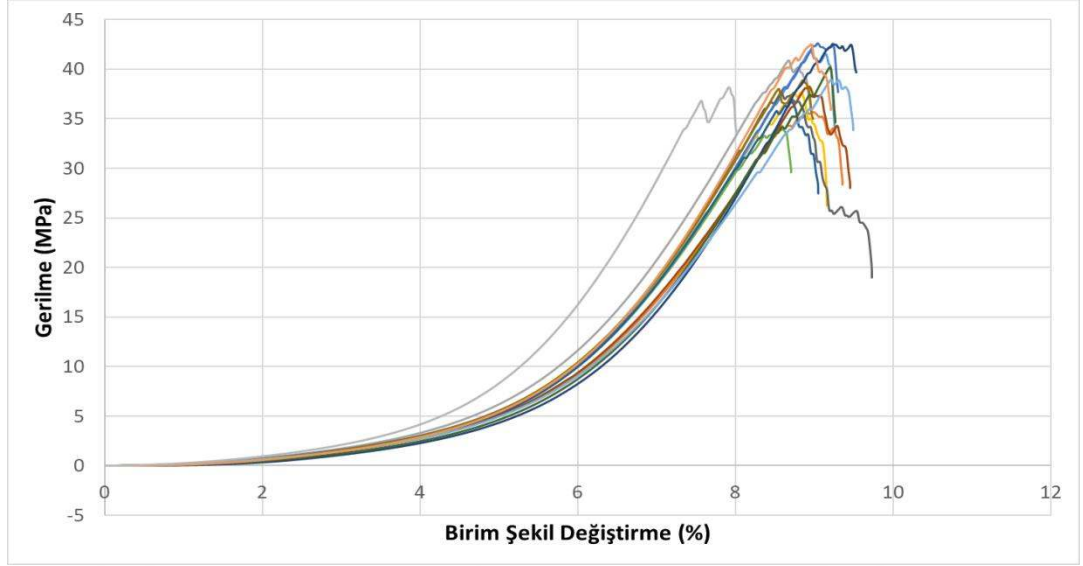


Şekil 5.2 : Keten İplik Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).

Görüldüğü gibi Keten iplik çekme numuneleri için maksimum dayanım genel olarak 50-70 MPa arasında değişmektedir. En düşük 33.24 MPa en yüksek ise 91.63 MPa değerini almıştır. Jüt iplik çekme numuneleri genel olarak 45-60 MPa arasında değişmektedir. En düşük 39.77 MPa en yüksek ise 67.64 MPa değerini almıştır. Birim şekil değiştirme kapasiteleri anlamında önemli bir fark yoktur. Ancak bazı keten iplikler bazı jüt ipliklerden düşük mukavemet gösterebilmektedir. Temel davranış olarak jüt ipliklerin daha tekrarlanabilir, keten ipliklerin ise daha saçılımı bir davranış gösterdiği görülmektedir. Bu da ketenin yapısında daha fazla kusur olabileceği ihtimalini çağrıştırmaktadır.



Şekil 5.3 : Jüt Kumaş Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).



Şekil 5.4 : Keten Kumaş Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).

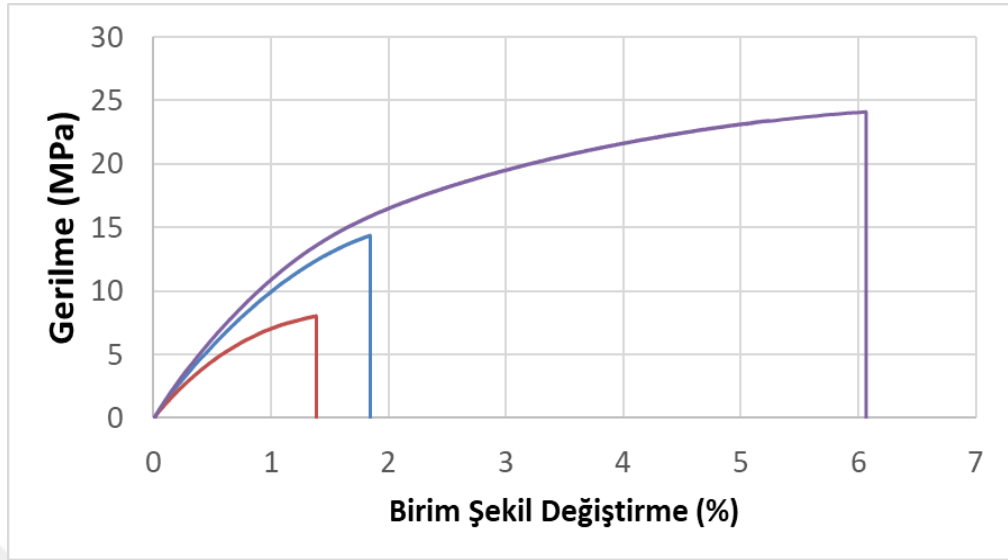
Jüt kumaş çekme numunelerinin maksimum çekme kapasitesi genel olarak 9-15 MPa arasında değişmektedir. En düşük 8.58 MPa en yüksek ise 20.62 MPa değerini almıştır. Keten kumaş çekme numuneleri genel olarak 35-42 MPa arasında değişmektedir. En düşük 34.27 MPa en yüksek ise 42.56 MPa değerini almıştır.

Sonuçlardan açıkça görülüyor ki çekme mukavemeti bakımından keten kumaş jüt kumaşa göre çok daha avantajlıdır. Diğer yandan numunelerin davranışlarının keten kumaşa daha tekrarlanabilir olduğu (eğriler büyük oranda üst üste oturmaktadır) görülmektedir. Bu da iplikte ortaya çıkan kusurların twill dokuma kumaşa kompanze edilebildiği anlamına gelmektedir. Jüt kumaşa ise daha saçılımlı bir davranış söz konusudur. Bu da jütün dayanımının daha az olmasından dolayı çekme sırasında daha fazla kırışmasına bağlanabilir.

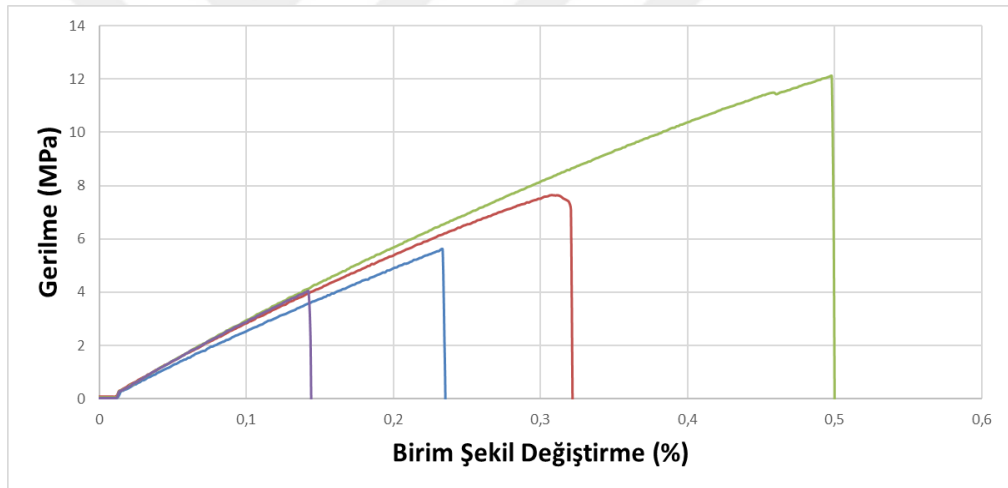
Bir diğer husus, kumaşın lineer değil parabolik bir davranış göstermesidir ki kumaş çekildikçe kumaşın dayanımı artmaktadır. Doğrusal olan bir kısım vardır ancak bu kısım yaklaşık % 3-4 birim şekil değiştirme miktarlarına kadar sürmektedir.

Bu sonuçlara göre iplik dayanımı ile kumaş dayanımı arasında bir bağ vardır ve keten iplik ve keten kumaş nispeten daha mukavemetlidir. Ancak keten iplikte daha fazla saçılım vardır. Öbür yandan kumaşa, jütün daha fazla kırışmasından dolayı ketene göre daha fazla saçılım gösterir.

5.1.2 Saf matris çekme deneyi sonuçları



Şekil 5.5 : Saf PP Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).



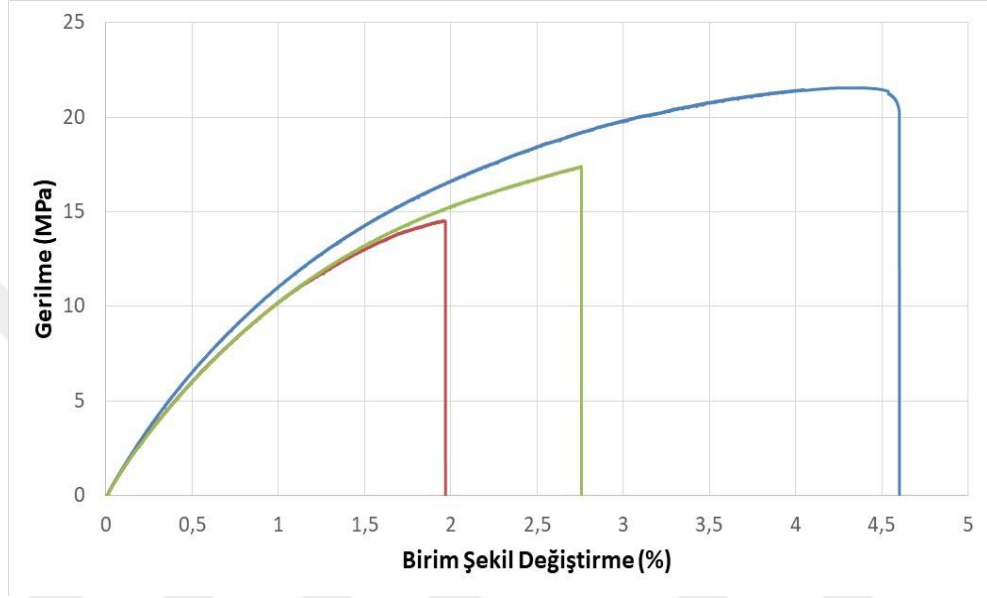
Şekil 5.6 : Saf PLA Çekme Testi Sonucu gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri (Tüm Numuneler).

Şekil 5.5 ‘de görüldüğü gibi Saf PP çekme numunelerinin maksimum dayanımı 8-24 MPa arasında değişmektedir. En düşük 8.05 MPa en yüksek ise 24.1 MPa değerini almıştır. Davranışı doğrusal değildir. Uzama kapasiteleri numuneler arasında farklılıklar göstermektedir ancak davranış üç numunede de benzerdir. Şekil 5.6’da görüldüğü üzere, saf PLA çekme numuneleri genel olarak 5-12 MPa arasında çekme dayanımı göstermektedir. En düşük 5.61 MPa en yüksek ise 12.13 MPa değerini almıştır. Numunelerin uzama kapasiteleri ve dayanımları arasında ciddi farklar mevcuttur. Bunlar, numunelerdeki hava boşlukları ve bölgesel kusurlara bağlıdır.

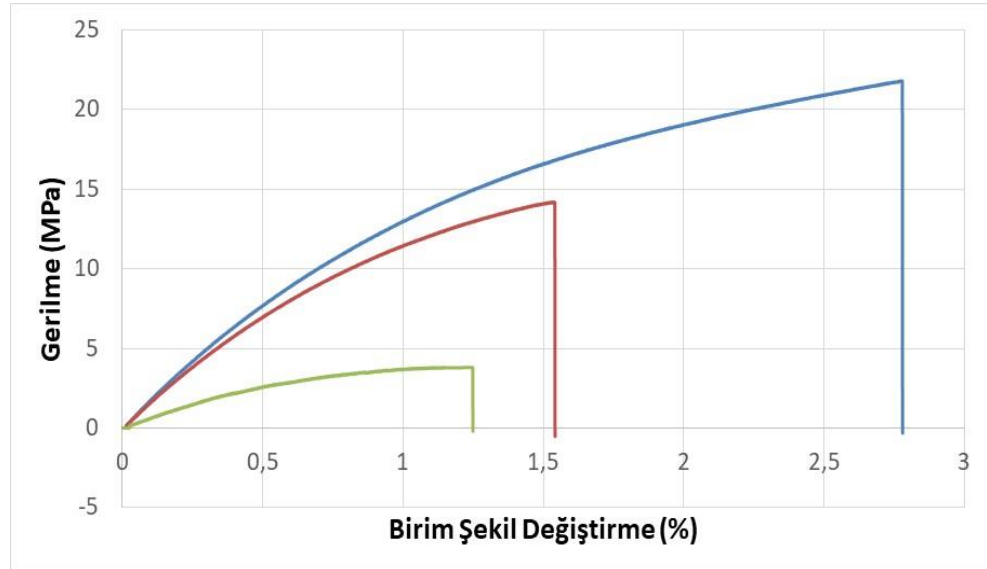
Diğer taraftan lineer davranış gösterdiği aşıkardır ve rijitlik değerleri numunelerde hemen hemen aynıdır.

Saf PLA ve saf PP karşılaştırıldığında, çok sayıda ısıtma-soğutma işlemi yapıldığı zaman saf PP için sonuçların PLA'dan daha iyi çıktığı açıkça görülmektedir.

5.1.3 Kompozit çekme deneyi sonuçları



Şekil 5.7 : PP/Jüt kompoziti çekme numuneleri grafiği.



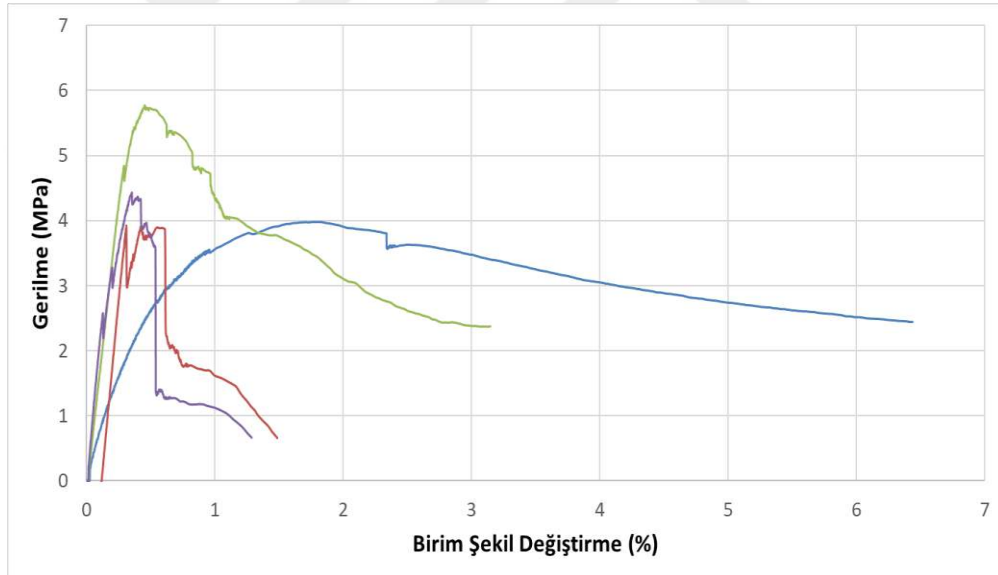
Şekil 5.8 : PP/Keten kompoziti çekme numuneleri grafiği.

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi Jüt/PP çekme numunelerin çekme dayanımı genel olarak 14-22 MPa arasında değişmektedir. En düşük 14.53 MPa en yüksek ise 21.55 MPa değerini almıştır.

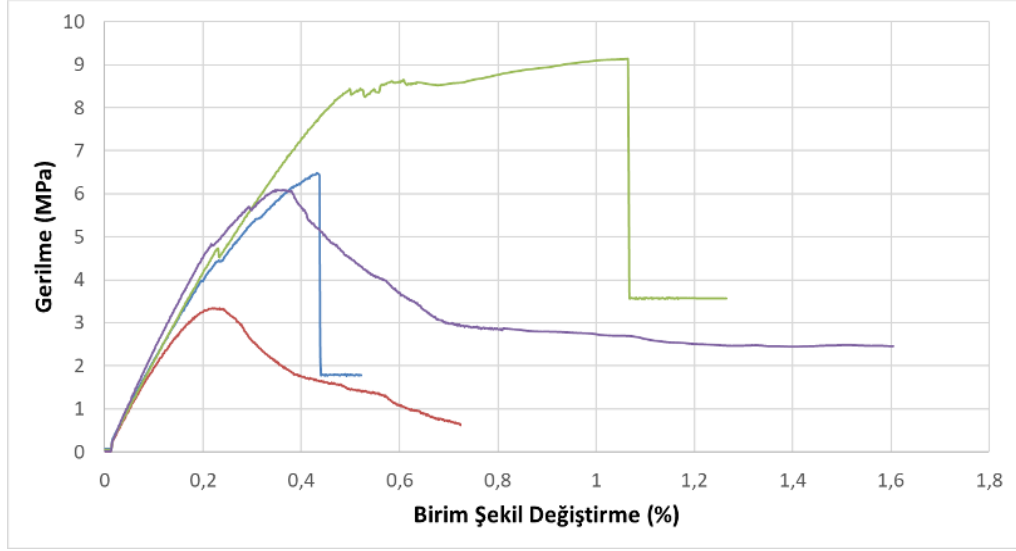
Şekil 5.8’de görüldüğü gibi, Keten/PP çekme numuneleri genel olarak 3-21 MPa arasında değişmektedir. En düşük 3.82 MPa en yüksek ise 21.80 MPa değerini almıştır.

Genel olarak incelediğinde jüt takviyeli PP kompozitlerin, keten takviyeli PP kompozitlerle çekme testi bakımından birbirine benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Burada 3.82 MPa değeri veren numune,kare numuneden spatula ile ayrılma sonucunda darbe alması ve çatlak oluşumu sebebiyle bu sonucu vermiştir.

Özetle PP kompozitleri için takviye bakımından jüt ya da keten kullanımının mekanik değerler açısından çok fazla bir etkisi olmadığı, benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu sonucun arayüzey bağının tam oluşmaması nedeniyle olmuş olabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca çevrim prosesi yani ısıtma-soğutma işlemi ne kadar az yapılırsa kompozit o kadar iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü ön testlerde alınan değerler daha iyi çıkmıştır. Şu an ki mekanik verilere bakılarak ekonomik olarak jütün kullanımı PP kompozitleri için daha uygun ve mantıklı görülmüştür.



Şekil 5.9 : PLA/Jüt kompoziti çekme numuneleri grafiği.



Şekil 5.10 : PLA/Keten kompoziti çekme numuneleri grafiği.

PLA/Jüt çekme numunelerinin çekme dayanımı genel olarak 3-6 MPa arasında değişmektedir. En düşük 3.92 MPa en yüksek ise 5.77 MPa değerini almıştır. (Şekil 5.9).

Aşırı deforme olmuş Jüt/PLA çekme numuneleri genel olarak 2-9 N/mm² arasında değişmektedir. En düşük 2.15 MPa en yüksek ise 8.65 MPa değerini almıştır

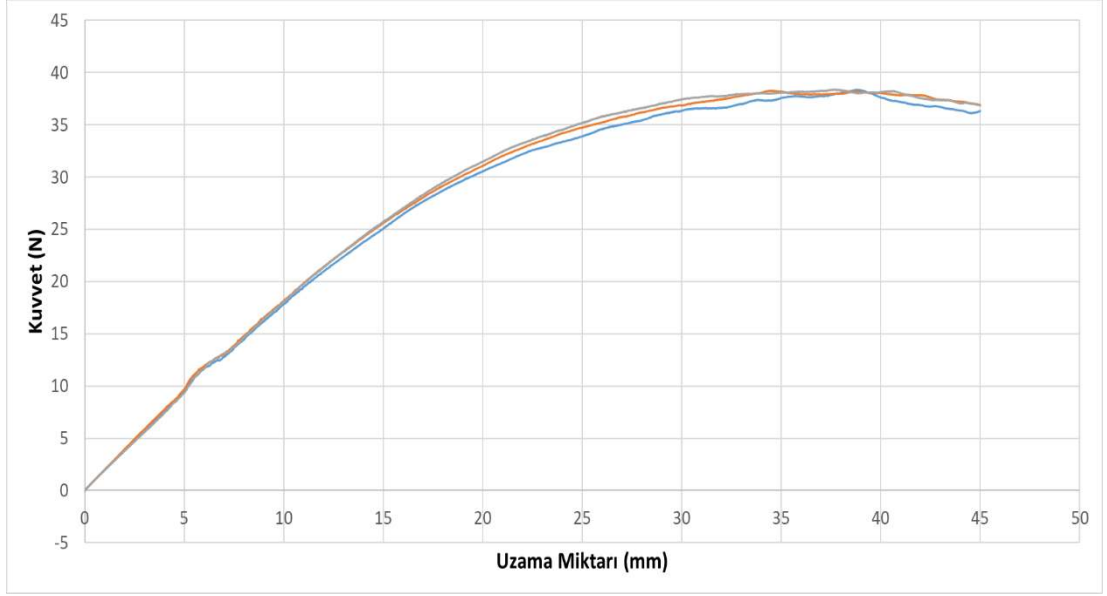
PLA/Keten çekme numuneleri genel olarak 3-9 MPa arasında değişmektedir. En düşük 3.33 MPa en yüksek ise 9.13 MPa değerini almıştır. (Şekil 5.10)

Genel olarak incelediğinde keten takviyeli PLA kompozitlerin, jüt takviyeli PLA kompozitlerinden çekme testi bakımından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Jüt takviyeli PLA kompozitlere baktığımızda ise genel sonuçlar bakımından daha çok ısıtma-soğutma işlemine tabi tutulmuş deforme PLA/Jüt olarak adlandırdığımız kompozitin mekanik değerlerinin daha çok düştüğü görülmektedir.

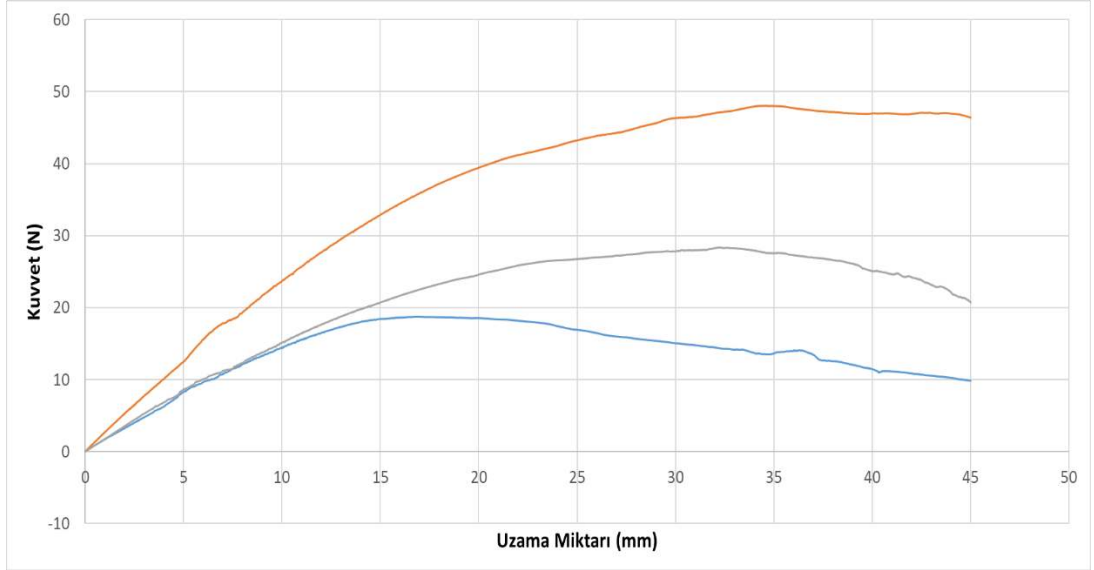
Özetle PLA kompozitleri için keten takviyesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca çevrim prosesi yani ısıtma-soğutma işlemi ne kadar az yapılırsa kompozit o kadar iyi sonuçlar vermektedir.

5.2 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Sırasıyla PP/Jüt, PP/Keten, PLA/Jüt, PLA/Keten için üç noktalı eğme deneyi sonuçları Şekil 5.11-14 arasında verilmiştir.



Şekil 5.11 :PP/Jüt için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği.



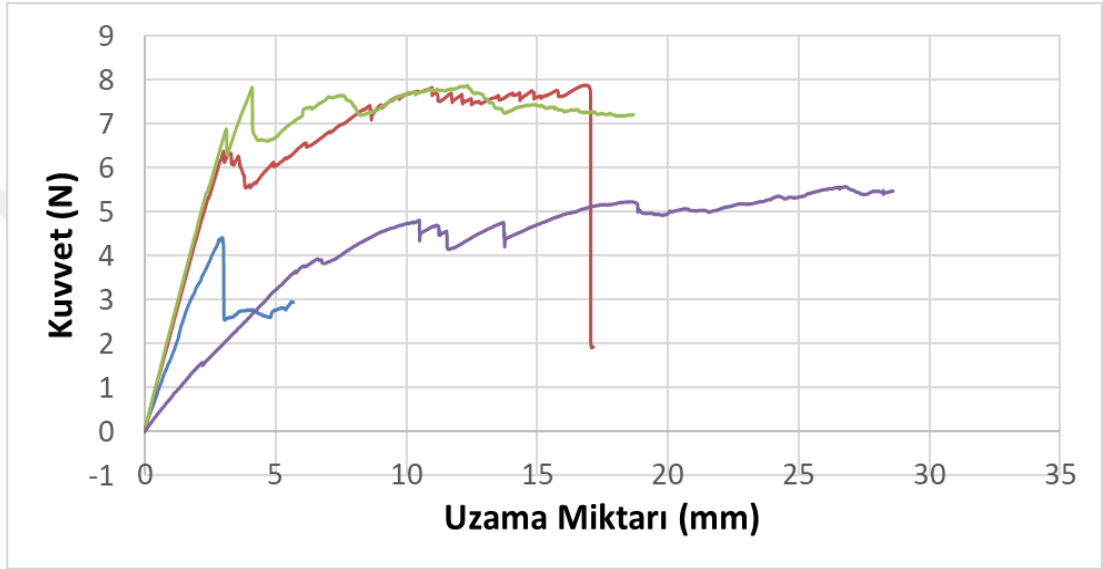
Şekil 5.12 :PP/Keten için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği.

PP/Jüt eğme numunelerine uygulanan maksimum kuvvet miktarı genel olarak 38-39 N arasında değişmektedir. En düşük 38.26 N en yüksek ise 38.37 N değerini almıştır. PP/Jüt eğme numunelerinde görülen maksimum uzama miktarı genel olarak 45-46 mm arasında değişmektedir. Üç nokta eğme testleri arasında en tekrar edilebilir sonuçlara bu deneyde ulaşılmıştır.

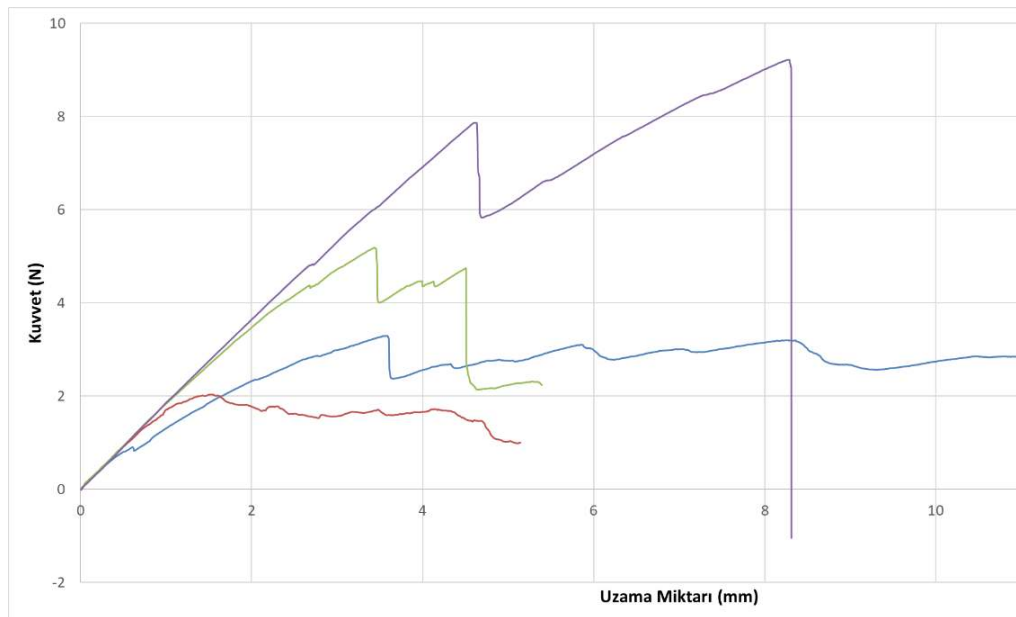
PP/Keten eğme numunelerine uygulanan maksimum kuvvet miktarı genel olarak 18-49 N arasında değişmektedir. En düşük 18.75 N en yüksek ise 48.06 N değerini almıştır.

PP/Keten eğme numunelerinde görülen maksimum uzama miktarı genel olarak 45-46 mm arasında değişmektedir.

Elde edilen deney sonuçlarından, uygulanan kuvvet ve uzama miktarı bakımından Jüt/PP kompoziti ile keten/PP kompozitinin birbirine yakın değerler sunması mümkündür. Ayrıca saf PP için de aynı uzama miktarları tespit edilmiştir. Genel olarak varılan kanaat her ne kadar basınç uygulandıysa da arayüzey bağıni oluşmadığı ve tekrar edilen ısıtma-soğutma işleminin mekanik özellikleri düşürdüğüdür. Ayrıca yapılan testlerde genel olarak jüt ya da keten takviyeli PP kompozitlerinin saf PP'nin uzama değerlerini aşamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.13 :PLA/Jüt için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği.



Şekil 5.14 :PLA/Keten için üç noktalı eğme kuvvet-deplasman grafiği.

PLA/Jüt eğme numunelerine uygulanan maksimum kuvvet miktarı genel olarak 4-8 N arasında değişmektedir. En düşük 4.41 N en yüksek ise 7.88 N değerini almıştır. PLA/Jüt eğme numunelerinde görülen maksimum uzama miktarı genel olarak 5-30 mm arasında değişmektedir.

PLA/Keten eğme numunelerine uygulanan maksimum kuvvet miktarı genel olarak 2-10 N arasında değişmektedir. En düşük 2.03 N en yüksek ise 9.22 N değerini almıştır.

PP/Keten eğme numunelerinde görülen maksimum uzama miktarı genel olarak 1-9 mm arasında değişmektedir.

Elde edilen deney sonuçlarından, uygulanan kuvvet ve uzama miktarı bakımından Jüt/PLA kompozitinin, keten/PLA kompozitinden daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Özetle PLA kompozitleri için eğme deneylerinde jüt takviyesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca çevrim prosesi yani ısıtma-soğutma işlemi ne kadar az yapılırsa kompozit o kadar iyi sonuçlar vermektedir.

Genel olarak varılan kanaat her ne kadar basınç uygulandıysa da arayüzey bağıni oluşmadığı ve tekrar edilen ısıtma-soğutma işleminin mekanik özellikleri düşürdüğüdür. Ayrıca yapılan testlerde genel olarak jüt ya da keten takviyeli PLA kompozitlerinin saf PLA'nın uzama değerlerini aşamadığı tespit edilmiştir. Bu tespitin PP ve PP kompozitleri içinde geçerli olduğu görülmüştür.

5.3 Analitik Yaklaşım ve Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

Deneysel yaklaşımla elde edilen sonuçlarda üretim proseslerinde ortaya çıkan kusurlardan dolayı, belli bir karşılaştırma mümkün olsa da tam anlamıyla tekrar edilebilir sonuçlar yakalamak güçtür. Ancak bir şekilde mükemmel birleşimin sağlandığı varsayılırsa temel mukavemet yaklaşımına göre kompozitlerden beklenecek davranışlar tahmin edilebilecektir. Buna göre, Bölüm 4'te verilen denklemlere göre, tek yönlü fiber takviyeli ideal yapışmalı bir kompozit için, 3 mm kalınlıkta bir kompozitte numunede 0.70 mm jüt, ve 0.40 mm keten lif olursa elde edilecek eşdeğer özellikler belirlenmiştir. Burada çekme deneylerinden elde edilen verilere göre matrisler ve kumaşlar için kullanılan elastisite modülü değerleri şu şekildedir:

$$E_{PLA}=2.528$$

$$E_{PP}=0.915$$

$$E_{Keten}=0.271$$

$$E_{Jüt}=0.115$$

Bu değerler literatürde bu malzemeler için verilen değerlerle uyumludur. Buna göre kompozitler için ortaya çıkan ortotropik malzeme özellikleri şu şekildedir:

- PLA/Jüt tek yönlü fiber takviyeli kompoziti için değerler

$$E_1 = 1.964967 \text{ GPa}$$

$$E_2 = 0.4287695 \text{ GPa}$$

$$\nu_{12} = 0.357$$

$$G_{12} = 0.1557917 \text{ GPa}$$

- PP/Jüt tek yönlü fiber takviyeli kompozit için değerler

$$E_1 = 7.283333 \text{ GPa}$$

$$E_2 = 3.488122 \text{ GPa}$$

$$\nu_{12} = 0.411$$

$$G_{12} = 0.1253196 \text{ GPa}$$

- Keten/PLA tek yönlü fiber takviyeli kompozit için değerler

$$E_1 = 2.227067 \text{ GPa}$$

$$E_2 = 1.197846 \text{ GPa}$$

$$\nu_{12} = 0.330$$

$$G_{12} = 0.4747336 \text{ GPa}$$

- Keten/PP tek yönlü fiber takviyeli kompozit için değerler

$$E_1 = 0.8291333 \text{ GPa}$$

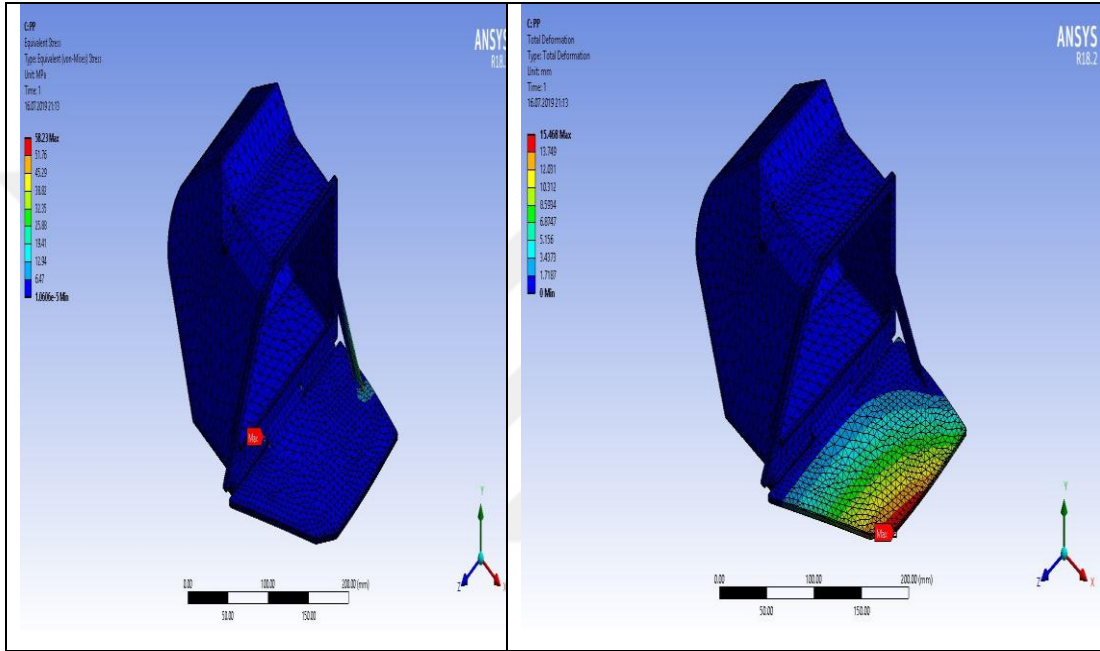
$$E_2 = 0.6948393 \text{ GPa}$$

$$\nu_{12} = 0.391$$

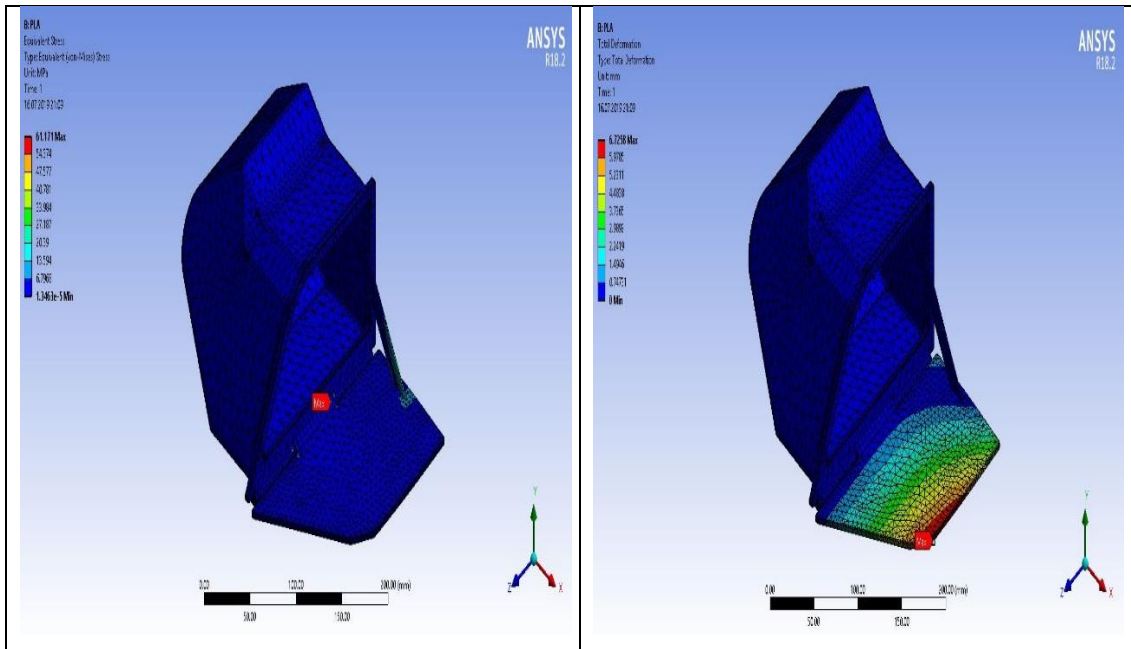
$$G_{12} = 0.2583450 \text{ GPa}$$

Kumaş takviyeli kompozit için ideal yapışmalı ve hava boşluksuz durumda E_1 ve E_2 aynı değeri alacaktır.

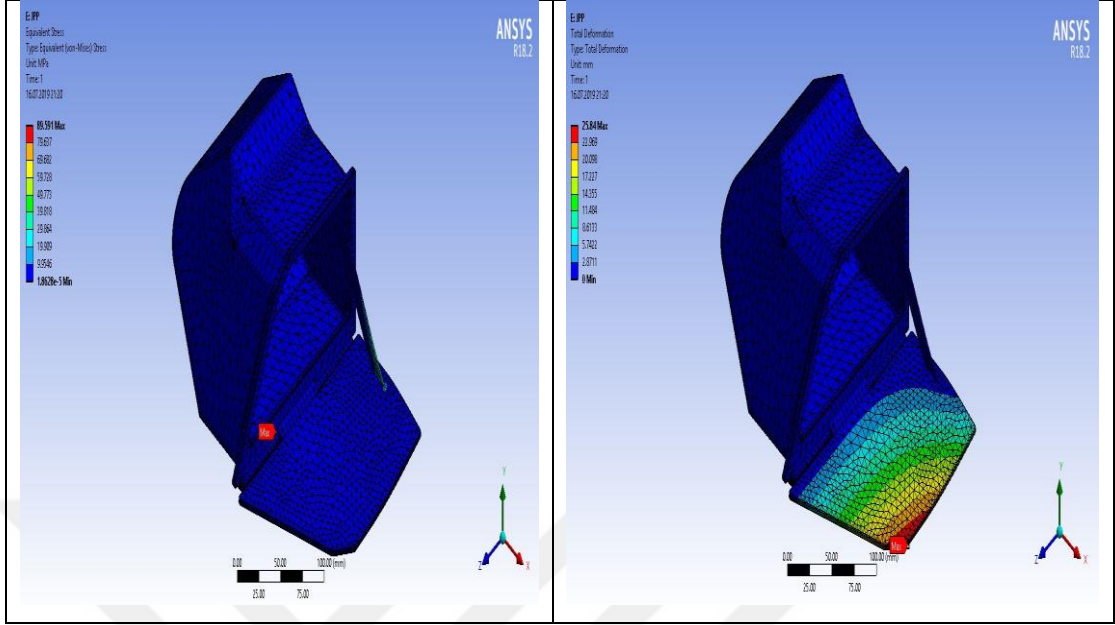
Bu değerler malzeme parametresi olarak girildiğinde verilen sınır şartlarına göre sonlu elemanlar analizi sonuçları saf PP, Saf PLA ve tüm kompozit kombinasyonları için aşağıda Şekil 5.15-5.20 arasında verilmiştir. Bu analizlerde kalınlık doğrultusunda şekil değişimlerini minimize edecek şekilde E_3 değerleri oldukça rijit girilmiştir.



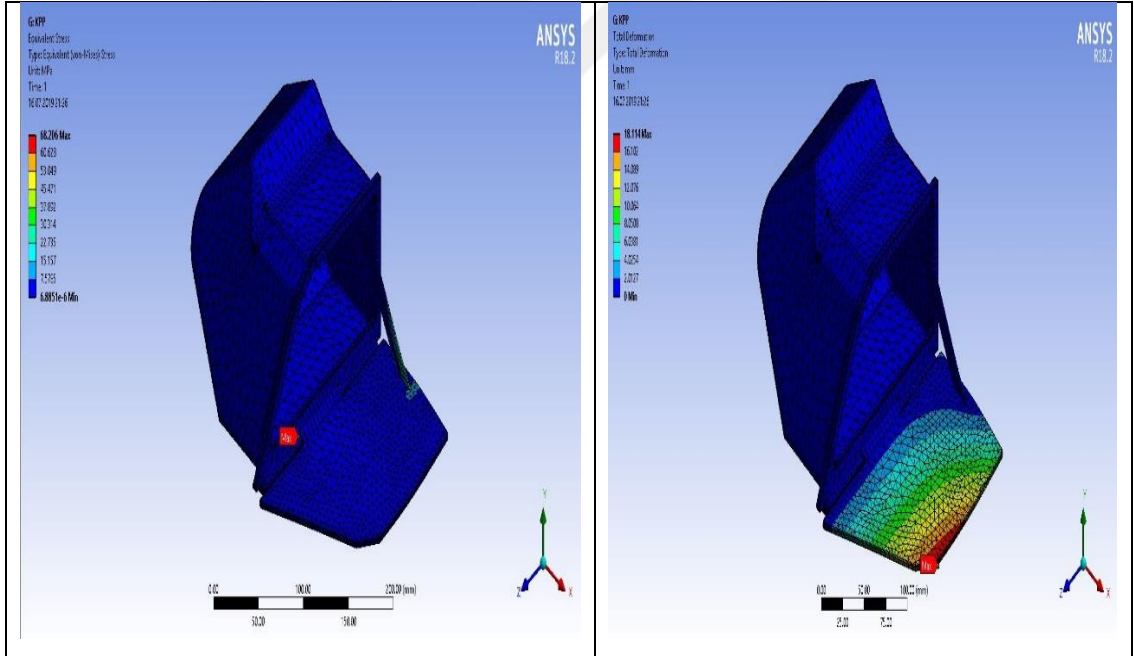
Şekil 5.15 Saf PP Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.



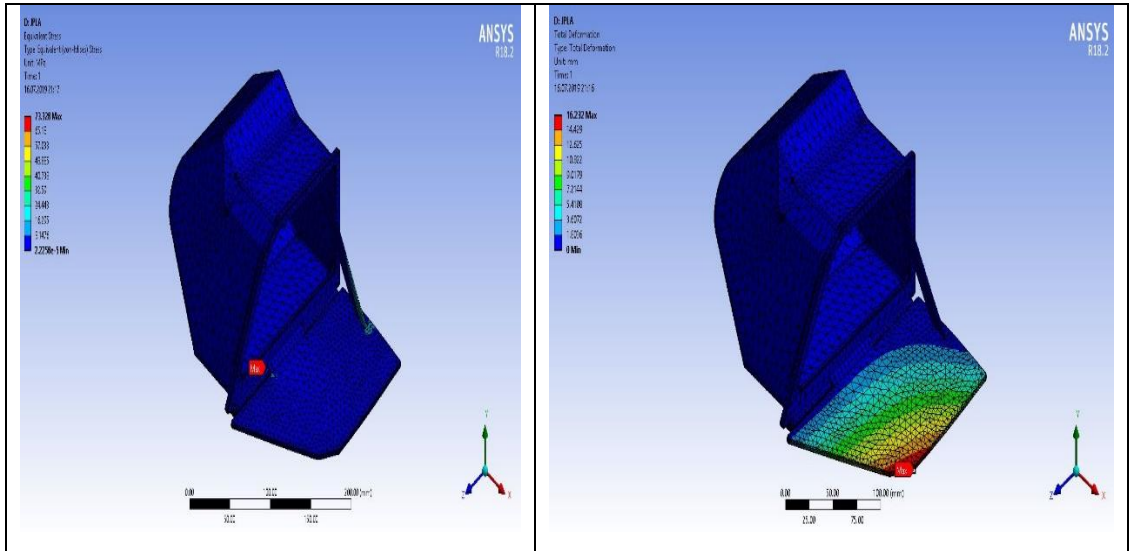
Şekil 5.16 Saf PLA Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.



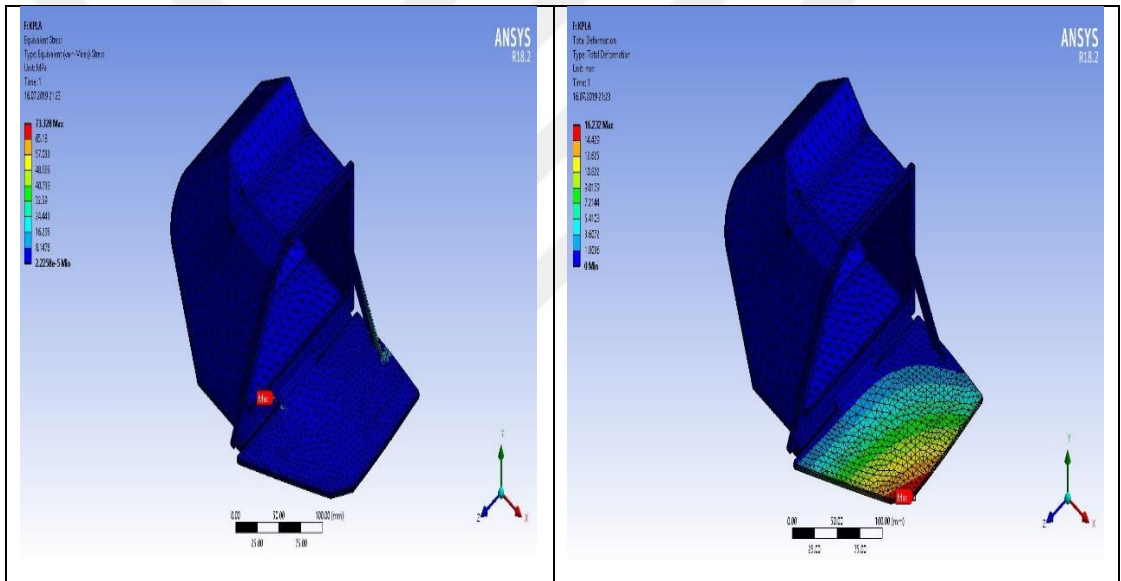
Şekil 5.17 PP/Jüt Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.



Şekil 5.18 PP/Keten Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.



Şekil 5.19 PLA/Jüt Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.



Şekil 5.20 PLA/Keten Toprido Gözü için gerilme ve şekil değişimi dağılımı.

Saf PP malzemesi seçildiğinde 58.23 MPa'lık maksimum gerilme ve 15.47 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. Saf PLA malzemesi seçildiğinde 61.17 MPa'lık maksimum gerilme ve 6.72 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir.

Torpedo gözü malzemesi olarak saf PLA seçilirse meydana gelen maksimum gerilme saf PP'den çok az yüksek çıkmaktadır. Fakat, yer değiştirmelere bakıldığında saf PLA malzemesinde meydana gelen maksimum deformasyon miktarı saf PP malzemesinin maksimum deformasyon miktarından çok daha küçüktür. Bu durumda saf PLA malzemesinin seçilmesi daha uygundur.

PP/Jüt kompozit malzemesi seçildiğinde 89.59 MPa'lık maksimum gerilme ve 25.84 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Jüt kompozit malzemesi seçildiğinde 73.33 MPa'lık maksimum gerilme ve 16.23 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Jüt ve PP/Jüt malzemeleri kıyaslandığında, PLA/Jüt malzemesi hem daha düşük maksimum gerilmeye hem de daha düşük maksimum yer değiştirme değerine sahiptir.

PP/Keten kompozit malzemesi seçildiğinde 68.21 MPa'lık maksimum gerilme ve 18.12 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Keten kompozit malzemesi seçildiğinde 73.33 MPa'lık maksimum gerilme ve 16.23 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir.

PLA/Keten ve PP/Keten malzemeleri kıyaslandığında, PLA/Keten malzemesi seçildiğinde bir miktar daha yüksek maksimum gerilme çıkarken maksimum yer değiştirmelere bakıldığında PLA/Keten malzemesi daha düşük maksimum yer değiştirme değere sahiptir.

Tüm analiz sonuçlarına bakıldığında, en yüksek gerilme ve yer değiştirme değeri PP/Jüt malzemesinde meydana gelmiştir. En düşük gerilme değeri saf PP malzemesinde meydana gelirken maksimum yer değiştirme değeri diğer malzemelerle kıyaslandığında oldukça yüksektir. En düşük yer değiştirme değeri saf PLA malzemesinde meydana gelmektedir.

Burada hasar koşullarının daha iyi görülebilmesi için yüksek gerilme değerleri baz alınmıştır. Normalde bu çalışmada elde edilen malzeme dayanımlarına bakıldığında bu sonlu elemanlar sonuçlarına göre malzemelerin hepsi hasara uğrayacaktır. İdeal yapışmanın olduğu kompozitlerde bile hasar olacağı görülebilir. Çünkü PLA/Keten kompoziti ideal yapışma durumunda bile 40-50 MPa aralığında bir dayanıma sahip olacaktır. Ancak, doğrusal analiz gereği daha düşük yüklerde hasar olmayan durumlarda tamamen yukarıda verilen sonuçlara paralel sonuçlar gösterecektir. Kaldı ki kompozitlerin lineer davranış gösterdiği kabul edilebilir.

Buna göre ideal yapışma koşullarının koşulları ve hasarsızlık durumu düşünüldüğünde, yukarıdaki sonuçlardan yapılan projeksiyonla, PP/Keten'in en düşük gerilme, PLA/Jüt'ün ise en düşük yer değiştirme ortaya koyduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Bu çalışma hot press yöntemiyle üretilmiş tabakalı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenerek otomotiv alanında nasıl ve nerede kullanılacağını belirlemek için yapılmıştır. Tez çalışmasının sonucunda bu şekilde üretilmiş biyokompozitlerin çok fazla darbe dayanımı gerektirmeyen yerlerde kullanılmasının uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Buna kanaate torpido gözü örnek olarak verilebilir.

6.2 Sonuçların Genel Olarak Yorumlanması

Tez çalışmasında hot-press yöntemiyle hem matrisi hem de takviyesi doğal malzeme olan bir biyokompozit üretilmiştir. Fakat üretilen biyokompozitin hava boşlukları ve yapışma kusurları nedeniyle mekanik özellikleri otomotiv sektöründe kullanılacak kadar iyi değildir.

Bunun en baştaki sebebi üretilen biyokompozitlerin kullanılan her iki takviye malzemesine rağmen matrislerinin mekanik özelliklerinin üstüne çıkamamasıdır. Daha iyi bir şekilde açıklayacak olursak örneğin, keten/PLA kompozitinin mekanik sonuçları saf PLA'nın üstüne çıkamamıştır. Bunun sebebini iki şekilde açıklayabiliriz.

1-Kullanılan yöntem

2-Kullanılan malzemelerin ısı çevriminden dolayı özelliklerinin zayıflaması

6.2.1 Kullanılan yöntem

Kullanılan yöntem için bilimsel literatüre bakıldığında çift vidalı ekstruderle üretim görülmektedir. Ancak bu yöntemle uzun lif takviyeli kompozit üretmek mümkün değildir ayrıca üretilen kompozit görsel olarak zayıf olmaktadır. Özel sektör

uygulamalarına bakıldığında, SMC (Sheet molding compound, sıcak pres kalıplama) yönteminin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada görsel olarak tatmin edici olduğu için ve otomotivde daha rahat kullanılacağı için tabakalı kompozit üretilmiştir. Üniversite ya da sanayi bünyesinde SMC'den yararlanılamadığı için var olan ve en yakın seçenek olarak hot-press (Sıcak presleme) yöntemi tercih edilmiştir.

Bu yöntemin en büyük dezavantajı herşeyi manuel olarak kontrol etmek zorunluluğudur. Ayrıca cihazın tamamıyla kapalı olmamasından dolayı soğuturken baloncuk oluşmasına engel olunamamıştır.

Kullanılan yöntemdeki bir başka sorun ise kullanılan kalıpların hot press yöntemine uygun olmamasıdır. Çünkü biyokompozit üretilirken, tek seferde üretilmek istendiğinde, takviye malzemesi polimeri boşluklarından geçirerek kompozitin en alt kısmına inmektedir. Bu yüzden bir biyokompozit üretebilmek için önce saf biyopolimer tabakalarını (2 tabaka ve 2 kez) daha sonra ise takviye malzemesini iki tabakanın ortasına koyarak üretilmesi gerekmektedir. Bu da toplamda bir biyokompozit tabakası için 3 defa ısıtma anlamına gelmektedir. Bu da hem üretim süresi artışı hem de mekanik özelliklerin düşüşünü doğurmuştur.

6.2.2 Kullanılan malzemelerin çevrim özelliği

Biyopolimer ve biyokompozitlerin dünyada popülerleşmesinin en güçlü sebeplerinden biri recycle (Geri dönüştürülebilir) ve reuse (yeniden kullanılabilir) olmalarıdır.

Ancak bu tez çalışmasında tekrar tekrar ısıtmanın özelliklerin kötüleşmesi gibi bir bedeli olduğu açıkça ortaya konmuştur.

6.2.3 Olumlu sonuçlar

Bu tez çalışmasında netice olarak hot press yöntemiyle tabakalı bir biyokompozit üretilbileceği ispatlanmıştır. Sadece prosesin iyileştirilmeye ihtiyacı vardır. En önemli sonucu ise insan sağlığına zararlı olmayan matrisi ve takviyesi %100 doğal malzemeden meydana gelen bir otomobil biyokompoziti üretilmiştir. Ayrıca ideal yapışma durumunda, mukavemet yaklaşımı ve sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre PLA/Jüt kompozitinin PP/Keten kompozitine önemli bir alternatif olabileceği keşfedilmiştir.

6.2.4 Hipotezlere göre sonuçların yorumlanması

Bu çalışmada temel olarak dört hipotez test edilmiştir:

Hipotez 1: PLA/Keten kompozit, PP/Keten kompozite mekanik özellikler bakımından alternatif olabilecek kadar dayanıklıdır.

1.Hipotez, tezde hem mekanik testler bakımından hem de sonlu elemanlar metodu bakımından incelenmiştir. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi, PP/Keten çekme numuneleri genel olarak 3-21 MPa arasında değişmektedir. En düşük 3.82 MPa en yüksek ise 21.80 MPa değerini almıştır. Şekil 5.10’da görüldüğü gibi, PLA/Keten çekme numuneleri genel olarak 3-9 MPa arasında değişmektedir.En düşük 3.33 MPa en yüksek ise 9.13 MPa değerini almıştır. Mekanik testler bakımından PP/Keten kompozitinin PLA/Keten kompozitinden daha iyi mekanik sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Sonlu elemanlar analizi yapıldığı zaman, PP/Keten kompozit malzemesi seçildiğinde 68.21 MPa’ lık maksimum gerilme ve 18.12 mm’ lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Keten kompozit malzemesi seçildiğinde ise 73.33 MPa’ lık maksimum gerilme ve 16.23 mm’ lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Keten ve PP/Keten malzemeleri sonlu elemanlar yöntemine göre karşılaştırıldığında, PLA/Keten malzemesi seçildiğinde bir miktar daha yüksek maksimum gerilme çıkarken maksimum yer değiştirmelere bakıldığında PLA/Keten malzemesi daha düşük maksimum yer değiştirme değere sahiptir. Bu durumda, maksimum yer değiştirme değeri daha düşük olan PLA/Keten malzemesini seçmek daha uygundur.Mekanik testlere göre hipotezin olumsuz çıktığı sonlu elemanlar metoduna göre ise hipotezin doğrulandığı ve olumlu çıktığı görülmektedir. Buradan da anlaşılabileceği üzere üretim yönteminin koşulları ve türü değiştirildiğinde hipotezin mekanik testler bakımından da tıpkı sonlu elemanlar yönteminde olduğu gibi olumlu sonuçlar vereceği anlaşılmaktadır.

Hipotez 2: PLA/Jüt kompozit, PP/Jüt kompozite mekanik özellikler bakımından benzerdir.

2.Hipotez, tezde hem mekanik testler bakımından hem de sonlu elemanlar metodu bakımından incelenmiştir. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi, PLA/Jüt çekme numunelerinin çekme dayanımı genel olarak 3-6 MPa arasında değişmektedir. En düşük 3.92 MPa en yüksek ise 5.77 MPa değerini almıştır. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi PP/Jüt çekme numunelerin çekme dayanımı genel olarak 14-22 MPa arasında

değişmektedir. En düşük 14.53 MPa en yüksek ise 21.55 MPa değerini almıştır. Mekanik testler bakımından PP/Jüt kompozitinin PLA/Jüt kompozitinden daha iyi mekanik sonuçlara sahip olduğu görülmektedir.

Sonlu elemanlar analizi yapıldığı zaman, PP/Jüt kompozit malzemesi seçildiğinde 89.59 MPa'lık maksimum gerilme ve 25.84 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Jüt kompozit malzemesi seçildiğinde ise 73.33 MPa'lık maksimum gerilme ve 16.23 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Jüt ve PP/Jüt malzemeleri sonlu elemanlar metoduna göre karşılaştırıldığında, PLA/Jüt malzemesi hem daha düşük maksimum gerilmeye hem de daha düşük maksimum yer değiştirme değerine sahiptir. Bundan dolayı, PLA/Jüt malzemesinin seçilmesi daha uygundur. Mekanik testlere göre hipotezin olumsuz çıktığı sonlu elemanlar metoduna göre ise hipotezin doğrulandığı ve olumlu çıktığı görülmektedir. Buradan da anlaşılabacağı üzere üretim yönteminin koşulları ve türü değiştirildiğinde hipotezin mekanik testler bakımından da tıpkı sonlu elemanlar yönteminde olduğu gibi olumlu sonuçlar vereceği anlaşılmaktadır.

Hipotez 3: PLA/Keten kompozit, PLA/Jüt kompozite benzer mekanik özellikler gösterir ve bu sebeple birbirinin alternatiftir.

3.Hipotez, tezde hem mekanik testler bakımından hem de sonlu elemanlar metodu bakımından incelenmiştir. Şekil 5.10'da görüldüğü üzere, PLA/Keten çekme numuneleri genel olarak 3-9 MPa arasında değişmektedir.En düşük 3.33 MPa en yüksek ise 9.13 MPa değerini almıştır. Şekil 5.9'da görüldüğü üzere, PLA/Jüt çekme numunelerinin çekme dayanımı genel olarak 3-6 MPa arasında değişmektedir. En düşük 3.92 MPa en yüksek ise 5.77 MPa değerini almıştır. Çekme testi sonuçlarından PLA/Keten kompozitinin PLA/Jüt kompozitinden az bir farkla daha iyi mekanik sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak değer aralığı bakımından benzerlik gösterdiğinden hipotezimizin mekanik testler bakımından doğrulandığı görülmektedir. Sonlu elemanlar analizi metoduna bakıldığı zaman, PLA/Jüt kompozit malzemesi seçildiğinde ise 73.33 MPa'lık maksimum gerilme ve 16.23 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. PLA/Keten kompozit malzemesi seçildiğinde ise 73.33 MPa'lık maksimum gerilme ve 16.23 mm'lik maksimum yer değiştirme meydana gelmiştir. Bu sonuçlardan PLA/Keten ve PLA/Jüt kompozitlerinin tamamen aynı sonuçları verdiğini, hipotezin doğrulandığını ve kesinlikle birbirlerinin alternatifi oldukları anlaşılmaktadır.

Hipotez 4: PLA/Jüt ve PLA/Keten kompozitler mevcutta plastik bazlı olarak üretilen bir otomotiv parçası için kullanılabilir.

Sonlu elemanlar analizinden PLA kompozitlerinin PP kompozitlerinden daha iyi mekanik sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Burada yapılması gereken yöntemi revize etmek ya da değiştirmektir. Sonuçlar açıkça PLA kompozitlerinin otomotiv sektöründe çok fazla darbe dayanımı gerektirmeyen, iç ve dış trim parçalarında, doğal lif takviyeli PP kompozitlerin yerine kullanılabileceğini göstermektedir.

6.3 Öneriler

Daha sonra yapılacak çalışmalar için önerilecek en önemli şey, hangi üretim yöntemiyle olursa olsun eğer ısıtma-soğutma prosesi içeren bir biyokompozit üretilcekse bunun tek bir seferde üretilmesidir. Çünkü her bir ısıtma-soğutmada mekanik özelliklerin açıkça düştüğü görülmüştür. Kısacası üretim tek bir seferde yapılmalıdır.

Sıcak pres yöntemiyle ile biyokompozit üretilcekse kapalı ve vakumlu bir atmosfere sahip, plakalarını dengeli ısıtma özelliğine sahip bir cihaz seçilmelidir. Ayrıca buradaki en önemli tavsiye ise kullanılan kalıbın muhakkak takviye malzemesini kompozitin ortasında tutacak biçimde dizayn edilmesidir. Tek seferde üretim için bu şarttır.

Bir sonraki çalışmalarda esas incelenmesi gereken durum ise bağlayıcı bir madde kullanıldığında ve kullanılmadığında biyokompozitlerin matris ve takviye malzemeleri arasındaki arayüzey bağının nasıl değiştiği ve buna bağlı olarak mekanik özelliklerin nasıl değiştiğinin saptanmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Doğal kompozitler.** Erişim: 15 Mayıs 2019, <https://www.cosmokompozit.com>.
- [2] **Kaw, A. K. (1997).** *Mechanics of Composite Materials Book*.
- [3] **Kompozitlerin avantajları ve dezavantajları.** Erişim: 16 Mayıs 2019, <http://savitek.com.tr>.
- [4] **Kompozit çelik yelek.** Erişim: 15 Mayıs 2019, <https://kompozitkimya.com.tr>
- [5] **Ulcay, Y., Akyol, M., Gemci, R. (2002).** Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukvemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, Bursa.
- [6] **Philips, N. L. (1989).** *Design with Advance Composite Materials*, The Design Council, (Springer-Verlag), Berlin, Heidelberg, London.
- [7] **Cam Elyaf Sanayi A.Ş. (1997).** *Cam Elyaf Dergisi*, Bülten Sayı 6.
- [8] **Akdoğan, A. E. (2008).** Plastik Matrisli Kompozitler Ders Notları Thermoset Tablosu.
- [9] **Askeland, D. R. (2000).** *The Science and engineering of materials 2nd ed.*, Çeviri Editörü Dr. Mehmet Erdoğan, Rolla, Ankara, 457-486, 655-663.
- [10] **Cebeci, H. A. (2008).** *Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen SiC takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi*, (Bilim Uzmanlığı Tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 9-59.
- [11] **Sur, G. (2002).** *Alüminyum esaslı kompozitlerin üretim ve işlenebilirliğinin incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] **Tabakalı kompozit.** Erişim: 20 Mayıs 2019, <http://www.asasacp.com.tr/>
- [13] **Devamlı levha üretim yöntemi imalat şeması.** Erişim: 20 Mayıs 2019, <http://www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>.
- [14] **Biyoplastik bir çatalın 45 gün içerisinde doğaya karışımı.** Erişim: 26 Mayıs 2019, <https://kelimelerbenim.com/>.
- [15] **PLA'nın kimyasal formülü ve üç boyutlu görünümü.** Erişim: 26 Mayıs 2019, https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid.
- [16] **Monomer PP ve polimer PP'nin kimyasal formülü.** Erişim: 27 Mayıs 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/PP>.

- [17] **Keten bitkisi**. Erişim: 28 Mayıs 2019, <https://www.derstekstil.name.tr>.
- [18] **Oksman, K., Skrifvars, M., Selin, J.-F.** (2003). Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites, *Composites science and technology*, 63 (9), 1317-1324.
- [19] **Saharı, J., Sapuan, S. M.** (2011). Natural fibre reinforced biodegradable polymer composites, *Rev. Adv. Mater. Sci*, 30 (2), 166-174.
- [20] **Markarian, J.** (2008). Biopolymers present new market opportunities for additives in packaging, *Plastics, Additives and Compounding*, 10 (3), 22-25.
- [21] **Taşdemir, M., Koçak, D., Usta, I., Akalin, M., Merdan, N.** (2007). Properties of Polypropylene Composite Produced with Silk and Cotton Fiber Waste as Reinforcement, *International Journal of Polymeric Materials*, 56 (12), 1155-1165.
- [22] **Njuguna, J., Brighton, J.** (2015). *Localised Low Velocity Impact Performance Of Flax/PLA Biocomposites*.
- [23] **Sudesh, K., Iwata, T.** (2008). Sustainability of Biobased and Biodegradable Plastics, *Clean*, 36 (5-6), 433-442.
- [24] **Gross, R. A., Kalra, B.** (2002). Biodegradable Polymers for the Environment, *Science*, 297, 2.
- [25] **Zah, R., Hischier, R., Leao, A.L., Braun, I.** (2007). Curaua fibers in the automobile industry - a sustainability assessment, *Journal of Cleaner Production* 15, 1032-1040.
- [26] **Netravali, A. N., Chabba, S.** (2003). Composites get greener, *Materials Today*, p. 22-29.
- [27] **Ashori, A.** (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!, *Bioresource Technology*, 99, 4661-4667.
- [28] **Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I.** (2003). Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?, *Composites Science and Technology*, 63, 1259-1264.
- [29] **John, M. J. & Thomas, S.** (2008) Biofibres and biocomposites, *Carbohydrate Polymers*, 71, 343-364.
- [30] **Marsh, G.** (2003). Next step for automotive materials, *Materials Today*, p. 36.
- [31] **SPE Automotive.** (2006). SPE highlights latest automotive innovations, *Reinforced Plastics*, p. 26-29.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Alper Demir
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.09.1992 ELAZIĞ
E-posta : alperdemir.metalurji@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2010, Tophane Anadolu Teknik Lisesi, Bilişim Teknolojileri, Veri Tabanı Programcılığı
- **Lisans** : 2015, Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Biyokompozit Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- **05.2019 - Halen** Akın Dil Eğitim Kurumları Bursa
İngilizce Öğretmeni
- **11.2018 – 07.2019** Bursa Teknik Üniversitesi Bursa
Bilgisayar Laboratuvarı Sorumlusu
- **11.2017 – 07.2018** Bursa Teknik Üniversitesi Bursa
Bilgisayar Teknisyeni
- **02.2018 – 06.2018** Yahya Kemal Beyatlı Ortaokulu Bursa
İngilizce Öğretmeni

- **09.2014 – 01.2015** **Temper Döküm Kollektif Şirketi** Bursa
Stajyer Mühendis
- **08.2014 – 09.2014** **Burçelik Bursa Çelik Döküm Sanayi A. Ş.** Bursa
Stajyer Mühendis
- **07.2013 – 08.2013** **Uyar Döküm San.Ve Tic.Ltd.Şti.** Bursa
Stajyer Mühendis

YETKİNLİKLER:

- **Bilgisayar bilgileri:** Paket programlar (Microsoft Word, Excel, Powerpoint, Access ve diğer Office programları), Autocad, Solidworks, 3ds Max, Matlab, Bilgisayar donanımı,10 parmak F klavye kullanımı,Visual Basic, C Sharp (C#), C++, Turbo Pascal, Notepad++, WordPress
- **Sertifika bilgileri :** Amerikan Kültür Dil Okulları İngilizce kursu bitirme sertifikası 06.2016

SEMİNERLER VE KURSLAR:

- Kompozit Parça Üretim Yöntemleri Eğitimi (22.02.2018 - 22.02.2018) 4 saat
Eğitim Kurumu: Butekom
- C Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlığı Eğitimi (28.04.2018 - 10.06.2018)
90 saat Eğitim Kurumu: Mavi Akademi