

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ
TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Samet SANBUR

Ağustos, 2020
İZMİR

**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ
TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon-İmalat Programı**

Samet SANBUR

Ağustos, 2020

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SAMET SANBUR, tarafından PROF.DR. ÇİÇEK ÖZES yönetiminde hazırlanan “DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Çiçek ÖZES

Yönetici

Prof. Dr. Emine Çınar YENİ

Prof. Dr. Sami SAYER

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin tamamlanması ve tezimin hazırlanmasında sürekli destek sağlayan ayrıca kariyerim için de önemli katkılarda bulunan tez danışman hocam sayın Prof. Dr. Çiçek Özes'e teşekkürlerimi sunarım.

Deney aşamalarında bilgi, birikim ve deneylerin uygulanmasına gösterdikleri destekleri nedeniyle Sayın Ar. Gör. Akar Doğan ve Doktora öğrencisi Halis Kandaş'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca olduğu gibi, yüksek lisans çalışmalarımda da tüm desteklerini benden esirgemeyen ablam Buket Sanbur ve Annem Kadriye Sanbur'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Samet SANBUR

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Kompozit malzemeler, yüksek mukavemet / ağırlık oranları nedeniyle otomotiv, havacılık, inşaat mühendisliği yapıları gibi çok çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitler genellikle mekanik performansı sağlayan takviye elemanı ve bunları bağlayıcı görev yapan matris olmak üzere en az iki materyalden oluşur. Üretiminde sağladıkları yüksek mukavemet nedeni ile genellikle cam, karbon gibi sentetik lifler takviye malzemesi olarak tercih edilmesine rağmen, son yıllarda çevreye duyarlılık ve geri dönüşüm açısından doğal lif takviyeli kompozitlerin kullanımı özellikle otomotiv sektöründe artmıştır.

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen doğal elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Takviye elemanları olarak dokuma jüt ve keten kumaşları kullanılırken, matris elemanı olarak poliamid, polietilen film ve dokusuz polipropilen kumaşlar seçilmiştir.

Yüzey özelliklerini iyileştirmek amacı ile jüt ve keten kumaşlara alkali işlem uygulanmıştır. Poliamidin matris olarak kullanıldığı ilk denemede poliamidin nem tutan yapısı nedeniyle başarılı bir üretim elde edilememiştir. Matris malzemesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen film ve dokusuz polipropilenin seçildiği ikinci denemede üretim başarılı olarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen doğal elyaf takviyeli kompozite ait mekanik özellikleri çekme, üç nokta eğme ve darbe testleri ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dokuma jüt kumaş, dokuma keten kumaş, poliamid, yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL FIBER REINFORCED THERMOPLASTIC COMPOSITES

ABSTRACT

Composite materials are widely used in a wide variety of engineering applications, such as automotive, aerospace, and civil engineering structures due to their high strength / weight ratios. Composites generally consist of at least two materials, the reinforcing element that provides mechanical performance and the matrix that serve as binding. Although synthetic fibers such as glass and carbon are generally preferred as reinforcement materials due to the high strength they provide in their production, the use of natural fiber reinforced composites has increased especially in the automotive sector in terms of environmental sensitivity and recycling.

In this study, the mechanical properties of natural fiber reinforced thermoplastic composites produced by hot pressing method were investigated. While woven jute and linen fabrics are used as reinforcement elements, polyamide, polyethylene film and non-woven polypropylene fabrics are chosen as matrix elements.

Alkali treatment was applied to jute and linen fabrics in order to improve the surface properties. In the first attempt in which polyamide was used as a matrix, a successful production was not achieved due to the moisture-retaining structure of the polyamide. In the second trial, in which high density polyethylene film and non-woven polypropylene were chosen as the matrix material, the production was successful. The mechanical properties of the produced natural fiber reinforced composite were evaluated by tensile, three-point bending and impact tests.

Keywords: Woven jute fabrics, woven flax fabrics, polyamid, high-density polyethylene, polypropylene.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1 Kompozit Malzemeler.....	3
2.1.1 Matris Malzemeye Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	4
2.1.1.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler.....	4
2.1.1.2 Matris Malzemesi Seramik Olan Kompozit Malzemeler.....	4
2.1.1.3 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	5
2.1.2 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma	7
2.1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	11
2.1.2.1 Havacılık Sanayii	12
2.1.2.2 Otomotiv Sanayii	12
2.1.2.3 Savunma Sanayii.....	13

2.1.2.4 Yenilenebilir Enerji	14
2.1.2.5 Yapı Ve İnşaat Sanayii.....	14
2.1.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	15
2.1.4.1 Elle Yatırma	15
2.1.4.2 Püskürtme Yöntemi	16
2.1.4.3 Profil Çekme Yöntemi	17
2.1.4.4 Elyaf Sarma Yöntemi.....	18
BÖLÜM ÜÇ– DENEYSEL ÇALIŞMA	19
3.1 Malzeme Ve Yöntem.....	19
3.1.1 Takviye Malzemeleri.....	19
3.1.1.1 Jüt.....	20
3.1.1.2 Keten	22
3.1.2 Matris Malzemeleri	23
3.1.2.1 Poliamid	23
3.1.2.2 Polietilen	24
3.1.2.3 Polipropilen.....	26
3.1.3 Sıcak Presleme Yöntemi İle Numune Üretimi.....	27
3.2 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	30
3.2.1 Çekme Testi	30
3.2.2 Darbe Testi.....	31
3.2.2.1 Eğriler	33
3.2.2.1.1 Kuvvet-Çökme Eğrileri.....	33
3.2.2.1.2 Kuvvet-Zaman Eğrileri	34

3.2.2.1.3 Çökme-Zaman Eğrileri.....	34
3.2.2.1.4 Hız-Zaman Eğrileri	35
3.2.2.1.5 Enerji-Zaman Eğrileri	36
3.2.2.1.2 Kuvvet-Zaman Eğrileri	36
3.2.2.2 Kompozit Malzemede Darbe Hasarları	37
3.2.2.2.1 Matris Hasarı	37
3.2.2.2.2 Delaminasyon Hasarı	37
3.2.2.2.3 Lif Kopması.....	37
3.2.2.2.4 Saplanma Ve Delinme.....	38
3.2.3 Eğme Testi	38
BÖLÜM DÖRT –DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1 Çekme Deney Sonuçları.....	40
4.2 Üç Nokta Eğme Deney Sonuçları	41
4.3 Darbe Deney Sonuçları	41
BÖLÜM BEŞ –SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR.....	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kompozitlerin matris malzemesine göre sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2 Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.3 Parçacık takviyeli kompozitlerin şematik gösterim.....	7
Şekil 2.4 Boeing 787-8 Yapısındaki kompozit kullanımı.....	7
Şekil 2.5 BMW i3 kompozit kullanımı.....	13
Şekil 2.6 Çelik yelek üretiminde kompozit kullanımı	17
Şekil 2.7 Profil çekme yöntemi üretim şeması.....	18
Şekil 2.8 Elyaf sarma yöntemi şematik gösterim.....	22
Şekil 3.1 Takviye elemanları, dokuma jüt ve dokuma keten kumaş.....	25
Şekil 3.2 Bangladeşte jüt bitki tarlası.....	26
Şekil 3.3 Polietilen sentezi	27
Şekil 3.4 Yüksek yoğunluklu polietilen.....	28
Şekil 3.5 Poliprobilen kumaş	29
Şekil 3.6 PA 6 ile üretim yöntemi spunbond olan dokusuz polipropilen kumaşların takviye olarak kullanıldığı ilk üretimin istiflenme düzeni	30
Şekil 3.8 Testlerin yapıldığı çekme makinesi	30
Şekil 3.9 180 mm -- 15 mm ölçülerinde çekme test numunesi.....	31
Şekil 3.10 Ceast- Fractovis Plus darbe cihazı	31

Şekil 3.11 Farklı darbe enerjilerinde kuvvet çökme eğrileri.....	32
Şekil 3.12 Farklı darbe enerjilerinde kuvvet zaman eğrileri.	33
Şekil 3.13 Farklı darbe enerjilerinde kuvvet zaman eğrileri	34
Şekil 3.14 Farklı darbe enerjilerinde enerji-zaman eğrileri	34
Şekil 3.15 Farklı darbe enerjilerinde enerji-zaman eğrileri	35
Şekil 3.16 Eğilme Testi Uygulaması.....	36
Şekil 4.1 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği	40
Şekil 4.2 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin gerilme şekil değiştirme grafiği.....	41
Şekil 4.3 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde kuvvet-çökme grafiği	41
Şekil 4.4 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde kuvvet-çökme grafiği	42
Şekil 4.5 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde enerji-zaman grafiği	42
Şekil 4.6 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde enerji-zaman grafiği	43
Şekil 4.7 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde çökme-zaman grafiği	44
Şekil 4.8 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde çökme-zaman grafiği	45
Şekil 4.9 Tip A – Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde hız-zaman grafiği	46
Şekil 4.10 Tip B – Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde hız-zaman grafiği.....	47

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Termosetlerin sıcaklık tablosu.....	3
Tablo 2.2 Termoplastiklerin sıcaklık tablosu.....	4
Tablo 3.1 Polietilenin reçine, termal ve mekanik özellikleri.	24
Tablo 3.2 Dokusuz polipropilen malzemenin teknik özellikleri.	24
Tablo 4.1 Çekme Test Sonuçları.....	39
Tablo 4.2 20J darbe enerjisinde numunelerin darbe test sonuçları.	43

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji ve artan rekabet, düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli, çevre dostu, geri dönüşümü olan ekonomik malzemelerin üretimini gerekli kılmaktadır. Alternatif malzemelere olan gereksinimin artmasıyla inşaat, uzay, havacılık ve savunma sanayii, otomotiv ve enerji sektörü, malzemeleri gibi birçok alanda kompozit kullanımı önemli bir yer tutmaktadır.

İlk bilinen kompozitler Mısırlılar ve Mezopotamya yerlileri tarafından çamur ve saman karıştırılarak üretilmiş olup çanak çömlek imalatından dayanıklı bina inşasına kadar çok geniş bir alanda kullanılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında savaş uçaklarında ve ilk yolcu uçaklarında dümen gibi kontrol ünitelerinde kullanımı yeni takviye elemanlarının ve polyester yapıştırıcıların bulunmasıyla geniş bir uygulama alanına yayılmıştır.

Kompozitler genellikle farklı özelliklere sahip yükü taşıyan, yapıya mukavemet sağlayan takviye elemanı ve bunların bir arada tutulmasını, yükün takviye elemanları arasında dağılmasını, takviye elemanlarının çevre şartlarından korunmasını sağlayan matris olmak üzere en az iki malzemeden oluşmaktadır. Cam, karbon gibi inorganik lifler veya aramid ve yüksek yoğunluklu polietilen gibi yüksek performanslı sentetik lifler sağladıkları yüksek mukavemet nedeni ile takviye malzemesi olarak tercih edilmektedir (Bulut ve Erdoğan, 2018).

Cam, karbon veya aramid takviyeli epoksi, polyester, poliüretan ya da fenolik esaslı kompozitlerin en büyük olumsuz yanı takviye ve matris elemanlarının birbirlerine çok kuvvetli şekilde bağlanması ve bileşenlerin birbirinden ayrılmasında ve geri dönüştürülmesinde ortaya çıkmaktadır (Bulut ve Erdoğan, 2018; Mohanty, Misra ve Hinrichsen, 2000).

Bu nedenle günümüzde polimer maddelerin keten, kenevir, jüt, rami ve sisal gibi doğal lifler ile desteklenmesi ile oluşan doğal lif takviyeli kompozitlerin üretimleri

ve kullanımları giderek artmıştır (Bulut ve Erdoğan, 2018).

Doğal lif takviyeli kompozitler, yapısal uygulamalarda özellikle hafif uygulamalarda sentetik lif takviyeli kompozitlere alternatif olabilmekte ve özellikle otomotiv endüstrisi için hem ekonomik hemde çevresel fayda sağlamaktadır (Sathishkumar ve diğer., 2014; Sanjay ve diğer., 2017; Yusriah ve diğer., 2014, Dhakal ve diğer., 2015; Karnani ve diğer., 1997; Singleton ve diğer., 2003; Zah ve diğer., 2007).

Yapılan çalışmalar doğal lif takviyeli kompozitlerin daha iyi elektriksel dirence, iyi mekanik özelliklere, iyi termal ve akustik yalıtım özelliklerine ve kırılmaya karşı daha yüksek dirence sahip olduklarını göstermiştir (Vijaya ve diğer., 2014; Sanjay ve diğer., 2016a; Deng ve diğer., 2016).

Önceden araştırılmış endüstriyel uygulamalar arasında pencere ve kapı çerçeveleri, mobilya, demiryolu traversleri, otomotiv panelleri ve döşemeler, bahçe malzemeleri, ambalajlar, raflar vb., eğlence, inşaat ve spor, endüstrileri ve genel olarak çok yüksek mekanik dayanım gerektirmeyen uygulamalar yer almaktadır. (Faris ve diğer., 2014; Ku ve diğer., 2011; La Mantia ve Morreale, 2011).

Bu çalışmada dokuma kumaş formunda doğal lif takviyeli polimer matrisli termoplastik kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Takviye elemanı olarak jüt ve keten dokuma kumaş, matris malzemesi olarak önce poliamid, daha sonra polietilen (PE) film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşlar kullanılmıştır. Sıcak presleme yöntemi ile üretimleri başarılı olan kompozitlerin mekanik özellikleri, çekme, eğilme ve darbe testleri ile değerlendirilmiştir.

BÖLÜM İKİ

KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Kompozit Malzemeler

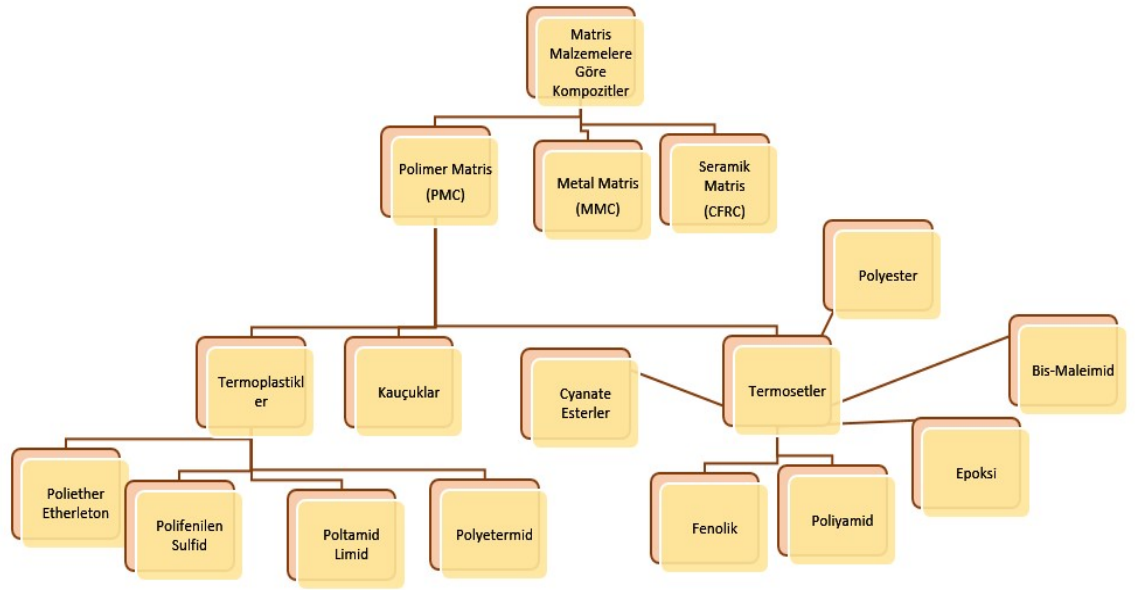
İki veya daha fazla malzemenin makroskobik yapıda bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemeler kendisini oluşturan malzemelerden daha üstün özelliklere sahip olması ile bilinirler.

Kompozit malzemeler yükü taşıyan takviye elemanı, yapının bir arada tutulmasını, yükün takviye elemanları arasında dağılmasını sağlayan matris malzemesi, takviye ve matris malzemesi arasındaki yapışmayı belirleyen ara yüz fazından oluşmaktadır.

Kompozit malzemelerin geleneksel metalik malzemelere göre en büyük avantajı, yüksek mukavemet / ağırlık oranıdır.

Takviye elemanının seçiminde hafiflik, mukavemet ve modül, yorulma mukavemeti, elektrik ve ısı iletkenliği ve ekonomiklik gibi nedenler rol oynamaktadır. Matris malzemenin seçiminde ise lifler arasında kuvvet aktarımı, lifleri korozyon, oksidasyon, ortamın etkisi ve darbelerden korumak oluşturmaktadır. Ara yüzey fazı ise, oluşan kuvveti takviye fazına ulaştırır. Ara yüzey fazı kompozit dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Qu, 1993).

Kompozit malzemeler matris malzemelerine ve takviye elemanlarına göre şekil 2.1 deki gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.1 Kompozitlerin matris malzemesine göre sınıflandırılması (İnançer, 2015)

2.1.1 Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matris malzemeler, kompozit malzemenin üretim yöntemi ve kullanım gayesine göre metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir.

2.1.1.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Çeşitli metal veya metal alaşımını, içerisinde ana malzeme olarak barındıran kompozitlerdir. Takviye malzemesi olarak çoğunlukla seramik kullanılır.

Örnek verilecek olursa, seramikler ile metallerin özellikleri birleştirildiğinde, kendi özellikleri artık bir kompozite ait özellikler olacaktır. Yeni üretilen kompozit artık bu iki malzemenin de özelliklerini birleştirerek yansıtacağı için mekanik anlamda özelliklerini daha da geliştirmiş olacaktır (Kaya, 2016).

2.1.1.2 Matris Malzemesi Seramik Olan Kompozit Malzemeler

Yüksek sıcaklığa dirençli ve oldukça hafif ($d= 1,5-3,0 \text{ gr/cm}^3$) inorganik bileşiklerdir. Metal veya metallerin, bimetal elementlerle bir araya gelmesi ve sinterlenmesiyle oluşur. Dayanımları çok yüksektir fakat aynı zamanda kırılgan ve

rijit yapıya sahiptirler. Ani ısı değişimlerinden olumsuz etkilenebilirler. Bu etki lif takviyesi kullanılarak azaltılabilir. Elektrik ve ısıya karşı yalıtkan özellik gösterirler. Bu özellikleri gereği kullanım alanları yaygındır (Zor, 2018; Seydibeyoğlu, 2012).

2.1.1.3 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

İçerisinde genellikle petrokimya içerikli ürünler ihtiva ederler. Kullanım alanları çok yaygındır. Polimerik olarak üretilen kompozitler korozyona mukavim, kullanım ömrü uzun, şekillendirilmesi rahat, alana düşen taşıyabileceği yük bakımından kapasitesi yüksek malzemelerdir (Vasiliev ve Morozov, 2001).

Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır.

Termoset matrisler; sıvı haldedirler ve genellikle lif takviyeli kompozit üretiminde kullanılırlar. İlave malzemelerle sıvı halden jel haline geçiş yapılır ve daha sonra katılaşırlar. Viskoztesi düşük termosetler lif takviyeli kompozit üretiminde tercih sebebidir. Poliamidler, şekillendirilebilen ve ısıya dayanıklılığı en yüksek olan polimerlerdir (Itoh ve diğer., 2002).

Polimer matrisli kompozitlerin içerisinde en yaygın olarak kullanılan malzemeler termoset içerikli malzemelerdir. Bu malzemelerin molekülleri birbirine çapraz şekilde bağlıdır ve bu nedenle atomların hareketi birbiri üzerine kayarak gerçekteşmez. Böylelikle ısıtılıp şekil verildikten sonra tekrar işleme maruz bırakılamazlar ve geri dönüşümleri de yoktur. Bu malzemelerin çözünürlükleri de yoktur (Evcin A., b.t.).

Termosetlerin dezavantajlarından biri uygulama süresidir. Şekil vermek için herhangi bir kalıba sıvı olarak aktarıldıktan sonra ısı arttırılarak son şekil isteğe göre uygulanır. Bu işlem kimyasal bir işlem olduğu için imalat süresi uzayabilir. Tablo 2.1' de termoset özellikleri görülebilir.

Tablo 2.1 Termosetlerin sıcaklık tablosu (Evcin, b.t.)

Termosetler	Maksimum kullanım sıcaklığı (°C)
Vinil ester	230-320
Polyester	150-250
Fenolikler	80-125
epoksi	70-150
Cynate Ester	60-150
Bismeleimid	60-150

Termoplastik matrislere ancak ısıtılarak şekil verilebilir. Isı verme işlemi bittikten sonra soğutulduklarında şekilleri kalıcıdır. Tekrar şekil verilmek istenirse tekrar ısıtım işlemi uygulanabilir. Her defasında ısıtılarak yeni şekil verilebilir bu işlemler kimyasal yapısında bir değişikliğe neden olmaz. Isı ve basınç uygulandığında şekil vermek termoplastiğin yumuşaması nedeniyle kolaylaşır ve soğutulmasıyla birlikte tekrar sertleşir. Çözücü olarak kullanılan materyaller uygun olması halinde termoplastikler çözünebilir ve istenilen şekil verilebilir. Molekülleri termosetlerin moleküllerinin aksine doğrusaldır ve çapraz bağ kuramazlar. Termoplastik grubunu oluşturan en önemli plastikler polietilen, akrilikler, naylon, polistiren, selülozikler ve vinillerdir (Smith ve William, 1990; Yalçın ve Gürü, 2002).

Termoplastikler uzun molekül zincirlerine sahiptirler ve ısıtım işlemi uygulandığında moleküller birbiri üzerinden kayarak şekil değişimine olanak sağlarlar. Bu hareket yetenekleri nedeniyle termosetlere göre kırılabilirlikleri daha azdır. Termoplastiklerin avantajlarının yanı sıra en büyük dezavantajları ise ısıtılıp eritildiğinde bile viskozitelerinin çok yüksek olması ve takviye malzemesi ile karıştırılmasının zorluğudur. Karışımı kolaylaştırmak için yüksek sıcaklıklara çıkılmak gereklidir. Fakat kontrolü düzgün yapılmaz ise yüksek sıcaklıklarda polimer yapısı bozulabilir. Son zamanlarda otomotiv sektöründe termoplastiklerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Artık birçok araç üretiminde araçların tampon kısımları cam elyaf takviyesi kullanılan termoplastik malzemeler ile yapılmaya başlanmıştır. Tek kalıpta ve cam elyaf ile üretildikleri için hafif olmaları termoplastik kullanımını otomotiv sektöründe avantajlı kılmaktadır. Otomotiv sektörünün önemli markaları giriş

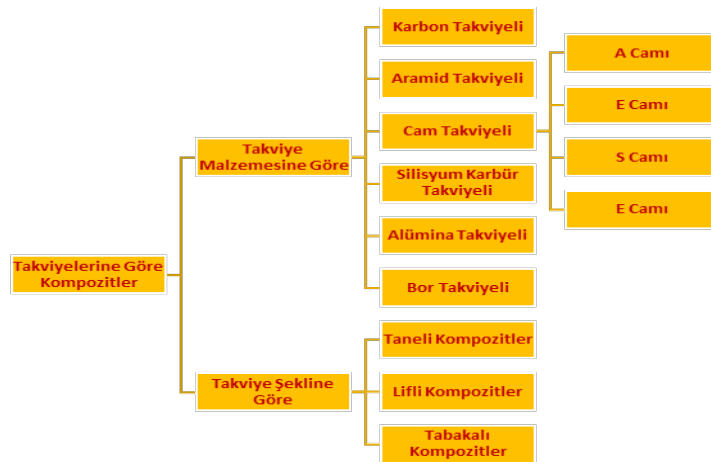
manifoldlarının imalatında termoplastik kompozitleri kullanarak birçok avantaj elde etmişlerdir. Hafif olmaları nedeniyle motor performansı artmış ve % 5'e kadar daha yüksek verim elde edilebilmiştir. Aynı zamanda üretim maliyetleri de düşmekte ve alüminyum malzeme kullanımına oranla ağırlık yarı yarıya azalmaktadır (Kompozit malzemeler hakkında her şey, b.t.).

Tablo 2.2 Termoplastiklerin sıcaklık tablosu (Evcin, b.t.)

Termoplastikler	Maksimum kullanım sıcaklığı (°C)
Polietilen	50-80
Polipropilen	50-75
Asetal	70-95
Nylon	75-100
Polyester	70-120
Polifenilen sulfid	120-220
Polietereterketon	120-250
Teflon	200-260

2.1.2 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma

Takviye malzemeleri yapısına göre aşağıdaki gibi dört ana başlıkta sınıflandırma yapılabilir;



Şekil 2.2 Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması (İnançer, 2015)

2.1.2.1 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Matris malzemesi aracılığıyla fiber liflerinin bir araya getirilmesinden oluşurlar. Matris içerisindeki dizilişleri, doğrultuları ve ölçüleri oluşturulan kompozit özelliklerini önemli ölçüde belirlemektedir.

Boyları uzun olan fiberlerin paralel şekilde matris içinde yerleşim sağlanırsa, fiber boyunca yüksek dayanım, fiberlere dik yönde ise düşük dayanım elde edilmektedir. İki yönde de yüksek dayanım elde edebilmek için birbirlerine dik iki yönde yerleştirmek gereklidir. Yarı-izotropik bir yapı için fiberlerin matris içinde yerleşimleri homojen dağıtılmalıdır. Üretilen kompozit malzemeye gerilme kuvveti uygulandığında, eğer bu kuvvet fiber yönünde ise malzemenin mukavemet değeri yüksek fakat fiber yönü dışına çıkılırsa mukavemet değeri düşük olmaktadır. Fiberler her ne şekilde olursa olsun malzemenin katı haline göre daha rijit ve mukavimdir. Fiberler yoğunlukları göz önüne alındığında yüksek rijitlik ve dayanım özelliklerine sahiptirler. Fiber takviyeli kompozitlerin yapısında kısa veya kesik yapıda fiberler bulunabilir. Kısa fiberlerin boy-çap oranı oldukça yüksektir ve matris içerisinde tek yönlü ya da rastgele sıralanmış şekilde bulunabilirler. En çok kullanılan çeşitleri grafit ve karbon fiberlerdir (Korkut, 2017).

Elyaf lar elde ediliş şekillerine göre de kendi içerisinde doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar;

Yapay Elyaf lar; sentetik olarak üretilen, kimyasal ya da yapısını tamamen değiştirecek çeşitli işlemlerle ihtiyaca göre özellik atanan elyaf lardır. Gün geçtikçe üretimleri artmaktadır. Maliyetinin düşük olması avantaj olarak görülmektedir. Dünya nüfusunun hızla artması ve buna bağlı olarak tüketim ihtiyaçları sonucunda, doğal elyaf lar ihtiyaca karşılık verememeye başlamış ve yapay elyaf lara yönelim başlamıştır.

Doğal elyaf lar; adından da anlaşılacağı gibi doğal ortamında bulunan çeşitli kaynaklardan üretilen, üretim aşamasında bir dizi uygulama sonucunda elde edilmek istenen genellikle ipliklere dönüştürülen maddelerdir. Bu iplikler de değişik teknikler kullanılarak lif yapısına getirilerek doğal elyaf halini alırlar. Doğal elyaf lar da üretim

teknikleriyle birlikte kumaş üretiminde büyük rol oynarlar.

Doğal elyaflara örnekler; pamuk, bu tez çalışmasında da kullanılan keten, jüt ve cam elyaf, asbest, ipek, yün, kaşmir, kazein, kolajen, alpaka, devetüyü vb. dir.

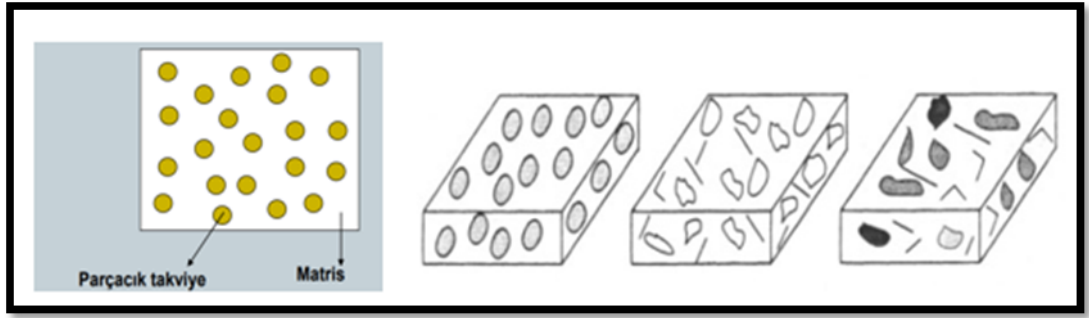
Doğal elyafların da endüstride kullanılabilmesi için kendisinden beklenen bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle her tip doğal elyaf üretimde kullanılamaz. Lif boyutları gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra dayanım, kopma, kırılabilirlik vb. gibi mekanik özellikleri de çok önemlidir. Tüm bu özelliklerin çoğunu bünyesinde barındıramasalar bile dokuma elyafı bu özelliklerin önemli bir kısmını yansıtabilmektedir. Esnek yapıya sahip oldukları için kuvvet uygulandığında uzayıp kuvvet ortadan kalktığında ise tekrar eski boyutlarına geri dönebilmektedirler. Bu esneklik özellikleri aynı zamanda dayanımla birleştğinde kullanılması cazip ve avantajlı hale dönüşmektedir. Aynı zamanda en önemli özelliklerinden biri çevre dostu olmalarıdır. Günümüze artan çevreye karşı verilen zararların kompozitler açısından en az seviyeye indirilmesi için doğal elyaflar çok büyük öneme sahiptir. Bu nedenle üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel anlamdaki sürdürülebilirliğine büyük katkı sağlamaktadır (Halis, 2017).

2.1.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Parçacıklı bir kompozit, bir matris içinde asılı duran parçacıklardan oluşması ile karakterize edilir. Parçacıklar hemen hemen herhangi bir şekle, boyuta veya yapılandırmaya sahip olabilir. İyi bilinen tanecikli kompozitlere örnek olarak beton yapısı verilebilir.

Parçacıklı bir kompozitin tepkisi anizotropik veya ortotropik olabilir. Genellikle her yönde aynı mukavemete sahiptirler (Staab, 1999).

Şekil 2.3’de parçacık takviyeli kompozit örnekleri görülebilir.



Şekil 2.3 Parçacık takviyeli kompozitler şematik gösterim (Zor, 2018).

Kompozitlerde parçacık takviyesi, elyaf takviyesinden daha az etkili bir güçlendirme aracıdır. Partikül takviyeli kompozitler öncelikle sertlikte kazanımlar elde eder, fakat aynı zamanda dayanıklılık ve tokluk artışları da sağlayabilir. Tüm durumlarda iyileştirmeler, fiber takviyeli bir kompozitte elde edilenden daha azdır.

Partikül takviyeli kompozitler, yol yüzeyleri gibi yüksek aşınma direncinin gerekli olduğu uygulamaları bulur. Çimento sertliği, takviye dolgu maddesi olarak çakıl eklenerek önemli ölçüde artırılır. Parçacık takviyeli kompozitlerin temel avantajı düşük maliyetli olmaları ve üretim ve biçimlendirme kolaylıklarıdır (Particle reinforced composites, b.t).

2.1.2.3 Tabakalı kompozitler

Özellikleri birbirinden farklı iki veya daha fazla tabakanın bir araya gelmesiyle oluşturulan kompozitlere tabakalı kompozitler denir. Çeşitli birleşimlerle tabakalanarak değişik kombinasyonlar elde edilebilir. İyileştirilmek istenen özelliğe uygun yeni bir malzeme ile kaplama ya da birleştirme işlemleriyle tabakalar oluşturulursa istenilen özellikler kolaylıkla sağlanabilir. Örneğin korozyona karşı dayanıklı bir kompozit elde edilmek isteniyorsa, korozyona dayanıklı olmayan metal üzerine korozyona daha dayanıklı bir metal-plastik ile kaplama yapılabilir. Ya da yumuşak malzemeler sert malzemeler ile bir araya getirilerek daha sert cisimler elde edilebilir (Kayrak, 1999).

Tabakalı kompozitler en eski ve kullanım alanları en geniş olan kompozit yapı

çeşididir. Isı ve neme karşı dayanıklı, maliyetleri düşük, yüksek mukavemet, hafif yapı, aşınma direnci yüksek olabilen, ısıl genleşme özelliklerini barındıran kompozit yapılardır.

2.1.2.4 Karma Kompozitler

Çoklu çeşitli takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemelerdir. Metal ve polimer hatta seramik malzemeler beraber kullanılabilir. Jüt ve cam elyafının birlikte kullanılması ile yapılan bir malzeme buna örnek olarak gösterilebilir (Akdemir, 1993).

Bu tez çalışmasında da jüt ve keten birlikte kullanılmıştır. Bu kompozit türü de karma kompozitlere örnek gösterilebilir.

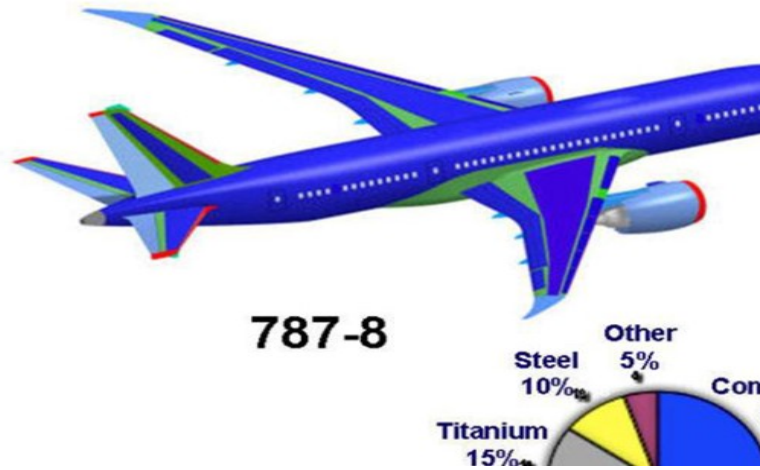
2.1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin belirtilen birçok önemli avantajları nedeniyle kullanım alanları yaygınlaşmıştır.

En önemli kullanım alanları;

2.1.2.1 Havacılık Sanayii

En önemli atılımlardan biri olan havacılıkta kompozit kullanımı, her geçen yıl artarak ve özelliklerini iyileştirerek devam etmektedir. Uçakların yapısında kullanılmaya başlayan kompozitler, takviye malzemesi olarak elyaf kullanılan kompozitlerdir. Genel olarak matris malzeme olarak epoksi kullanılmakta ve sürekli elyaf malzemeler ile takviye edilmektedirler. Uçak imalatında kompozit kullanımının artması, kompozitlerin hafif yapısı ve bu yapının tam aksi bir özellikle dayanımlarının aynı ağırlıktaki diğer malzemelere oranla daha yüksek olması özelliğinin en önemli avantajıdır.



Şekil 2.4 Boeing 787-8 Yapısındaki kompozit kullanımı (Zor, 2018)

Şekil 2.4’de de görüldüğü gibi Boeing 787-8 uçağının malzemelerinin yarısı kompozitlerden oluşmaktadır. Kompozit kullanılması uçağın daha hafif imal edilmesine ve buna bağlı olarak yakıt tüketiminde ve emisyonların azaltılması yönünde önemli etki göstermektedir.

2.1.2.2 Otomotiv Sanayii

Kompozitlerin yaygın olarak kullanıldıkları alanlardan bir tanesi de otomotiv sektörüdür. Bu alanda kullanılmasının en büyük avantajları; ilginç dizaynların yapılabilmesi, karbondioksit emisyonlarının düşürülmesi, yakıt tüketiminin azaltılması ve hafif araçların imal edilebilmesidir.

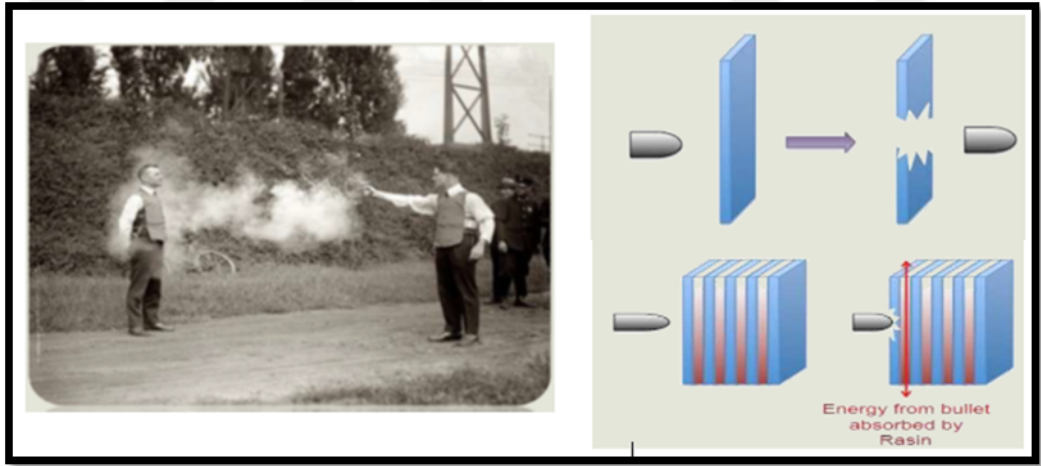
Şekil 2.5’de görülen BMW i3 hibrit aracının yapımında büyük ölçüde kompozit malzeme kullanılmıştır. Malzeme çelik kadar sağlam ancak çeliğin yarı ağırlığındadır. Şirket, bunun inanılmaz derecede hızlı tepki verme, etkileyici kullanım ve yadsınamaz verimliliğe yol açtığını duyurmuştur (The BMW i3 is a trend setter, b.t.).



Şekil 2.5 BMW i3 kompozit kullanımı (The BMW i3 is a trend setter, b.t.)

2.1.2.3 Savunma Sanayii

Savunma sanayiinde en önemli kullanım alanlarından biri çelik yelek üretimidir. Şekil 2.6’de de görüldüğü üzere cam elyaf ve polikarbon malzemeleri sayesinde kompozit bir yapı oluşturularak kurşunun enerjisi absorbe edilmekte dolayısıyla kurşun enerjisinin kullanıcı üzerindeki etkisi azaltılmaktadır.



Şekil 2.6 Çelik yelek üretiminde kompozit kullanımı (Composite material applications, 2016)

2.1.2.4 Yenilenebilir Enerji

Hafif ve dayanıklı olmaları nedeniyle kompozitler, yenilenebilir enerji alanında da kullanılmaya başlamıştır. En önemli kullanım alanlarından biri de rüzgâr

türbinlerinin kanatlarıdır. Solar panellerde de hafifliği ve montaj kolaylığı nedeniyle kullanılmaktadır.

2.1.2.5 Yapı ve İnşaat Sanayii

Hem hafifliği hem de dayanıklılığı nedeniyle yapı ve inşaat sektöründe de yaygın olarak kompozitler kullanılmaktadır.

Şekil 2.7’de görülen Japonya’daki yapı ise depremde korunmak amacıyla kompozit malzemelerle donatılarak binanın depremde en az hasarla çıkması hedeflenmektedir (Mileberg, 2016).

Şekil 2.8’de görülen Kanada’daki Veledrom Olimpiyat Stadının çatısı kompozitten yapılmıştır (Roski, 2016).



Şekil 2.7 Kompozit destekli depremde korunma (Mileberg, 2016)



Şekil 2.8 Veledrom olimpiyat stadı (Roski, 2016)

Kompozitler ayrıca detay vermediğimiz birçok kullanım alanına sahiptir. Ulaşım, denizcilik, boru ve tank imalatı, motor üretimi, elektrik şalt malzemelerin üretimi, sağlık sektörü vb. olarak ilave birçok kullanım alanları bulunmaktadır. Avantajları nedeniyle yeni kompozitler üzerine sürekli yeni çalışmalar yapılmakta ve buna bağlı olarak kullanım alanları daha da fazla artabilecektir.

2.1.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri (Elyaf Takviyeli)

2.1.4.1 Elle yatırma (hand lay-up)

Elle yatırma yöntemi özellikle kullanım ağı olarak denizcilik sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan reçine sıvı halde uygulama yapılır. Kalıbın alt yüzeyine yerleştirilen reçine üzerine üzerine takviye malzemesi olarak kullanılacak olan malzeme yerleştirilir. Takviye malzemesinin reçine içine çekmesi için üzerinde reçinen dağılımını sağlayacak ekipman kullanılır. İstenilen et kalınlığına ulaşabilmek için diğer bir reçine ve takviye malzemesi ardı sıra uygulanarak tamamlanır. Elle oluşturulduğu malzeme seçime ve uygulama kolaylığı nedeniyle istenilen esneklikte ve istenilen malzemeler kullanılarak değişik dizayn kalitede ürünler rahatlıkla elde edilir. Bu yöntem adını uygulama şeklinden alır. Ana teması elle uygulamanın yapılmasıdır. Fazla uygulama yeteneği istemediği için kolay ve maliyeti düşüktür. En sık kullanıldığı alan bahsettiğimiz gibi denizcilik sektörü olduğu için teknelerin yapımında uygulaması yaygındır. Tank imalatında, kaplama ve iyileştirme işlemlerinde, havuzlarda hatta küçük çaplı inşaat yapılarında ayrıca da kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da kullanılan e tipi cam elyaf sıklıkla bu yöntem kullanımlarında da yer almaktadır. Reçine olarak ise yoğun kullanım ile polyester kullanılmakta ve tekne yapımında büyük ölçüde bu grup malzemeler uygulanmaktadır (Ersoy, 2005).

Bu yöntemdeki kullanılan kalıpların üretim ve tasarımları da çok kolaydır. Uygulama sırasında el gücü ile işlemler yapıldığı için baskı kuvveti düşük olur ve genellikle de uygulamalar oda sıcaklığında yapılır. Aklımıza gelebilecek bahsettiğimiz bu düşük kuvvet ve sıcaklığa dayanabilen tüm malzemeler aslında kalıp malzemesi olarak düşünülebilir. Örnek verilecek olunursa tekne yapımında

genellik plastik malzemeden imal edilmiş dişi tip kalıplar kullanılmaktadır. Tek düze kalıp şartı yoktur. Kalıp istenilirse erkek istenilirse dişi olarak uygulanabilir. Kalıplar ayrıca başka malzemeler üzerine uygulanmak şartıyla sağlamlaştırıla da bilinir (Ersoy, 2005).

İstediğimiz kalınlık bahsedildiği gibi uygulama katmanları ve malzeme miktarlarına bağılı olarak değışiklik gösterebilmektedir. Uygulama ekipmanı olarak genelde rulo kullanılır. Rulo yardımıyla reçinenin takviye malzemesinde orantılı dağıtılarak her alana ulaşması sağlanır (Ersoy, 2005).

2.1.4.2 Püskürtme Yöntemi

Bu yöntem de el yatırması metoduna benzer şekilde uygulanır. En önemli farkı bu uygulamada otomatik bir ekipman kullanılmaktadır. Bu ekipman uygulama yapılacak kalıp yüzeyine basınçlı bir şekilde reçinenin yönlendirilmesiyle yapılır. Tabii ki reçine yönlendirilirken elyafın da uygulanması gerekmektedir. Elyaf malzeme de bu basınçlı ekipman ile kalıp yüzeyine yönlendirilmektedir. Ekipman içerisinde hem reçine hem elyaf birlikte püskürtülür. Fakat elyafın uygun boyutlarda parça parça halde uygulanması gerektiği için bu işlem de yine cihaz üzerindeki bir sistem vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Oran olarak % 30 elyaf kullanımı geçilmemelidir. Fazla elyaf hem cihazın tıkanmasına ve sık sık üretim duruşa neden olacağı gibi yeterli uygulama ıslaklığı da kalıp üzerinde sağlamamayacaktır. Uygulama sabit bir hızla yapılmalı ve uygulama hızı uygulanacak ürün ve kalıba göre belirlenmelidir. Reçine ve elyaf püskürtülerek kalıba uygulandıktan sonra ince işçilik kısmı el yatırma metoduyla yapılırsa daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. El yatırma metodunda kullanılan rulo malzeme ile uygulanan reçinenin tam dağılımı yaptırılır ve arada oluşabilecek boşluklar bu sayede ortadan kaldırılmış olur (Enşici ve Aricasoy, 2006).

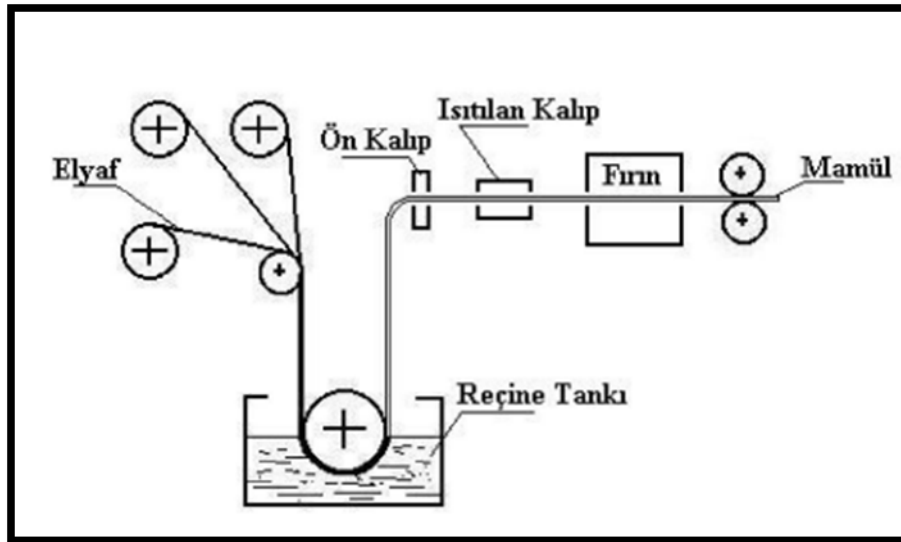
Görüldüğü gibi el yatırması ve püskürtme yöntemleri birbirlerine çok benzemektedir. El yatırmasında bahsedilen uygulama kolaylığı daha da artarak bu yöntemde de devam etmektedir. Maliyetler iki yöntem için de uygundur. İstenilen değışik dizayn ve ürünler bu iki metodla da rahatlıkla uygulanabilmektedir. Aynı

şekilde püskürtme yöntemi de fazla uzmanlık gerektirmeyen bir uygulama sitiline sahiptir.

2.1.4.3 Profil Çekme Yöntemi

Profil çekme işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği maliyetli seri üretim yöntemidir. Sistemde takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C'ye ısıtılmış Şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşmesi sağlanır. Islatmanın tam olması sebebiyle % 60-65 civarında elyaf kullanılabilir. Üretilcek kompozit malzemeden enine yük taşınması isteniyorsa özel dokuma yöntemlerinin kullanılması gerekir. Bu yöntemle genellikle çubuk ve boru şeklinde ürünler elde edildiğinden, karışımın çubuk ve boru şekli kazanması için uygun kalıplardan çekilirler. Profil çekme yöntemi, yönlenmiş elyaf, uzunlamasına mukavemetin fazlalığı, otomasyon kullanılması, işletme ve yatırım maliyeti gibi avantajlara sahiptir (Aktaş, 2010).

Profil çekme yöntemine ait şematik gösterim şekil 2.7’de gösterilmektedir.

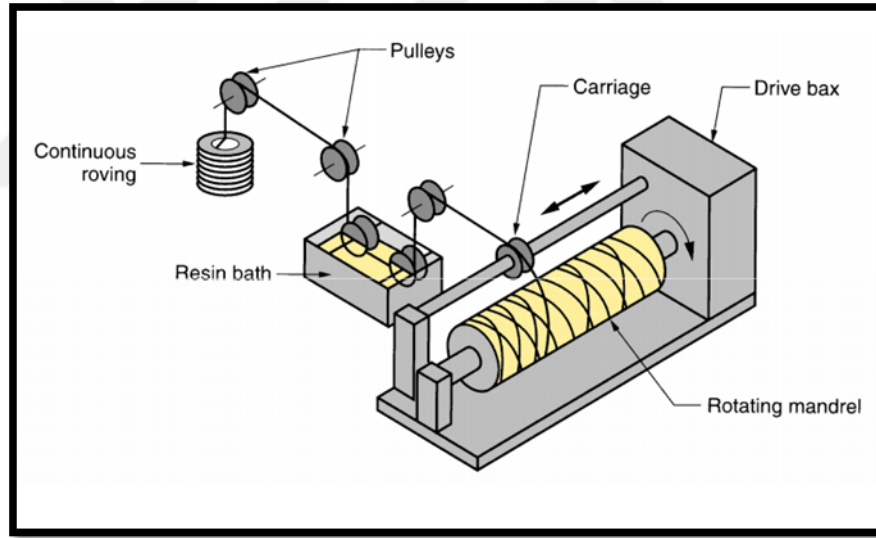


Şekil 2.7 Profil çekme yöntemi üretim şeması (Aktaş, 2010)

2.1.4.4 Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Winding)

Bu yöntem biraz daha mekanik yöntemlerin kullanıldığı yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde liflerin sarımı için dairesel bir ekipman kullanıldığı için üretilen ürün de genellikle dairesel olmaktadır. Mekanizma içerisinde bahsettiğimiz gibi dairesel bir döner ekipman bulunmaktadır. Lifler ip halinde reçineye havuzu içinden geçerken gerekli reçineyi üzerlerine alırlar ve döner ekipman üzerine sarılırlar. Her defasında lifler aynı şekilde birbiri üstüne gelemeyecekleri için değişik açı ve formlarda dairesel ekipman üzerine uygulanırlar ve bu nedenle istenilen mekanik yetkinlikler geliştirilmiş olur. Sonra dairesel döner ekipman yani uygulama kalıbı ayrılır (Arıcasoy, 2006).

Elyaf sarma metodunun üretim şeması şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8 Elyaf sarma yöntemi şematik gösterim. (Eker, 2014)

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, dokuma kumaş formunda doğal lif takviyeli polimer matrisli termoplastik kompozit malzeme üretilerek mekanik özellikleri test edilmiştir. Takviye elemanı olarak dokuma jüt ve dokuma keten kumaş, matris malzemesi olarak önce poliamid (PA 6)ve polipropilen(PP) daha sonra polietilen (PE) film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşlar kullanılmıştır. Sıcak presleme yöntemi ile üretimleri başarılı olan kompozitlerin mekanik özellikleri, çekme, eğilme ve darbe testleri ile değerlendirilmiştir.

3.1 Malzeme ve Yöntem

3.1.1 Takviye Malzemeleri

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak; 312 gr/m² ağırlığında 11 atkı, 12 çözgü sıklığına sahip dikilen dokuma jüt kumaş ve 250gr/m² dokuma keten kumaş kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Takviye elemanları dokuma jüt ve dokuma keten kumaş (Kişisel arşiv, 2020)

İyi mekanik özelliklere sahip bir kompozit malzeme elde edebilmek için takviye ve matris elemanları arasındaki ara yüzey bağının iyi olması gerekir (Bulut ve Erdoğan, 2018).

Doğal lif takviyeli kompozit malzeme üretiminde ara yüzey bağının etkinliğini

arttırmak için kullanılan yüzey iyileştirme yöntemlerinden bazıları; alkali işlem, bağlayıcı madde ile asetilasyon ve aşırı kopolimerizasyonudur (Bulut ve Erdoğan, 2018).

Önceki çalışmalar dikkate alınarak takviye malzemelerine alkali işlem uygulanmıştır. Takviye elemanı kumaşlar toz ve pislikten arındırılmak üzere duru suda yıkanmış, daha sonra 2 saat %2'lik sodyum hidroksit çözeltisi içinde bekletilmiştir. Saf su ile durulanan kumaşlar oda sıcaklığında kurutularak üretim öncesinde nem gidermek amacı ile yaklaşık iki saat etüvde bekletilmiştir.

3.1.1.1 Jüt

Jüt, kaba ve güçlü dişlere dönüştürülebilen uzun, yumuşak, parlak bir bitkisel liftir. Öncelikle bir zamanlar Tiliaceae familyası ile sınıflandırılmış olan ve daha yakın bir zamanda Malvaceae ile sınıflandırılan Corchorus cinsindeki bitkilerden üretilir. Fiberin birincil kaynağı Corchorus olitorius'tur, ancak Corchorus capsularis'e göre daha düşük kabul edilir. "Jüt", çuval bezi, kendir veya çuval bezi yapmak için kullanılan bitkinin veya lifin genel adıdır (Plants for a future, b.t).

Jüt, en uygun fiyatlı doğal liflerden biridir ve ikincisi yalnızca üretilen miktar ve kullanım çeşitliliği bakımından pamuğa sahiptir. Jüt lifleri esas olarak selüloz ve ligninden elde edilen bitkisel malzemelerden oluşur.

Jüt, MÖ 3. binyıldan beri İndus vadisinde uygarlıkta tekstil yapmak için kullanılmıştır. Yüzyıllar boyunca, jüt, tam olarak Bangladeş'in güneybatısında, Doğu Bengal kültürünün ve Batı Bengal'in bazı bölümlerinin ayrılmaz bir parçası olmuştur. On yedinci yüzyıldan beri İngilizler jüt ticareti yapmaya başlamıştır. İngiliz İmparatorluğu döneminde, jüt askeriyede kullanılmıştır. İngiliz jüt baronları, jüt işlenerek ve ondan üretilen ürünlerin satılmasıyla zenginleşmiştir. Dundee Jute Barons ve İngiliz Doğu Hindistan Şirketi Bengal'de birçok jüt değirmeni kurmuştur ve Bengal'deki 1895 yılına kadar jüt endüstrisi İskoç jüt ticaretini üstlenmiştir. Birçok İskoç, jüt fabrikasını kurmak için Bengal'e göç etmiştir. Bir milyardan fazla jüt kum torbası Bengal'den I. Dünya Savaşı'ndaki hendeklere ve güneyde Amerika'ya pamuk torbası için ihraç edilmiştir. Balıkçılık, inşaat, sanat ve silah endüstrisinde

kullanılmıştır.

Başlangıçta, dokusundan dolayı, yalnızca Dundee'de bir kişi balina yağı ile işlemiden geçirmenin makinenin işlenebilir hale geldiğini keşfetmesine kadar elle elde edilebildi. Endüstri, on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıl boyunca yükselmiştir ("jüt dokumacılığı", 1900 İngiltere nüfus sayımında tanınmış bir ticaret mesleği idi), ancak bu ticaret, sentetik liflerin ortaya çıkması nedeniyle büyük ölçüde 1970'de sona ermişti. 21. yüzyılda, jüt tekrar, başta Bangladeş olmak üzere, dünya çapında önemli bir ihracat ürünü haline gelmiştir (Plants of jüte, b.t). Jüt bitkisinin görünümü de şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Bangladeşte jüt bitki tarlası (Plants of jute, b.t)

Jüt kumaşının avantajları;

- Jüt lifi geri dönüştürülebilir ve dolayısıyla çevre dostudur.
- Altın ve ipeksi parlaklığa sahip, dolayısıyla Altın Elyaf olarak adlandırılan doğal bir elyafır.
- Bitkinin sapının derisinden veya kabuğundan elde edilen en ucuz sebze lifidir.
- Pamuktan sonra, kullanım, küresel tüketim, üretim ve bulunabilirlik açısından en önemli ikinci sebze lifidir.
- Çekme dayanımı yüksektir, uzama kabiliyeti düşüktür ve kumaşların daha iyi nefes alabilmesini sağlar. Bu nedenle jüt, tarımsal emtia toplu paketlemede çok uygundur.
- En kaliteli endüstriyel iplik, kumaş, net ve çuvalların yapılmasına yardımcı olur. Ambalaj, tekstil, tekstil dışı, inşaat ve tarım sektörlerinde hammaddede kullanılan en çok yönlü doğal elyaflardan biridir.

- Jütün avantajları arasında, iyi ısı yalıtımı ve antistatik özellikler, düşük ısı iletkenliği ve orta derecede nem geri kazanımı bulunur. Jütün diğer avantajları arasında akustik yalıtım özellikleri ve cilt tahrişi olmadan üretim sayılabilir.

Jüt kumaşının dezavantajları ise;

- Zayıf sarılabirlik ve kırışıklık direnci
- Kırılğanlık
- Elyaf dökülmesi
- Güneş ışığında sararma bulunmaktadır.
- Jüt, ıslanığında azalmış bir kuvvete sahiptir ve ayrıca nemli ortamlarda mikrobiyel saldırıya maruz kalır.

3.1.1.2 Keten

Ketenin keşfi çok uzun yıllara dayanmaktadır. İlk zamanlarda keşif edilmesiyle birlikte gıda amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Besin elde etme zorlanan insanlar keten liflerine yönelmiş ve besin takviyesi olarak kullanmışlardır. Daha sonra bu lifin kullanım alanları genişlemeye başlamıştır. Eski dönemlerde yakıt olarak da kullanılmıştır. Isınma amaçlı yakılarak kullanılmış, buhar sistemlerinde kurutulmuş yakılmasıyla buhar elde edilmesine katkıda bulunulmuştur. Günden güne birçok özelliği tespit edilmiştir. Keten yağı elde edilerek yine gıda sektöründe kullanılmıştır. Kumaş sektöründeki keşfi de çok gecikmemiştir. Lifler dokuma yöntemleriyle ilk etapta kaba kumaşlar elde edilmiştir. Hafif ve rahat oluşu nedeniyle eski dönemlerde birçok kral ve önemli liderler tarafından tercih edilmiş ve ticareti geliştirilmiştir.

İlerleyen dönemlerde kompozit uygulamalarının genişlemesiyle keten de kendini bu uygulamaların içinde bulmuştur. Keten bitkisi üretimi amacına göre değişiklik göstermektedir. Tekstilde genelde lif üretimi gerekmektedir. Lifler de dallanma daha az ve boy olarak daha uzundurlar. Tohum üretimi ise tekstil için çok makul gözükmediği için kompozit kullanımında yaygındır. Tohumları alındıktan sonra atılmak üzere ayrılan posa, sap vb. kalıntılar kompozit üretiminde kullanılarak çevreye olan olumsuz etkileri de bir anlamda engellenmiş olmaktadır. Ve çevre sürdürülebilirliği açısından mükemmel bir takviye malzemesidir (Keten elyafı, b.t.).

3.1.2 Matris Malzemeleri

Matris malzemesi olarak önce poliamid 6 ile üretim yöntemleri spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşlar, daha sonra üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşlar ile birlikte polietilen (PE) film kullanılmıştır.

3.1.2.1 Poliamid

Birçok alanda kullanım alanına sahip poliamidler kalıplama, ekstrüzyon, çözelti, kaplama ve döküm gibi yöntemlerde kullanılır. Poliamidler takviye malzemeleriyle birlikte üretilerek kuvvetlendirilebilirler. Kompozit üretimlerinde matris malzemesi olarak kullanılırlar. Genel olarak yorulma, sürünme ve darbe mukavemetleri yüksektir. Kimyasal dirençleri ve elektriksel özellikleri birçok malzemeye oranla iyi durumdadır. Polimerizasyon sırasında ayarlanabilen kristalinite derecesi poliamidin rijitliğini, mukavemetini ve ısıya karşı dayanıklılığını etkiler. Genelde düşük kristalinite derecesi tokluğu, uzamayı ve darbe mukavemetini yükseltir, fakat çekme mukavemeti ve rijitliği azaltır. Poliamid, dişli çark, kam, kaymalı yatak, rulman kafesleri, kızak gibi elemanların imalatlarında, mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle rahatlıkla kullanılırlar. Aşınmaya karşı bile yüksek dirençlerinden dolayı takım tezgâhlarının kızaklarında kaplama olarak kullanılır (Zor, 2018).

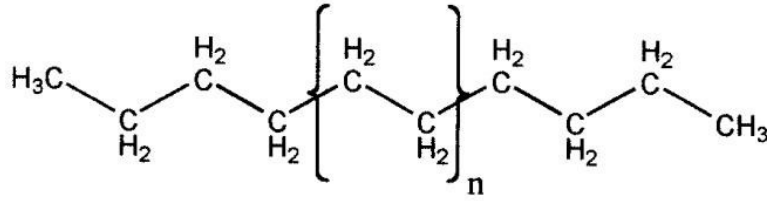
Bu tez çalışmasında da kullanılan yüksek kristallığe sahip PA 6 düşük nem aktivitesine sahiptir. Ayrıca döküm yöntemi ile de imal edilebilen sentetik bir termoplastik olan PA 6, naylon türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanıdır. PA 6' nın yoğunluğu 1.12-1.14 gr/cm³ arasında değişirken erime noktası 220 °C 'dir (Zor, 2018).

Poliamid (PA 6) diğer plastiklere nazaran birçok artı özelliklere sahiptir. Bunlardan bazıları, aşınma ve mekanik olarak yüksek dayanımlara sahiptir, İşlemesi kolaydır, darbe dayanımı yüksektir (Zor, 2018).

3.1.2.2 Polietilen

Polietilen petrolden oluşan termoplastik grubuna giren ve toplam termoplastikler içinde %32' lük oranla en fazla tüketilen ticari polimerdir (Kaiser, 2015).

Polietilen, etilen gazının polimerizasyonu ile polietilen olarak sentezlenmektedir ve Şekil 3.3 de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Polietilen sentezi (Vasile ve Pascu, 2005)

Genel olarak ucuz, kolay geri dönüşüm, iyi darbe mukavemeti, iyi elektriksel yalıtkanlık, iyi kaynak edilebilirlik ve düşük sürtünme kat sayısı gibi üstünlüklerinin yanında hava, ısı ve ışık şartlarına ve sürtünmeye karşı duyarlılıkları mevcuttur (Biron, 2007).

Polietilenler özkütle ve molekül ağırlıklarına göre; YYPE (yüksek yoğunluklu), OYPE (orta yoğunluklu), AYPE (alçak yoğunluklu), LAYPE (lineer alçak yoğunluklu) olarak sınıflandırılırlar.

YYPE, 300.000 g/mol altındaki molekül ağırlığına sahip düşük öz kütleli malzemelere nazaran daha sert ve katıdır. Darbe dayanımı iyi ve su absorpsiyonu azdır (Vasile ve Pascu, 2005).

Şekil 3.4'de de görüldüğü gibi tez çalışmasında 1mm kalınlıkta olan levha halinde yüksek yoğunluklu polietilen malzeme kullanılmıştır.

Yüksek yoğunluklu Polietilenin (PETİLEN YY S0464) reçine, termal ve mekanik özellikleri, üretici firma Petkim Petrokimya Holding A.Ş.'nin resmi sitesinden alınan

bilgileri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Yüksek yoğunluklu polietilen (Kişisel arşiv, 2020)

Tablo 3.1 Polietilenin reçine, termal ve mekanik özellikleri (PETİLEN YY S0464) (Petkim, 2019)

REÇİNE ÖZELLİKLERİ			
Tanım	Değer	Birim	Metod
Erime Akış Hızı	0,36	g/10 dk.	ASTM D1238
Yoğunluk, 23(°C)	0,961	g/cm ³	ASTM D1505
Ergime Noktası	134	(°C)	ASTM D3418
TERMAL ÖZELLİKLER			
Vicat Yumuşama Noktası, 10 N	128	°C	ASTM D1525
MEKANİK ÖZELLİKLER			
Akmadaki Çekme Dayanımı	28	MPa	ASTM D638
Kopmadaki Çekme Dayanımı	31	MPa	ASTM D638
Kopmada Uzama	1115	%	ASTM D638
Bükülme Modülü, 23 °C	1150	MPa	TS EN ISO 178
İzod Darbe Dayanımı, 23 °C (çentikli)	300	J/m	ASTM D256
Sertlik (Shore D)	65	-	ASTM D2240
Çevresel Baskıyla Kırılma Dayanımı (%10 Igepal, F50)	16	saat	ASTM D1693

YYPE malzemenin kristalleşme oranı üzerinde soğutulma hızı aktif rol oynar. Soğutma işlemi yavaş uygulanırsa kristalleşme oranı yükselir. Tam tersi şekilde soğutma işlemi hızlı uygulanırsa bu oran düşecektir. Dolayısıyla malzemenin

soğutma hızları malzemenin fiziksel özelliklerinin farklı olmasına sebep olabilir. Soğuma hızlarında dengesizlik işlem sırasında polietilen yapısının anizotropik yapı haline gelmesine neden olur ve malzemenin mekanik özelliklerinde ciddi farklılıklar oluşturur (Düşünceli ve Çolak, 2007).

3.1.2.3 Polipropilen

Polipropilen (PP), düşük işlem sıcaklığı, düşük maliyeti ve geri dönüştürülebilirlik avantajı nedeniyle jüt lifi içeren kompozitlerin üretimi için yaygın olarak kullanılan bir matristir (Sayeed ve diğer., 2013).

Polipropilen termoplastik bir polimerdir. Kullanım için birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları; darbe ve yorulma dayanımının yüksek olması, kimyasallara karşı gösterdiği direncin yüksek oluşu ve ekonomik bir polimer olması polipropileni kullanım açısından tercih sebebi yapmaktadır (Baydar ve diğer., 2012).

Yoğunlukla kullanılan alanlar ev eşyaları, mutfak aletleri, paketlenme malzemesi, laboratuvar eşyalarıdır. Otomotiv sektöründe, akü kaplarında, araçların tampon ve çamurluk eteklerinde kullanılmaktadırlar. Dolgulu polipropilen araç içi ısıtma sistem kanallarında ısı dayanıklılığı nedeniyle uygulanmaktadır. Çeşitleri aynı zamanda torba olarak da kullanılmaktadır. Kolay şekil alabilen ve yumuşak yapısı gereği ince film halinde bazı malzemeleri sarmak ve paketlenme amacıyla da kullanılmaktadır (Smith ve William, 1990).

Çalışmada kullanılan iki farklı tipte üretilen dokusuz polipropilen malzeme için teknik bilgiler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Poliprobilen kumaş (Tıbbi sanayi için taze malzeme % 100 PP sigara dokuma polipropilen kumaş, b.t.).

Dokusuz kumaşlar, filament ya da kesikli durumdaki, natürel veya sentetik lifler ile üretilmiş, ipliğe çevrilmemiş ve doku bağlama yöntemlerinin bir tanesi ile bağlanmış kumaş şeklinde tanımlanabilir (Şahin, 2011).

Mekanik performans açısından dokusuz kumaşlar dokuma olanlara göre daha düşük sertlik ve mukavemete sahiptir olmakla birlikte süneklikleri ve enerji emilimleri yüksektir (Martínez-Hergueta ve diğer., 2016).

Termoplastikler ile dokusuz yüzey üretilir. Spunbond ve meltblown olarak iki ayrı üretim vardır. Spunbond üretiminde eritilen granüller ve eriyik polimer ekstraksiyon işleminden geçirilir. Ürünler yüksek mukavemet fakat sınırlı esnekliğe sahiptir. Meltblown uygulamasında düşük viskozitedeki polimerler hızlı hava akışında ayrılmaya (ekstraksiyon) maruz bırakılırlar (Şahin, 2011).

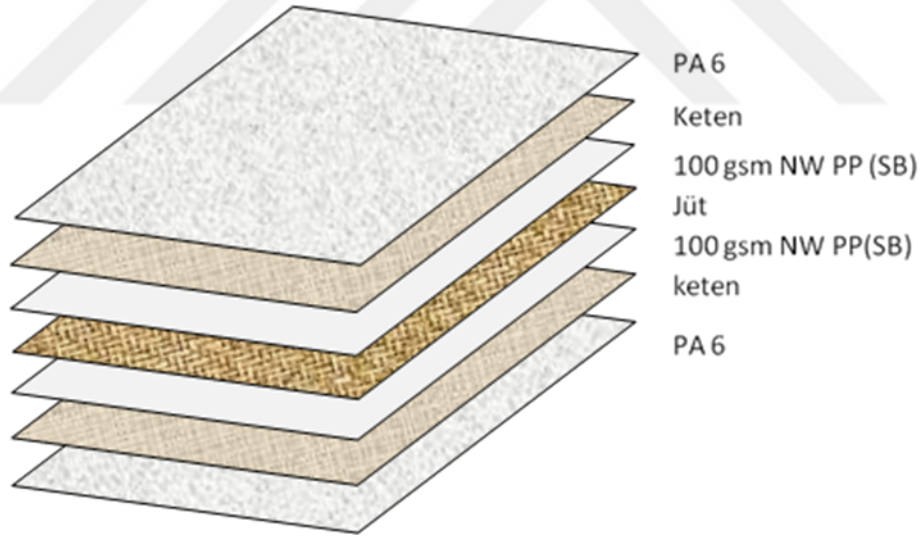
Melt blowing, doğrudan polimerik reçinelerden dokusuz kumaşları üretmek için kullanılan ilave bağlanma adımlarına ihtiyaç duymayan en yaygın tekniktir. Meltblown liflerinin nispeten daha düşük çapı, spun-bonding'e göre üstün kılmaktadır (Leucker ve diğer., 2018).

Tablo 3.2. Dokusuz polipropilen malzemenin teknik özellikleri (Mogul, 2020)

		Spunbond (SB)	Meltblown (MB)	
Ağırlık (gr/m ²)		150	150	
Kalınlık (mm)		0,72	0,72	
Çekme Gerilmesi	MD (N/5cm)	228	42	
	CD (N/5cm)	195	44	
Kopma Uzaması	MD (%)	48	30	
	CD (%)	54	35	

3.1.3 Sıcak Presleme Yöntemi ile Numune Üretimi

DEÜ kompozit üretim laboratuvarında bulunan Fontijne marka sıcak presleme cihazı kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak önce poliamid 6 (PA 6) ile üretim yöntemi spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşlar 3 mm'lik metal kalıp içerisine Şekil 3.6'daki dizilime uyularak sıralanmıştır.

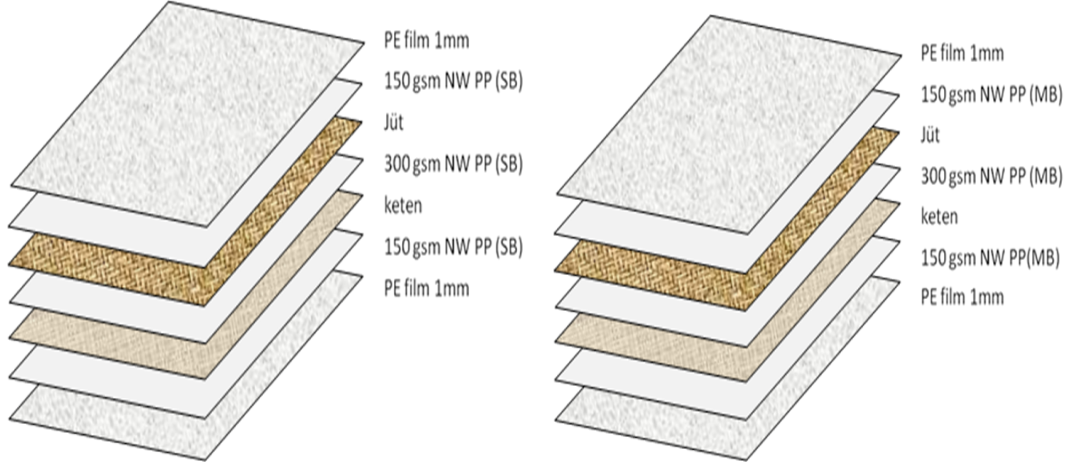


Şekil 3.6 Poliamid 6 (PA 6) ile üretim yöntemi spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşların takviye olarak kullanıldığı ilk üretimin istiflenme düzeni

30 dakikalık süre boyunca 230 °C sıcaklık ve 8,163 bar'lık sabit basınç altında üretilen kompozit levha oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Üretim sonucunda yapılan incelemelerde, üretilen kompozitin istediğimiz kalitede olmadığı gözlemlenmiştir.

Üretilen kompozit levhada Polipropilen malzemenin ise eriyerek kalıp dışına çıktığı ve takviye elemanlarının yandığı görülmüştür. Matris malzeme poliamid ise istenilen fiziksel görüntüsünün biraz dışında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu üretim sonrasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda sıcaklık her defasında 10'ar derece düşürülerek üretim tekrarlanmıştır. 195 °C sıcaklıkta üretilen kompozit levhanın kompozit bir yapıda olmadığı görülmüştür. PA 6 matris malzememiz erime sıcaklığının çok altına düştüğü için herhangi bir değişime uğramamış ve takviye malzemeleriyle bir bütün oluşturmamıştır. Kalıptan çıkartılması sırasında tamamen takviye malzemelerinden ayrılmıştır. PA 6 matris malzemesinin erime sıcaklığı kullanılan matris malzemeler başlığımızda belirttiğimiz gibi 220 °C'dir. Kompozit üretiminde etkin birleşme için bu sıcaklık değerlerine ulaşılması gerekmektedir. Fakat PA 6'nın erime sıcaklığına çıkıldığında Jüt ve keten kumaş yüksek ısıdan dolayı özelliklerini yitirerek gevrek bir yapıya dönüşmüştür. Sıcaklık değerleri jüt ve keten kumaş için ideal dereceye getirildiğinde ise polyamid malzeme erime sıcaklığından uzaklaştığı için hiçbir şekilde değişime uğramamış ve takviye malzemeler ile birleşim sağlamamıştır. Gözlemlediğimiz bu nedenlerden dolayı jüt ve keten kumaşlarla birlikte poliamid matris malzemesi kullanılarak kompozit malzeme üretimi için uygun olmadığı söylenebilir.

İkinci deneme polietilen (PE) film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşların matris malzemesi olarak kullanıldığı şekil 3.7'de gösterilen düzende dizilerek üretilen modeller ile yapılmıştır.



Şekil 3.7 Polietilen (PE) film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşların matris malzemesi olarak kullanıldığı iki istiflenme düzeni Kompozit A-PP(SB) ve Kompozit B-PP(MB)

300x300 mm boyutlarında 3 mm kalınlıktaki metal kalıp içine Şekil 3.7'deki düzenlerde yerleştirilen matris ve takviye malzemeleri, pres içinde 190 °C sıcaklıkta ve 8,163 bar'lık sabit basınç altında 30 dk bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Üretim sonucunda yapılan görsel incelemelerde, üretilen üretim aşamasının başarılı olduğu görülmüştür.

3.2 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

3.2.1 Çekme Testi

Sıcak presleme yöntemi ile üretilen doğal elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Kompozit Araştırma ve Test Laboratuvarında bulunan, 100kN yük kapasitesine sahip Shimadzu AG-X çekme testi cihazında (Şekil 3.8) çekme testleri yapılmıştır.

ISO EN 527 standartlarına göre 180x15 mm boyutunda kesilen numunelere, 5 mm/dk'lık sabit çekme hızında tek eksenle, kopuncaya kadar çekme kuvveti uygulanmıştır.



Şekil 3.8 Testlerin yapıldığı çekme makinesi (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 3.9 Ölçüleri 180 mm - 15 mm olan çekme test numunesi (Kişisel arşiv, 2020)

Kuvvet ile cihaz ve video ekstensometreden alınan uzama verileri vasıtasıyla her numune için ayrı ayrı kuvvet-uzama diyagramları çizilmiş, kuvvet (F) ve uzama (ΔL) diyagramları kullanılarak elastisite modülleri ve çekme dayanımları hesaplanmıştır.

3.2.2 Darbe Testi

Düşük, orta veya yüksek hızlarda çok kısa bir süre içinde, bir malzeme üzerine gelen anlık bir dış kuvvet darbe olarak tanımlanabilir.(metin sayer tez)Kullanım sırasında değişik nedenlerle darbe yüküne maruz kalan tabakalı kompozit malzemelerde tabakaların ayrılması şeklinde gözle görülmeyen hasarlar oluşabilir. Bu hasarlar malzemeyi tasarlanan yük değerinden daha küçük yüklerde kullanılamaz hale getirebilir. Bu nedenle bu hasarların incelenmesi için yapılan darbe testleri

kompozit malzeme uygulama alanlarında karşılaşılabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesinde önemlidir (Aslan ve diğer, 2002).

Çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi Kompozit Üretim Labrotuvarında bulunan ve Şekil 3.10’da gösterilen 22,4 kN kapasiteli CEAST- Fractovis Plus darbe cihazı kullanılmıştır. Cihaz vurucu uç çapı 12,7 mm ve kütleli ağırlığı 0,626 kg’dır.



Şekil 3.10 Darbe cihazı (Kişisel arşiv, 2020)

100x100mm² boyutlarında kesilen numuneler, test cihazına yerleştirilmiş ve darbe ucu hesaplanan yükseklikten numunenin tam ortasına düşürülmüştür.

Test numuneleri oda sıcaklığında sırasıyla 5 J, 10 J ve 20 J enerji seviyelerinde delinme meydana gelene kadar test edilmiştir.

Numune tarafından darbe ucuna gelen tepki kuvveti kuvvetölçer vasıtası ile bilgisayara aktararak kompozitin darbe karakteristiğini belirlemede kullanılan kuvvet çökme ve enerji-zaman verileri elde edilmiştir (Sayer, 2009).

3.2.2.1 Eğriler

3.2.2.1.1 *Kuvvet-Çökme Eğrileri.* Kompozit malzemede darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir tanesi Kuvvet-çökme eğrileridir.

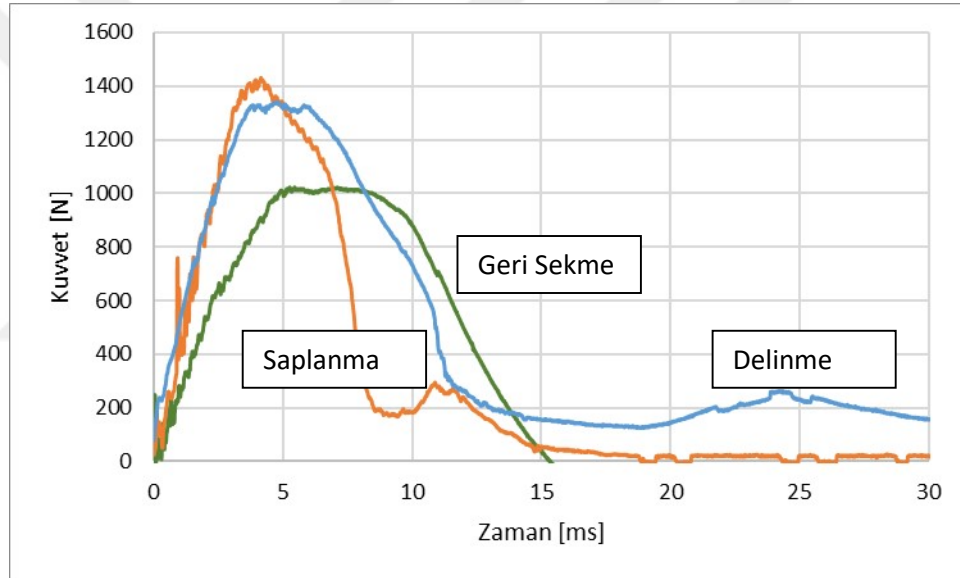
Şekil 3.11’de farklı darbe enerjisi altında, kuvvetin ve çökme değişimini gösteren bir grafik görülmektedir. Her bir enerji seviyesi için eğriler yükleme ile artan kısma maksimum yükten sonra bir azalan kısma sahiptir. Kuvvet-çökme eğrisinde artan kısmın eğimi darbe yüküne karşı numunenin göstermiş olduğu dirençten dolayı eğilme rijitliği olarak adlandırılır (Sayer, 2009).

Kuvvet çökme eğrileri artan darbe enerjisine bağlı olarak açık ve kapalı tip olmak üzere iki şekilde oluşur. Vurucunun numuneye temas etmesinden sonra numune yüzeyinden geri sekmesi ile kapalı tip eğri oluşur. Uygulanan darbe enerjisinin büyük bir kısmı numune tarafından absorbe edilir. Absorbe edilemeyen enerji vurucunun ucunun geri sekmesine neden olur. Artan darbe enerjisi ile çökme artar ve kapalı eğri genişler. Vurucu ucun numuneye saplanması veya numuneyi delip geçmesi durumunda açık eğri meydana gelir. Saplanma durumunda vurucu numune kalınlığı boyunca aşağı doğru hareket eder ve geri sekme meydana gelmez. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekirken vurucu ve numune arasında sürtünme meydana geldiği için eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel ilerler.



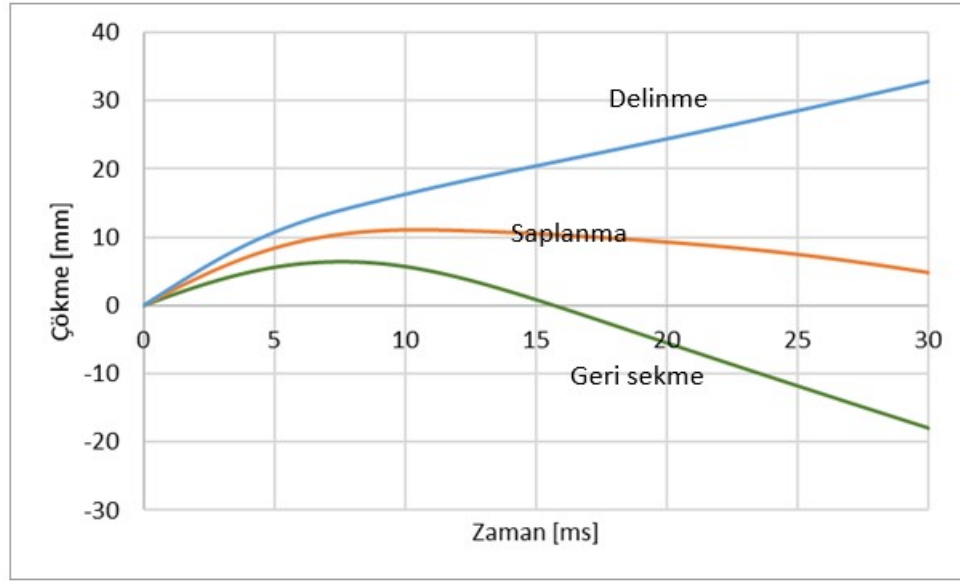
Şekil 3.11 Farklı darbe enerjilerinde kuvvet çökme eğrileri

3.2.2.1.2 *Kuvvet-Zaman Eğrileri.* Şekil 3.12 de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi durumları için kuvvet zaman eğrileri gösterilmiştir. Vurucu ucun geri sektği durumda, eğri paraboliktir ve dağa benzeyen bir şekle sahiptir. Vurucu ucun saplanması ve numuneyi delmesi durumunda kuvvet artar Darbe enerjisinin artmasıyla meydana gelen maksimum kuvvet değeri de hemen hemen sabit bir değer olmaktadır. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekir ama şekilden de görüleceği üzere vurucu ve numune arasında sürtünme meydana geldiğinden eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel ilerlemiştir.



Şekil 3.12 Farklı darbe enerjilerinde kuvvet zaman eğrileri

3.2.2.1.3 *Çökme-Zaman Eğrileri.* Şekil 3.13'de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi durumları için çökme zaman eğrileri gösterilmiştir. Darbe enerjisi arttıkça kuvvet ve maksimum çökmede artar. Vurucu numuneye saplanması durumunda hızı sıfıra ulaşır ve çökme sabit kalır. Vurucu ucun numuneyi delip geçmesi durumunda ise vurucu ve numune arasındaki sürtünme vurucunun ilerlemesini engeller. Çökme vurucunun sahip olduğu darbe enerjisi arttıkça artmaktadır.



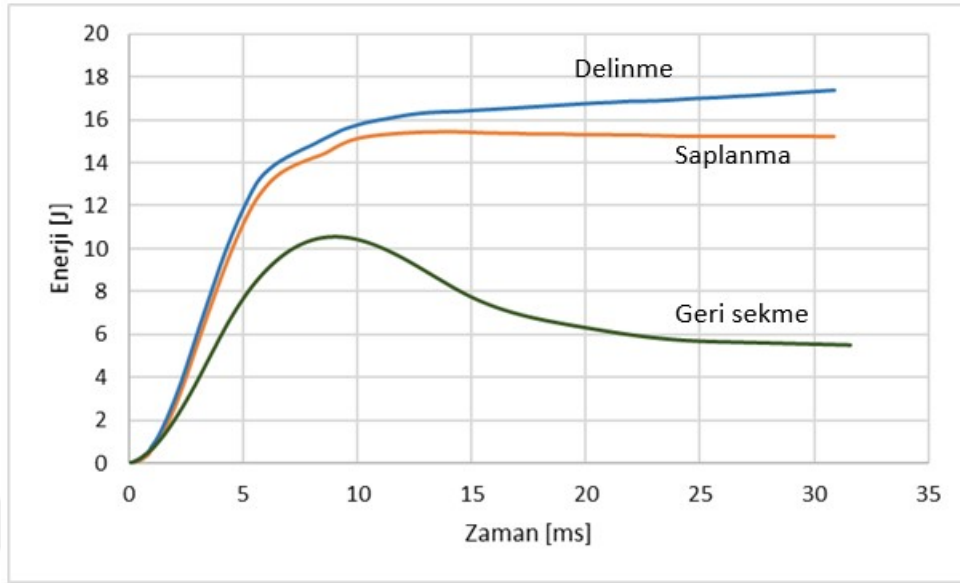
Şekil 3.13 Farklı darbe enerjilerinde kuvvet zaman eğrileri

3.2.2.1.4 Hız-Zaman ($V-t$) Eğrileri. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi durumlarına ait hız-zaman grafiği Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Vurucunun hızı numune yüzeyine temastan sonra azalır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucu geri hareket eder ve negatif bir hıza sahip olur. Vurucunun numuneye saplanması durumunda vurucu belli bir hız ile numuneye saplandığından hız sıfırlanır. Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda vurucu ve numune arasındaki sürtünme hızı azaltacaktır. Fakat geri da geri sekme meydana gelmediğinden vurucu hızı pozitif olacaktır (Sayer, 2009).



Şekil 3.14 Farklı darbe enerjilerinde hız-zaman eğrileri

3.2.3.1.5 Enerji-zaman eğrileri.



Şekil 3.15 Farklı darbe enerjilerinde enerji-zaman eğrileri

Şekil 3.15’de vurucu ucun numune yüzeyinden geri sekmesi, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi durumlarına ait absorbe edilen enerji-zaman grafiği görülmektedir. Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sektiğinde vurucunun enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilemez ve absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesine harcanır. Vurucunun numuneye saplandığı durumda ise vurucunun enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilir. Eğrinin son kısmı hemen hemen yatay olarak devam eder (Sayer, 2009).

Vurucu numuneyi delip geçtiği durumda ise, vurucu ile numune arasındaki sürtünme kısmının altında kalan alanın da hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katıldığı için eğri yukarı doğru yönlenir. Bu sürtünme kısmının altında kalan alanın toplam absorbe edilen enerji miktarından çıkarılması gerekir (Sayer, 2009).

3.2.2.2 Kompozit Malzemede Darbe Hasarları

Tabakalı kompozitlerde darbe sonucu, matris çatlağı, delaminasyon, lif kopması ve delinme şeklinde hasarlar meydana gelmektedir.

3.2.2.2.1 Matris Hasarı. Düşük hızlı darbeye ve liflere paralel olan çekme, basma ve kayma sebebiyle meydana gelen bir hasar modudur (Ağayev, 2018). Kalın numunelerde Matriks çatlakları rijit yapılar için numunenin darbe uygulanan yüzeyinde meydana gelen yüksek temas gerilmelerinden dolayı başlar. Numunenin kalın olması halinde, vurucu tarafından darbeye maruz kalan numunenin ilk tabakasında, yüksek ve lokal temas gerilmelerinden dolayı matriks çatlakları meydana gelir. Numunenin ince olması halinde, tabakanın en alt yüzeyinde meydana gelen eğilme gerilmeleri en alt tabakada matris çatlaklarını meydana getirir.

3.2.2.2.2 Delaminasyon Hasarı. Kalın numunelerde, vurucu tarafından darbeye maruz kalan numunenin ilk tabakasında, yüksek ve lokal temas gerilmelerinden dolayı matris çatlakları meydana gelir.

3.2.2.2.3 Lif Kopması. Düşük hızlı darbe deneyinde gerçekleşen en yaygın hasar modudur. Genellikle delaminasyon ve matris kırılmasından sonra gerçekleşir. Liflerin kopmasında iki önemli etken neden olmaktadır (Kocamış, 2020).

a) Lokal gerilmeler ve penetrasyon sebebiyle oluşan etkilerdir: Bu durum darbeden sonra çarpan cismin hemen alt kısmında gerçekleşir (Ağayev, 2018).

b) Yüksek eğme gerilmeleridir: Darbeden sonra darbeye maruz kalmayan alanlarda oluşmaktadır (Ağayev, 2018).

3.2.2.2.4 Saplanma ve Delinme. Vurucu ucun hızına veya kütesine bağlı olarak numuneye saplanma ve numuneyi delip geçme gibi hasarlar oluşmaktadır. (Ağayev, 2018).

3.2.3 Eğme testleri

Üç nokta eğme testi Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında yer alan Shimadzu AG-100 cihazında (Şekil 3.16) gerçekleştirilmiştir. Eğme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir eğme numunesi hazırlanmıştır. Destekler arası mesafe ASTM D 790 standardında belirtilen değerde ve eğme hızı 1 mm/dk ile yapılmıştır.

İki destek arasına Şekil 3.16’da gösterildiği şekilde numune yerleştirilerek. Numunenin orta kısmına kuvvet uygulanarak numunenin kırılması sağlanır. Bu işlem gerçekleşene kadar kuvvet uygulanır.

50 mm'lik bir destek uzunluğu kullanılarak, 1 mm/dak sabit test hızı uygulanmıştır.



Şekil 3.16 Eğilme testi uygulaması (Kişisel arşiv, 2019)

Eğme deneyini tamamladıktan sonra bazı değerlerin hesaplanabilmesi için bir dizi formül uygulamaları yapılmaktadır. Deney sırasında eğilim düzeyinin hassas bir şekilde takip edilmesi ve destekler arasındaki mesafenin net bir şekilde biliniyor olması gerekiyor. Eğilme gerilmesinin maksimum değerinin belirlenmesi için;

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3.1)$$

Eğilim miktarının hesaplanması için ise;

$$f = \frac{FL^3}{48EI} \frac{FL}{2bh^2} \quad (3.2)$$

Eğilme momentinin maksimum değerinin hesaplanabilmesi için;

$$M_e = \frac{FL}{4} \quad (3.3)$$

Formüllerinin kullanılması gerekmektedir.

σ = Maksimum normal gerilme (N/mm²)

F = Kuvvet (N)

M_e = Eğilme Momenti (Nmm)

ϵ = Birim şekil değiştirme

E = Elastisite Modülü (N/mm²)

f = Sehim (mm)

I = Dikdörtgen kesit için atalet momenti (mm⁴)

b = Kiriş genişliği (m)

L = Destekler arası mesafe (m)

h = Kiriş yüksekliği (mm)

BÖLÜM DÖRT

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

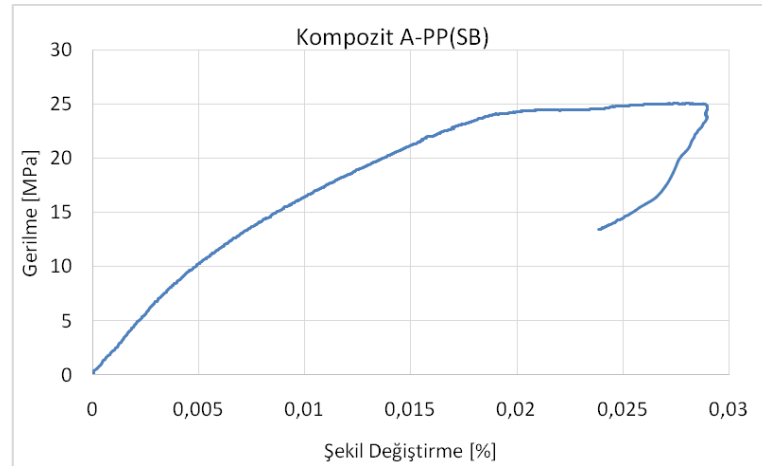
4.1 Çekme Deney Sonuçları

Her bir kompozit tipi için 3'er çekme numunesi ISO EN 527 standardına test edilerek ortalama sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Takviye malzemesi polipropilenin'nin üretim yönteminin çekme mukavemeti sonuçlarını çok fazla değiştirmedeği, fakat kompozitlerin mukavemet değerlerinin saf yüksek yoğunluklu polietilen'e göre önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

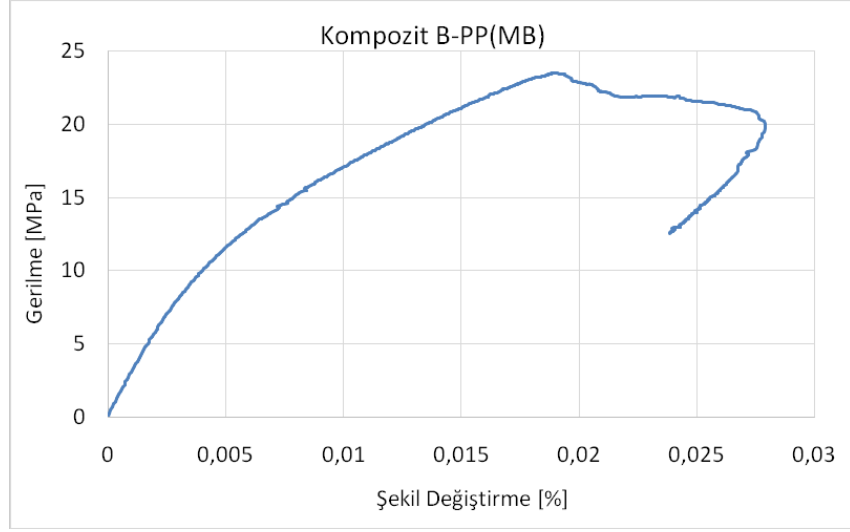
Tablo 4.1 Çekme test sonuçları (Kocamış, 2020)

Numune	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Çekme Mukavemeti [MPa]	Elastisite Modülü [MPa]
Polietilen	304,4	16,5	395,6
Kompozit A-PP(SB)	1167,5	25,95	2760
Kompozit B-PP(MB)	1055,02	23,45	2601

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 üretilen A ve B tipi kompozitlerin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-şekil değişim grafiklerini göstermektedir.



Şekil 4.1 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin gerilme-şekil değişim grafiği



Şekil 4.2 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin gerilme şekil değışirme grafiği

4.2 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Polietilen film ve dokusuz polipropilen kumaş matrisli, jüt-keten dokuma kumaş takviyeli kompozit numunelere uygulanan üç nokta eğme testi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Kompozit levha numunesinin eğme gerilimi bulunmuştur.

Tablo 4.1 Üç nokta eğme test sonucu

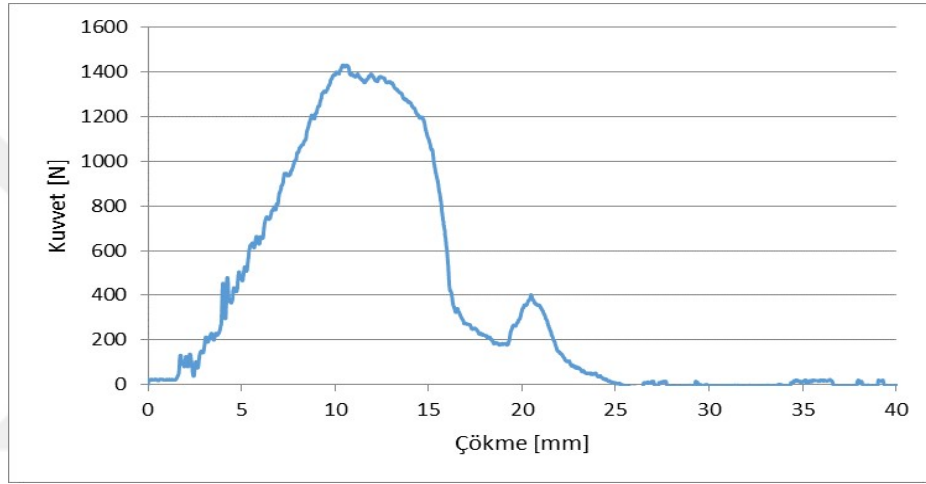
Numune	Eğilme Mukavemeti [MPa]	Eğilmede Elastisite Modülü [MPa]
Kompozit A-PP(SB)	19,75	511
Kompozit B-PP(MB)	22,32	523

4.3 Darbe Testi Sonuçları

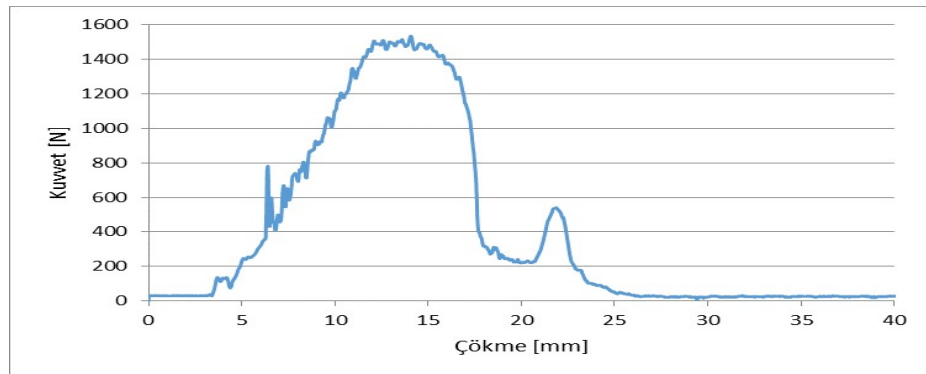
Kompozit malzemede darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir tanesi kuvvet-çökme eğrileridir. Kompozit A PP(SB) tipi ve Kompozit B PP(MB) tipi numuneler oda sıcaklığında sırasıyla 5 J, 10 J ve 20 J enerji seviyelerinde delinme meydana gelene kadar test edilmiştir. Numunelerin delindiği 20 J enerji

seviyesinde darbe karakteristiğini belirleyen kuvvet-çökme ve enerji-zaman, çökme-zaman, hız-zaman grafikleri aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 Kompozit A PP(SB) , Kompozit B PP(MB) tipi numuneler için kuvvet-çökme grafiklerini göstermektedir. Vurucu ucun numuneyi saplanması veya numuneyi delip geçmesi oluşan eğri açık tiptir. Her iki tip numunede de delinme meydana gelmiştir, vurucu ve numune arasında sürtünme meydana geldiği için eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel ilerlemektedir.



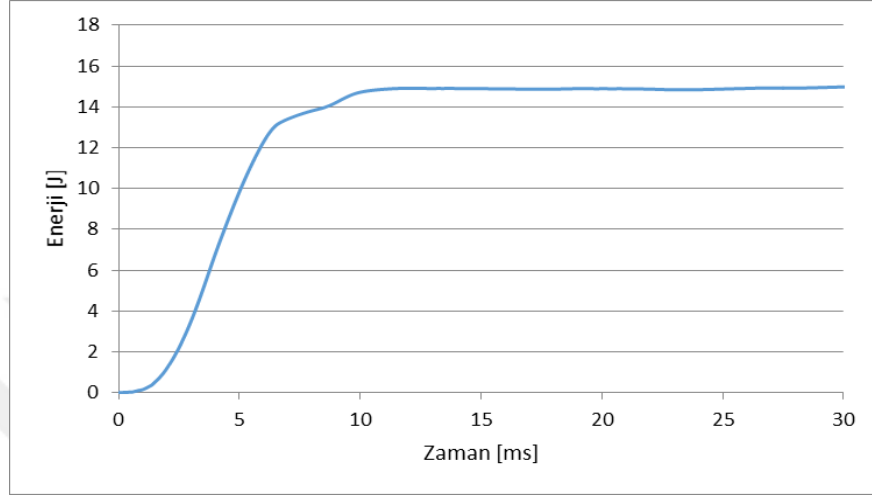
Şekil 4.3 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde kuvvet-çökme grafiği



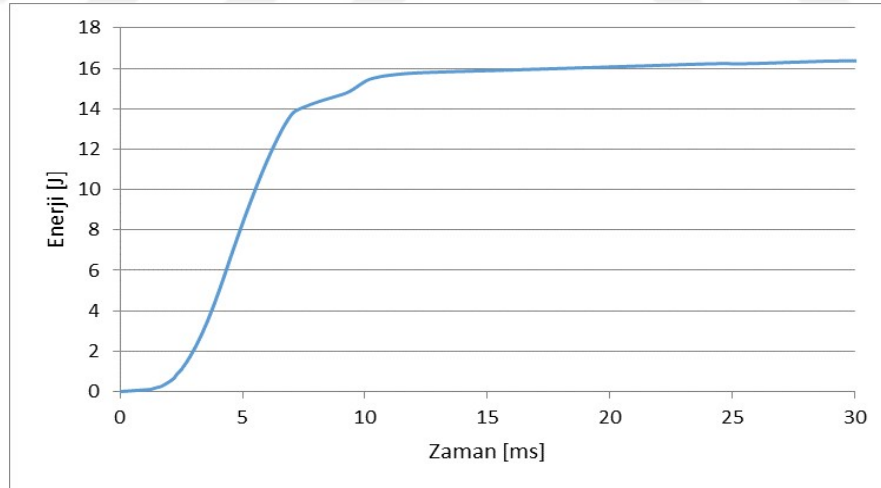
Şekil 4.4 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde kuvvet-çökme grafiği

Her iki tipe ait enerji zaman grafikleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da vurucunun numuneyi delip geçmesi durumlarına ait absorbe edilen enerji-zaman grafikleri görülmektedir. Vurucunun numuneye saplandığı durumunda ise vurucunun enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilmiştir, erinin son kısmı hemen hemen yatay olarak devam etmektedir.

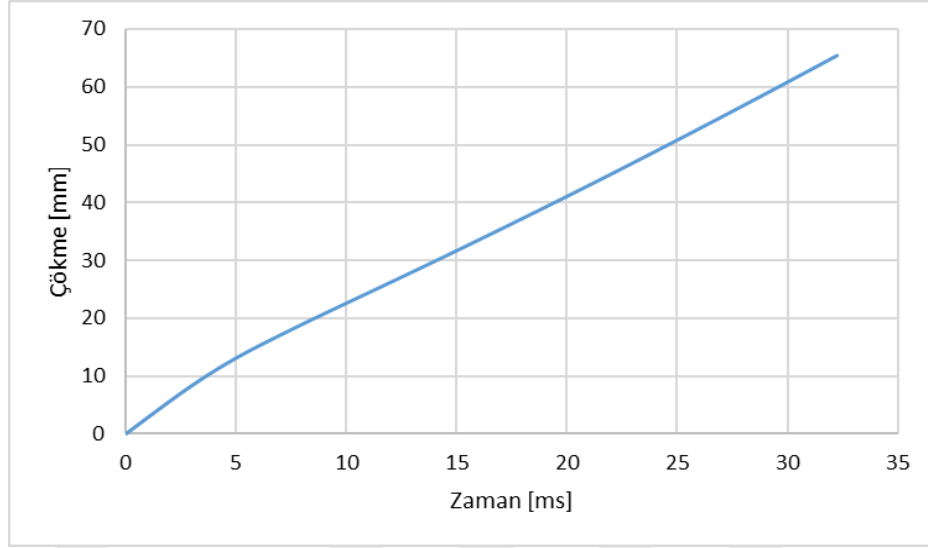


Şekil 4.5 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde enerji-zaman grafiği

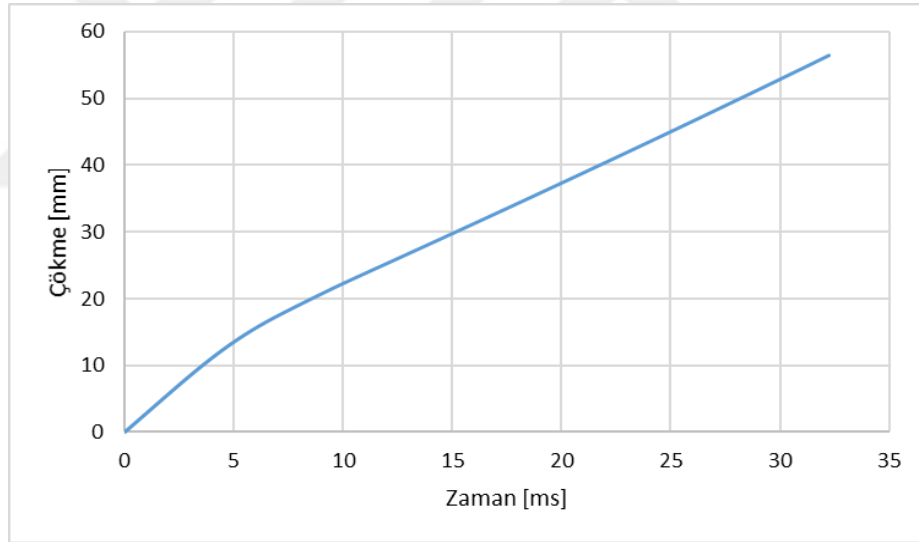


Şekil 4.6 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde enerji-zaman grafiği

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de vurucu ucun numuneyi delip geçmesi durumlarına ait çökme-zaman grafikleri görülmektedir. Vurucu ucun numuneyi delip geçtiği için vurucu ve numune arasındaki sürtünme vurucunun ilerlemesini engellemiştir.

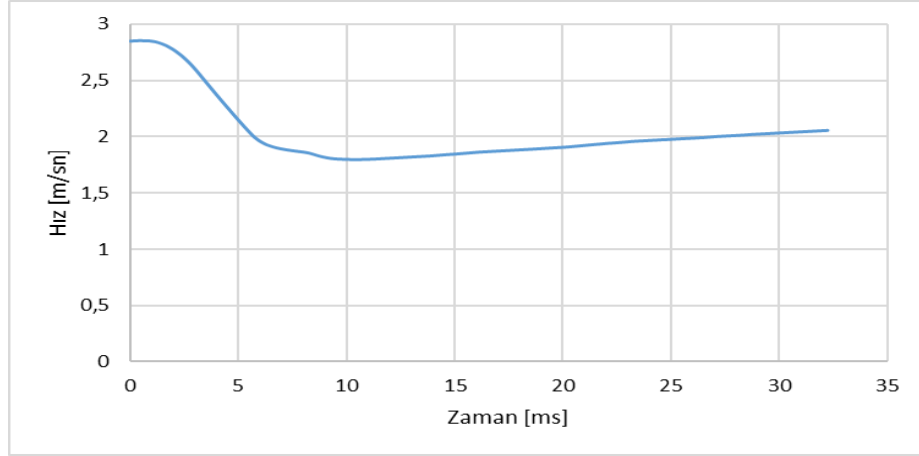


Şekil 4.7 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde çökme-zaman grafiği

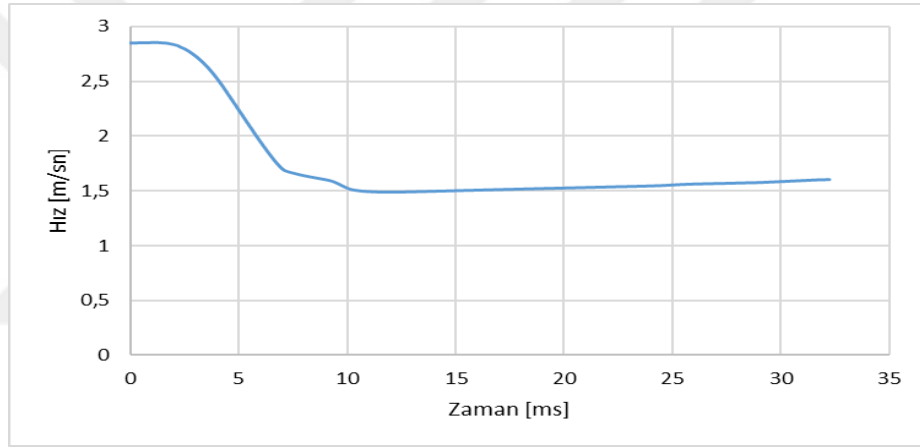


Şekil 4.8 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde çökme-zaman grafiği

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da vurucu ucun numuneyi delip geçmesi durumlarına ait çökme-zaman grafikleri görülmektedir. 20 J darbe enerjisinde vurucu numuneyi delip geçtiği için vurucu ve numune arasındaki sürtünme hızı azalmıştır.



Şekil 4.9 Kompozit A-PP(SB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde hız-zaman grafiği



Şekil 4.10 Kompozit B-PP(MB) tipi numunenin 20J darbe enerjisinde hız-zaman grafiği

20J darbe enerjisindeki test sonuçları Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2 20J darbe enerjisinde numunelerin darbe test sonuçları

	Kompozit A-PP(SB)	Kompozit B-PP(MB)
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20 J	20 J
Absorbe Edilen Enerji (J)	14,89 J	16 J
Maksimum Çökme (mm)	28	30
Kalıcı Çökme (mm)	28	30
Maksimum Kuvvet (N)	1400	1500

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİ

Bu çalışmada dokuma kumaş formunda doğal lif takviyeli polimer matrisli termoplastik kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Takviye elemanı olarak jüt ve keten dokuma kumaş, matris malzemesi olarak önce poliamid, daha sonra polietilen (PE) film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen (PP) kumaşlar kullanılmıştır. Üretim yöntemi olarak sıcak presleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Polietilen (PA6) matrisli ve jüt-keten dokuma kumaş takviyeli kompozit (PA 6) üretimi başarısız olmuştur.

Poliamid (PA6) matris malzemesinin erime sıcaklığı 220 °C'dir. Kompozit üretiminde etkin birleşme için bu sıcaklık değerlerine ulaşılması gerekmektedir. Fakat poliamid (PA6)'nın erime sıcaklığına çıkıldığında dokuma jüt ve dokuma keten kumaş yüksek ısıdan dolayı özelliklerini yitirmiştir. Sıcaklık değerleri jüt ve keten kumaş için ideal dereceye getirildiğinde ise poliamid (PA6) malzeme erime sıcaklığından uzaklaştığı için takviye malzemeler ile birleşim sağlanamamıştır. Sıcaklık değerleri değiştirilerek yapılan denemeler sonucunda, takviye elemanı dokuma jüt ve dokuma keten kumaş ile birlikte poliamid (PA6) matris malzemesinin sıcak presleme yöntemi ile kompozit malzeme üretilmeyeceği sonucuna varılmıştır.

- Polietilen film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen kumaşların matris olarak kullanıldığı jüt-keten dokuma kumaş takviyeli kompozitler başarı ile üretilmiştir.

- Bu kompozitlere ait mekanik özellikler, çekme, eğilme ve darbe testleri ile değerlendirilmiştir.

- Kompozit A-PP(SB) tipi için çekme mukavemeti 1167,5 MPa ve Kompozit B-PP(MB) tipi için çekme mukavemeti 1055,02 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerler

yüksek yoğunluklu saf polietilenin çekme mukavemetinden %42 ile %57 daha fazladır.

- Kompozit A-PP(SB) tipi için eğilme mukavemeti 19,75 MPa ve Kompozit B-PP(MB) tipi için 22,32 MPa olarak bulunmuştur.

- Her iki numunenin absorbe ettikleri enerji değerleri birbirine yakın olup, Kompozit A-PP(SB) ve Kompozit B-PP(MB) tipi numune için sırası ile 14,89 ve 16 J dür.

- Takviye elemanı olarak jüt ve keten dokuma kumaş, matris malzemesi olarak polietilen film ve üretim yöntemleri meltblown ve spunbond olan dokusuz polipropilen kumaşlar ile üretilmiş iki tip kompozit için, çalışılan şartlarda, takviye elemanı polietilenin üretim yönteminin bir etkisi olmadığı çıkan sonuçlar içindedir.

KAYNAKLAR

- Ağayev, S. (2018). *Çam kozalağı takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Aktaş, M. (2010). *Dokuz Eylül Üniversitesi polimer malzemeler ders notları*. 13 Eylül 2019, <http://debis.deu.edu.tr/userweb//mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>
- Arıcasoy, Ö. (2016). *Kompozit sektör raporu*. 12 Aralık 2016, <https://docplayer.biz.tr/1493884-Kompozit-sektor-raporu.html>
- Aslan, Z., Karakuzu, R. ve Sayman, O. (2002). Dynamic characteristics of laminated woven e-glass-epoxy composite plates subjected to low velocity heavy mass impact. *Journal of Composite Materials*, 36, 2421-2442.
- Biron, M. (2007). *Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users*. New York: Elsevier.
- Bulut Y. ve Erdoğan Ü. H. (2018). Selülöz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı. *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası*, (82), (26-35).
- Camer, H. (2016). *Composite material applications*. 07 Eylül 2019, <https://www.slideshare.net/HanyAmer4/composite-material-definition-applications>
- Deng, Y., Paraskevas, D., Tian, Y., Acker, V., Wim, K., Duflou, D. ve Joost R. (2016). Life cycle assessment of flax-fiber reinforced epoxidized linseed oil composite with a flame retardant for electronic applications. *Journal of Cleaner Production*, 133, 427-438.

- Dhakal, H. N., Sarasini, F., Santulli, C., Tirillo, J., Zhang, Z., ve Arumugam, V. (2015). Effect of basalt fiber hybridisation on post-impact mechanical behaviour of hemp fiber reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 75, 54-67.
- Enşici, A. (2004). *Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları raporu*, 10 Ekim 2004, <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/>
- Evcin, A. (b.t.). *Afyon Kocatepe Üniversitesi polimer malzemeler ders notları*. 13 Eylül 2019, <http://blog.aku.edu.tr/evcin/dersler/polimer-malzemeler/>
- Faris, AL-Oqla, M., Sapuan, S.M. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 6, 347-354.
- Faris, AL-Oqla, ve M., Sapuan, S.M. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 6, 347-354.
- Halis, C. (2017). *Doğal elyaflar*. 16 Eylül 2019, <https://tekstilbilgi.net/dogal-elyaf-nedir.html>
- Itoh M., Inoue K., Hirayama N., Sugimoto M. ve Seguchi T. (2002). Fiber reinforced plastics using a new heat-resistant silicon based polymer. *Journal of Materials Science*, 37 (17), 3795-3801.
- Kaiser, W., (2006). *Kunststoff chemie für ingenieure. Von der Synthesis bis zur Anwendung*, 118-119
- Karnani, R., Krishnan, M. ve Narayan, R., (1997). Bio-fiber reinforced polypropylene composites. *Polymer Engineering ve Science*, 37 (2), 476-483

- Karthik, S. (2014). Determination of mechanical properties of intra- layer abaca/epoxy glass fiber reinforced composite. *Materials Design*, 60, 643-652.
- Kaya, A. İ. (2016) *Kompozit malzemeler ve özellikleri*. 13 Eylül 2019, <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>
- Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech ve Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi*, 29, 38-45.
- Kayrak, M. A. (1999). *Havacılık kompozitleri ve mukavemet-maliyet analizleri*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Kocamış U.Ö. (2020). *Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir
- Kompozit malzemeler hakkında her şey*, (b.t.). 15 Eylül 2019, <https://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkinda-hersey/>
- Korkut, S. (2017). *Kompozit malzemeler*. 16 Eylül 2019, www.serdarkorkut.com/2017/01/22/kompozit-malzemeler/
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N. ve Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 42, (4), 856– 873.
- La Mantia, F.P., Morreale, M. (2011). Green composites: a brief review. *Composites part A*, 42 (6), 579e588.
- Leucker, K., Amtmann, J., Schubert ve D.W. (2018). Novel objective test method for the abrasion and pilling behaviour of low basis weight spunbond polypropylene nonwovens. *Polymer Testing*, 69 (2018) 175–181

- Martínez-Hergueta, F., Ridruejo, A., González, C. ve LLorca, J. (2016). Multiscale micromechanical model of needle punched nonwoven fabrics, *International Journal of Solids and Structures*, 96 (2016) 81–91
- Mileberg E. (2016). *Carbon fiber composites protect japanese building from earthquakes.* 12 Eylül 2019, compositesmanufacturingmagazine.com/2016/01/carbon-fiber-composite-protects-japanese-building-from-earthquakes/
- Mohanty, A.K., Misra, M. ve Hinrichsen, G., (2000) Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites. *An Overview Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277, 1-24.
- Particle reinforced composites,* (b.t) 17 Eylül 2019, <http://www.materials.unsw.edu.au/tutorials/online-tutorials/5-particle-reinforced-composites>
- Qu, J. (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials*, 14(4), 269-281.
- Roski. (2016). *The roof of the olympic stadium velodrome made from composites.* 12 Eylül 2019, roski.com/en/the-roof-of-the-olympic-stadium-velodrome-made-from-composites
- Sanjay, M. R. ve Yogesha B.(2017). Studies on natural/glass fiber reinforced polymer hybrid composites: an evolution. *Materials Today: Proceedings*, 4, 2739–2747.
- Sanjay, M.R., Arpitha, G.R., Laxmana Naik, L., Gopalakrishna, K. ve Yogesha, B. (2016). Applications of natural fibers and its composites: an overview. *National Resources*, 7, 108-114.

- Sanjay, M.R., Arpitha, G.R., Laxmana Naik, L., Gopalakrishna, K. ve Yogesha, B. (2016). Studies on mechanical properties of banana/e-glass fabrics reinforced polyester hybrid composites. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7 (9), 3179-3192.
- Sathishkumar, T. P., Navaneethakrishnan, P., Shankar, S., ve Rajasekar, R. (2014). Mechanical properties and water absorption of short snake grass fiber reinforced isophthallic polyester composites. *Fibers and Polymers*, 15(9),1927–1934.
- Sayeed, M.M.A.,Rawal, A., Onal, L., ve Karaduman, Y. (2013). *Mechanical properties of surface modified jute fiber / polypropylene nonwoven composites*, 13 Eylül 2019, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.22751>
- Sayer M. (2009). *Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Seydibeyoğlu M.Ö. (2012). *Karbon elyaf kompozitlerin hazırlanmasında yeni teknolojiler*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Singleton, A.C.N., Baillie, C.A., Beaumont, P.W.R., Peijs, T., (2003). On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fiber/recycled polymer composite. *Composites. Part B Eng.* 34, 519-526
- Smith V., ve William F. (1990). *Material science and engineering*. (N. Kınıkoğlu, çev.) Ankara: Literatür Yayıncılık. (Orijinal çalışma basım tarihi 1990).
- Şahin, S., (2011). *Medikal alanda kullanılan tekstillerde antibakteriyel etkiler için sol-jel uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- The BMW i3 is a Trend Setter*, (b.t.). 03 Eylül 2019, <http://compositeslab.com/bmw-i3-first-mass-produced-car-made-largely-with->

composites/

Vasile, C., ve Pascu, M. (2005). *Practical guide to polyethylene*. London: Smithers Rapra Publishing.

Vasiliev, V. ve Morozov, E. (2001). *Mechanics and analysis of composite materials*. İngiltere: Elsevier Yayınları.

Vijaya Ramnath, B., Manickavasagam, V.M., Elanchezhian, C., Vinodh Krishna, C., Yalçın H. ve Gürü M. (2002). *Malzeme bilgisi*. Ankara: Palme Yayıncılık.

Yusriah, L., Sapuan, S.M., Zainudin, E.S. ve Mariatti, M., (2014). Characterization of physical, mechanical, thermal and morphological properties of agro-waste betelnut (Areca catechu) husk fiber. *Journal of Cleaner Production*, 72, 174-180.

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.

Zor, M. (2018). *Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler*. 10 Ocak 2018, http://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf