



**POLİMER ESASLI KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMENİN KETEN İPLİĞİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Canan YERALTI

**YÜKSEK LİSANS
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

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

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

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

Canan YERALTI

21/06/2021

POLİMER ESASLI KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN KETEN İPLİĞİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Canan YERALTI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Kompozit malzemeler geliştirilebilen özelliklerinden dolayı son zamanlarda havacılık, uzay ve otomobil sektörleri başta olmak üzere birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. Polimer esaslı kompozit malzemeler yüksek mukavemet, hafif olmaları, iyi korozyon ve yorulma direnci gibi birçok avantajından dolayı sektörlerde oldukça önemlidir. Gerçekleştirilen bu çalışmada prepreg olarak hazırlanmış örülmüş karbon elyaf (prepreg) takviyeli epoksi reçine esaslı kompozit malzeme, doğal elyaf olan keten ipliği ile omurga oluşturacak şekilde güçlendirilmiştir. Çalışma kapsamında sadece iki kat prepreg, iki katman prepreg arasına örgülü keten yerleştirilmiş ve örgü arasına epoksi ilave edilmiş parçalar üretilmiştir. Üç farklı kombinasyon ile üretilen numunelere çekme ve üç nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, takviye elemanı olarak doğa dostu, düşük maliyetli ve yoğunluğu düşük olan keten ipliğinin takviye elemanı olarak kullanılması ile kompozit malzemenin eğilme performansının %302,4 oranında arttığı tespit edilmiştir. Üretim sırasında prepreg'in üzerine epoksinin ilave edilmesi ile kompozit malzemenin çekme mukavemetinde artış gözlemlenirken, düşen süneklik özelliği ve gevrekliğinin artması sonucu eğilme performansında azalma görülmüştür. Yapılan çalışma ile keten ipliğinin malzemenin performansını artırması sonucu kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 91417

Anahtar Kelimeler : Karbon Elyaf, Polimer esaslı kompozit, Keten ipliği, Mekanik özellikler

Sayfa Adedi : 76

Danışman : Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

STRENGTHENING OF CARBON FIBER REINFORCEMENT POLYMER
COMPOSITE WITH LINEN YARN

(M. Sc. Thesis)

Canan YERALTI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

Jun 2021

ABSTRACT

Composite materials are recently preferred due to their properties that can be developed in many engineering applications, especially in the aerospace, space and automobile industries. Polymer-based composite materials are very important in the industries due to their many advantages such as high strength, light weight, corrosion and fatigue resistance. In this study, the woven carbon fiber (prepreg) reinforced epoxy resin-based composite material was reinforced with natural fiber linen yarn to form a supporting. In the study, only two layers of prepreg, placing woven linen between two layers of prepreg and with epoxy added between the woven linen reinforced prepreg were produced. Tensile and three point bending tests were applied to samples produced in three different combinations. The study revealed that the bending performance of the composite material increased by 302,4 % the nature-friendly, low-cost and low-density linen yarn as a reinforcement element. With the addition of epoxy on the prepreg during production, an increase was observed in the tensile strength of the composite material, while a decrease in bending performance was observed as a result of decreased ductility and increased brittleness. As a result of the study, it was concluded that linen yarn can be applied as a reinforcement element in composite materials because of increasing the performance of the material.

Science Code : 91417

Key Words : Carbon fiber, Polymer based composite, Linen yarn, Mechanical properties

Page Number : 76

Supervisor : Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca bana güvenen ve inanan, fikirlerimde desteğini ve çalışmamda özverili yardımlarını esirgemeyen, eğitimimde yol gösterici olan ve yönlendiren kişiliği ile örnek aldığım ve alacağım saygıdeğer bilim insanı, değerli Danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ'a saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim ve çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan, sevgisini ve desteğini hissettiren ve esirgemeyen değerli meslektaşım ve sevgili eşim Berk YERALTI'ya sevgi ve teşekkürlerimi iletirim.

Bugüne kadar maddi-manevi her desteği bana sağlayan, çıktığım her yolda yanımda olan ve beni yetiştiren, emek veren başta babam ve annem olmak üzere canım aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca bana kattığı değer ve verdiği destek için Araştırma Görevlisi Dr. Ömer BAYRAKTAR'a teşekkür ederim.

Eğitime verdiği değer ile tüm olanaklarını çalışmalarım boyunca tarafıma sunan, çalışmalarımda emeği geçen ve ferdi olduğum için gurur duyduğum TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. ailesine ve saygı değer yöneticilerime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	7
3.1. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajlar	7
3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	12
3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	15
3.3.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre.....	15
3.3.2. Yapı bileşenlerinin şekline göre.....	18
3.4. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Bileşenler	21
3.4.1. Matris malzemeleri	22
3.4.2. Fiber malzemeleri	23
3.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	28
3.5.1. Açık kalıplama yöntemleri	29
3.5.2. Kapalı kalıplama yöntemleri	31

	Sayfa
4. MATERYAL METOT	35
4.1. Kullanılan Malzemeler	36
4.2. Kompozit Plaka Üretimleri	39
4.3. Deney Numunelerin Hazırlanışı	44
4.4. Çekme Deneyi	44
4.5. Eğilme Deneyi	45
4.6. Ağırlık Analizi	46
4.7. Porozite Oranları	47
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	51
5.1. Çekme Deneyi	51
5.2. Eğilme Deneyi	56
5.3. Ağırlık Analizi	61
5.4. Maliyet Analizi	62
5.5. Porozite Oranları	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	73
EK-1. Otoklav reçetesi	74
EK-2. Otoklav aşamaları	75
EK-3. Otoklav grafiği	75
ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Kompozit malzemelerin kronolojik sıralaması.....	1
Çizelge 3.1. Belli başlı termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları.....	23
Çizelge 3.2. Belli başlı fiberlerin karşılaştırılması.....	26
Çizelge 3.3. Tek yönlü prepreg ve örgü prepreg karşılaştırması.....	27
Çizelge 5.1. Çekme deneyi sonuç tablosu.....	51
Çizelge 5.2. Eğilme deneyi sonuç tablosu	57
Çizelge 5.3. Ağırlık ölçüm sonuç tablosu	61
Çizelge 5.4. Maliyet analiz tablosu	62
Çizelge 5.5. Porozite oranları tablosu	63
Çizelge 5.6. Sonuç tablosu.....	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Düz kumaş yapısı görünümü	4
Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin genel tanımı.....	7
Şekil 3.2. Çeşitli materyallerin yoğunluk ve kopma dayanım değerleri.....	8
Şekil 3.3. Kompozit malzemenin kullanıldığı yolcu uçağı.....	12
Şekil 3.4. Kompozit malzemedan üretilen bir yolcu feribotu.....	13
Şekil 3.5. Kompozit malzemedan üretilen otomobil ön paneli.....	14
Şekil 3.6. Kompozit malzeme çeşitleri	18
Şekil 3.7. Farklı açılara sahip çok katmanlı kompozit malzeme	19
Şekil 3.8. Sandiviç yapıllı kompozit	20
Şekil 3.9. Kompozit malzemelerin ana bileşenleri	22
Şekil 3.10. Kompozit malzeme takviye tipleri.....	24
Şekil 3.11. Farklı fiber açllarına sahip plakalar	24
Şekil 3.12. Örgülü fiberin yakın görüntüsü	25
Şekil 3.13. Prepreg görünümü	26
Şekil 3.14. Prepreg çeşitleri	27
Şekil 3.15. Kompozit malzeme üretim yöntemlerinin kullanım oranları	28
Şekil 3.16. Elle yatırma üretim süreçleri	29
Şekil 3.17. Elle yatırma yöntemi.....	30
Şekil 3.18. Püskürtme yöntemi	31
Şekil 3.19. Profil çekme yöntemi.....	32
Şekil 3.20. Reçine transfer yöntemi (RTM) işlem basamakları.....	32
Şekil 3.21. Reçine transfer yöntemi (RTM).....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 3.22. Vakum torbalama yöntemi	34
Şekil 3.23. Otoklav yöntemi	34
Şekil 5.1. Numune-1 çekme test grafiği.....	52
Şekil 5.2. Numune-2 çekme test grafiği.....	52
Şekil 5.3. Numune-3 çekme test grafiği.....	53
Şekil 5.4. Numune-2 ve Numune-3 çekme test grafiği-1	53
Şekil 5.5. Numune-2 ve Numune-3 çekme test grafiği-2	54
Şekil 5.6. Deney numuneleri ortalama çekme test sonuç grafiği.....	54
Şekil 5.7. Numune-1 ve Numune-2 eğilme test grafiği	57
Şekil 5.8. Numune-3 eğilme test grafiği	58
Şekil 5.9. Numune-1,2,3 eğilme test grafiği-1	58
Şekil 5.10. Numune-1,2,3 eğilme test grafiği-2.....	59
Şekil 5.11. Deney numuneleri ortalama eğilme test sonuç grafiği	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Prepreg.....	36
Resim 4.2. Reçine ve sertleştirici.....	37
Resim 4.3. Kasnak görünümü	38
Resim 4.4. Örgülü kasnak	38
Resim 4.5. Keten örgü yerleştirilmiş prepreg	39
Resim 4.6. Numune-2 hazırlık görünümü.....	40
Resim 4.7. Üzerindeki keten örgüye epoksi ilave edilmiş prepreg görünümü	40
Resim 4.8. Numune-3 ve Numune-2 hazırlık görünümü	41
Resim 4.9. Üretilen parçaların görünümü	41
Resim 4.10. Vakumlamaya hazırlık görünümü	42
Resim 4.11. Otoklav hazırlık görünümü	42
Resim 4.12. Numune-1 görünümü.....	43
Resim 4.13. Numune-2 ve Numune-3 görünümü	44
Resim 4.14. Çekme deneyinin yapılışı	45
Resim 4.15. Eğilme deneyinin yapılışı.....	46
Resim 4.16. Ağırlık ölçümü.....	46
Resim 4.17. Numune-1 mikroskop görünümü.....	47
Resim 4.18. Numune-2 mikroskop görünümü.....	47
Resim 4.19. Numune-3 mikroskop görünümü.....	48
Resim 4.20. Numune-1 kesit görünümü.....	48
Resim 4.21. Numune-2 kesit görünümü.....	48
Resim 4.22. Numune-3 kesit görünümü.....	48
Resim 4.23. Numune-1 katı model görünümü.....	49

Resim	Sayfa
Resim 4.24. Numune-2 katı model görünümü.....	49
Resim 4.25. Numune-3 katı model görünümü.....	50
Resim 5.1. Çekme deneyi sonrasına örnekler	56
Resim 5.2. Eğilme deneyi sonrasına örnekler	60
Resim 5.3. Numune-3 Numune-2 Numune-1 kalınlık görünümü	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM

Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri
Topluluğu

PAI

Poliamidimide

PAN

Poliakrilonitril

PEEK

Polietereter keton

PEI

Polieterimid

PES

Polietersülfon

PLA

Polilaktikasit

PP

Polipropilen

PPS

Polfenilensülfid

RTM

Reçine transfer methodu

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde farklı endüstrilerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek yeni malzeme arayışları artmıştır. Artan arayışlar sonrası gerek ekonomik gerekse teknik olarak tercih edilen kompozit malzemelerin, uçak ve otomobil parçalarında, uzay sektöründe, müzik ve spor malzemelerinde ve mühendislik uygulamalarında kullanım alanları oldukça yaygındır.

İnsan yapımı kompozit malzemelerin yanı sıra doğada da birçok kompozit malzemeyi görmek mümkündür. Lignin adı verilen sert yapı ve selüloz hücreleri arasında biriken yapılar ile lifler bir arada tutularak, polimer yapılı bir kompozit malzeme olan ahşabı oluşturmaktadır. Hidroksiapatit adın verilen kalsiyum tuzu ile kollajen adı verilen esnek ve yumuşak proteinin bir araya gelmesi ile oluşan vücudumuzdaki kemikler de kompozit materyallere örnektir (Polser, 2020).

Kompozit malzemelerin tarihçesi oldukça eskilere dayanmaktadır. İnsanoğlu da binlerce yıldır ihtiyaçlarını karşılayabilmek için farklı özellikteki malzemeleri bir araya getirerek kompozit malzemeler üretmiştir. Örneğin çamur ile samanı bir araya getirerek oluşturdukları kompozit kerpiç ile evler yapmışlardır. Literatürde bunun gibi birçok örnek bulmak mümkündür. Çizelge 1.1’de kompozit malzemeler için oluşturulmuş bir kronolojik sıralama verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kompozit malzemelerin kronolojik sıralaması (Bayraktar, 2016).

MÖ 500	Yapı / İnşaat	Çamur ve samandan oluşan tuğlalar
	Savunma / Silah	Katmanlı yay
	Ulaşım	Katmanlı savaş arabası tekeri
MS 500-1000	Yapı / İnşaat	Kil/çamur ve kamış evler
	Savunma / Silah	İngiliz uzun yay
	Ulaşım	Katmanlı at arabası tekeri
MS 1900+	Yapı / İnşaat	Çelik betonarme
	Savunma / Silah	Askeri uçak radomu
	Ulaşım	Polimer esaslı fiber takviyeli uçak, otomobil
	Spor	Tenis raketi, kar kayağı

Kompozit malzemeler tüketiciye aranan özellikleri sağladıkları için yaygın olarak tercih edilmiş ve günümüzde de artan malzeme arayışına, malzemedен istenen yüksek performans ve gelişen teknolojisi ile birçok sektörde çözüm sunmuştur.

Kompozit malzemenin geleneksel malzemelere oranla sağladığı avantajlar fazladır. Ağırlığına oranla yüksek mukavemet sağlayan kompozit malzemelerin aşınma, korozyon dayanımları oldukça yüksektir. Isıl ve elektriksel iletkenliklerinin yanı sıra üstün termal özelliklere sahip, hafif kompozit malzemeler de elde edilmektedir.

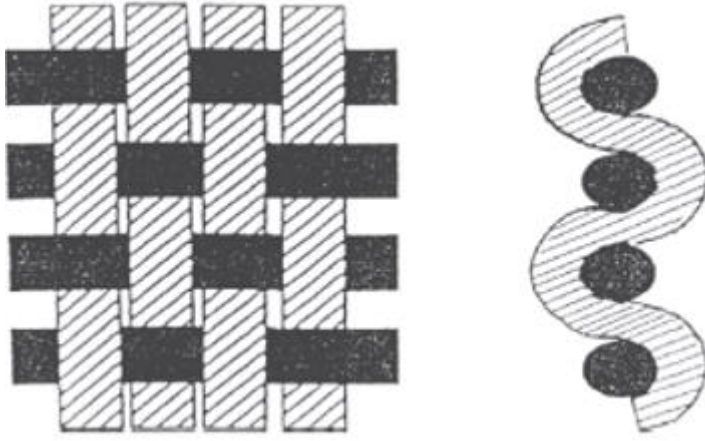
Bu çalışmada örülmüş karbon elyaf (prepreg) takviyeli epoksi reçine esaslı kompozit malzemenin doğal elyaf olan keten ipliği ile güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Karbon elyaf takviyeli polimer esaslı kompozit, bilenen ve üzerinde çok çalışılmış bir konudur. Ancak bu türdeki kompozit malzemelerin çoğunluğunun çekme ve basma dayanımları yüksek ancak eğilme ve bükme/burkulma dayanımları nispeten düşüktür ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Kompozit malzemenin eğilme ve bükme mukavemetinin artırılması için kalınlık artırılması veya bal peteği ile desteklenmesi gibi metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlarla eğilme ve bükme mukavemeti artırıldığı bilinmektedir. Ancak bu yöntemler sonucunda kesit artışı ciddi oranda artmakla birlikte ağırlık ve maliyetler de iyileşmektedir. Bu çalışmada kompozit malzemenin eğilme dayanımını arttırmak için keten ipliği omurga şeklinde takviye edilmiştir. Deneysel çalışmada, yalnız iki kat prepreg, iki kat prepreg arasına keten ipliği ve ek olarak reçinenin ilave edilmesi ile üç farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Test standartlarına uygun boyutlarda elde edilen numunelere eğilme ve çekme testi uygulanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Örgülü karbon fiber takviyeli polimer esaslı kompozit malzemeler kullanım alanlarının genişliği nedeni ile birçok araştırmaya konu olmuş ve olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada da ikincil takviye elemanı olarak eklenen keten ipliğinin kompozit malzemelerde destek elemanı olarak tercih edilebileceğini gösteren çalışmalar da mevcuttur. Bahsi geçen ve literatürde yer edinmiş çeşitli çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Literatürde birçok araştırmacı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek için çalışmalar yapmıştır. Fiberlerin gerdirilmesi ile elyaflar doğrusallaştırılarak kompozit malzemenin en yüksek çekme mukavemeti ve eğilme dayanımı artmaktadır (Bayraktar, GÜltaş, 2017). Nano karbon parçacıkların kompozit malzemeye eklenmesiyle (Hacimce %2), malzemenin mekanik özelliklerini arttırılabildiği de gözlenmektedir (Zhou, 2008). Chisholm vd (2005) çalışmalarında hacimce %1,5 SiC partiküllerini Karbon/Epoksi kompozit malzemeye ekleyerek eğilme dayanımında %39.2 artış gözlemlemişlerdir. Biyo-kompozitlerin endüstriyel uygulama örneklerini daha iyi anlamak amacı ile yapılan çalışmada keten takviye edilen numunelerde hacim oranının %20 ile %30 arasında olduğu durumlarda en yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir (Durante, 2017). Literatür taramalarında kompozit malzemelerde selüloz esaslı katkı ve takviye elemanlarının tercih edildiği görülmektedir (Taşdemir, 2008). Keten (kendir) ülkemizde yaklaşık 2 milyon ton üretilen bir malzeme olup ucuz, doğal ve geri dönüşümü olan bir selüloz esaslı bir tarımsal üründür (Kurtuluş, 2010).

Misnon vd (2014), yaptıkları çalışmada iki farklı örgülü keten kumaş parçalarının arasındaki farkları ve benzerlikleri referans alarak karakteristik özelliklerini detaylı olarak incelemişlerdir. Her ikisi de aynı mekanik özelliklere sahip Örgülü %100 keten ipliklerinden üretilen kumaşlar tedarik edilmiş ve temin edilen kumaşların kesit görüntüleri Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Düz kumaş yapısı görünümü (Misnon, 2014)

Ürün özelliklerini tanımlamak amacı ile; yoğunluğu için ASTM D3775, ağırlığı için ASTM D3776, kalınlığı için ASTM D1777, iplik boyut ve kıvrımları için sırası ile ASTM D1907 ve ASTM D3883 standartları uygulanmıştır. Kenevir kumaşların gerilme özellikleri gerçekleştirilen çekme testi sonrası karakterize edilmiştir. Test sonrası her iki kumaşa da hata bulunamamış, bu da iyi bir tezgah ve kaliteli bir şekilde üretildiklerini göstermektedir. Kumaş ağırlıkları ölçüldüğünde ise farklı yönde yönlendirilen ipliklerin toplam ağırlığı ve iplik kıvrımları gibi faktörler nedeni ile A kumaşının B kumaşından daha ağır olduğu gözlemlenmiştir. Buharlaştırma sonrası 25–120 °C sıcaklıkta yaşanan ilk kütle kayıplarının sonucunda A kumaşındaki kayıp B kumaşından daha fazla olmuştur. Yoğunlukta ise Kumaş A'nın yoğunluğu Kumaş B'nin yoğunluğundan çok az bir fark ile daha fazla çıkmıştır.

Yapılan bu çalışmalar sonrasında gerilme mukavemetleri ve gerilme modüllerinin arasındaki farkların önemsiz olduğu sayısal veriler ile ifade edilmiş, örgülü keten kumaşlar kompozit malzemelerin üretimi için uygun olduğu görülmüştür.

Landro ve Janszen (2014), ilgili çalışmadaki amacı doğrultusunda, doğal bazlı olan termoset biyoepoksi reçinenin ve keten takviyeli tabakaların performansı ve karakteristiğini incelemiştir. Deney numunelerini reçine transfer metodu (RTM) ile üretmişler ve biyokompozitlerin mekanik özelliklerini incelemek için statik, dinamik ve titreşim sönümlenme testleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonrası lamine kompozitlerin reçine transfer methodu ile vakumlanarak kolaylık ile elde edilebileceği vurgulanmıştır. Titreşim testlerinden elde edilen sönümlenme özellikleri ve düşük yoğunluklarına göre elde edilen mekanik özellikleri, kompozit malzeme olarak kullanılabilirliklerini göstermiştir. Ancak

yüksek su emme ve doğal olmalarının etkisi olan yanma oranlarının yüksek olması önemli dezavantajları olduğunu belirtmişlerdir.

Durante vd (2017), gelişim gösteren biyo-kompozitlerin endüstriyel uygulama örneklerini daha iyi anlamak, bükülme ve çarpma özelliklerinin sınırlarını belirlemek, Arrhenius Teorisi ile farklı sıcaklık değerlerindeki sürünme davranımlarını gözlemlemek istemişlerdir. Bunun için takviyesizler ile kıyaslama yaparak, farklı fiber hacim oranları (20, 30 and 40%) ile basınçla kalıplama yöntemi ile üretimi yapılan, termoplastik biyo-polimer tabanlı polilaktik asit (PLA) takviye edilmiş dokuma keten kumaş takviyeli kompozitleri geniş çaplı araştırmışlardır. Her oran için 5 numune üç noktada eğilme testine tabi tutulmuştur. Sürünme ve dinamik-mekanik analizlerinden elde edilen sürünme eğrileri teorik çalışmalar sonrası elde edilen sürünme eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Takviyeli ile takviyesiz polimerler arasındaki darbe dayanım farkı kayda değer bir fark ile gözlemlenmiştir. Hacim oranı %20 ile 30'a eşit olduğu durumda en yüksek eğilme dayanımı ile karşılaşılmıştır. Bu oran %40 olduğunda ise deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar arasındaki fark az oranda olmuştur. Tüm bu sonuçlar sonrası sürünme davranışları için %30 takviye oranı en iyi oran olarak belirtilmiştir.

Madsen vd (2007), keten ipliklerinin detaylı olarak karakteristik özelliklerinin anlaşılabilmesi için bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu özellikler keten iplerinin kompozitler için uygun bir takviye elemanı olabileceğini göstermektedir. Bu çalışma için ayrı zamanlarda satın alınan aynı kalitedeki iki ayrı keten lifi kullanılmıştır ve çekme testi uygulanarak mekanik özellikleri elde edilmiştir. Bu çalışmalardan çıkan sonuçlar; keten lifi yoğunluk aralığı 1.58–1.60 g/cm³ olarak ölçülmüşken, kopma gerilmesi değeri 580-660 MPa olarak ölçülmüştür. Liflerden en verimli şekilde yararlanabilmek için hizalamaları oldukça önemlidir. Keten iplikleri %90 oranında selüloz içerirken, en verimli şartlarda lifler eşit miktarda yaklaşık 11° açı ile bükülerek oluşturulmuştur, nem emme kapasiteleri düşük olup, mekanik özellikleri iyidir. Nem tutma kapasitesi ipliklerin çekme mukavemetler üzerinde oldukça etkili bir parametredir.

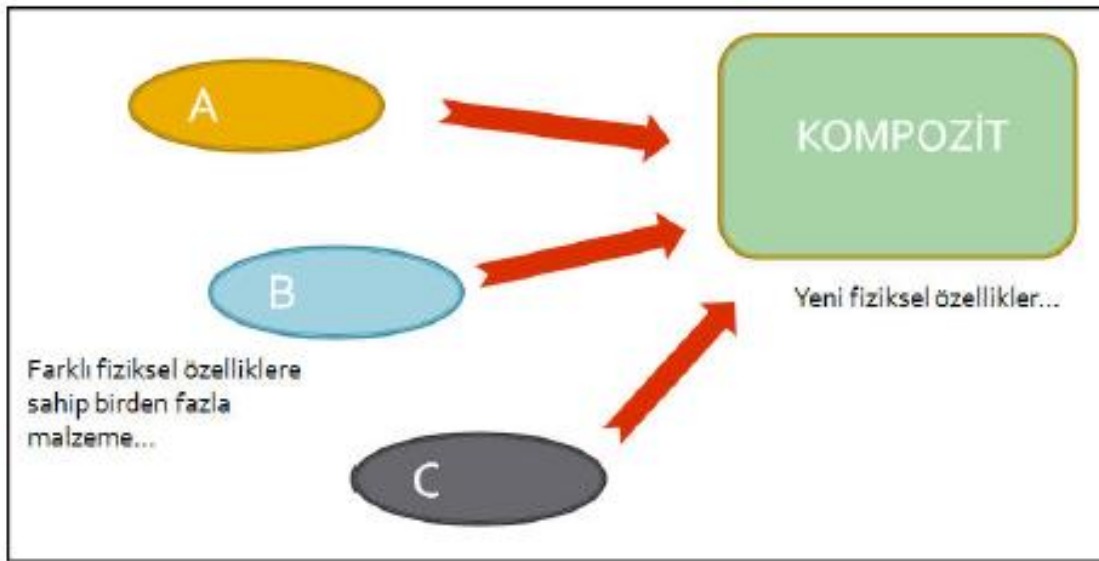
Yuanjian ve Isaac (2007), örgüsüz keten fiber takviyeli polyester malzemelerin çekme ve yoruma davranışlarını incelemişlerdir. Karakteristik özelliklerinin karşılaştırılabilmesi için $\pm 45^\circ$ cam fiber takviyeli polyester malzemelere de aynı testler uygulanmıştır. Benzer lif ağırlığında keten ve cam takviyeli malzemeler benzer statik gerilme ve yorulma ömürleri

sergilemişlerdir. Deney sonuçları keten takviyeli malzemenin darbeye karşı daha zayıf bir dayanım gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Ek olarak keten esaslı malzeme, cam elyaf bazlı kompozitlerde olduğu gibi gözle görünür bir hasar belirtisi olmadan daha kırılgan bir özellik göstermektedir.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzemede toplayarak veya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemeler geleneksel diğer malzemelere göre daha yüksek özellikler göstermektedir (Güldaş, 2018). Kompozit malzeme olarak üretilecek olan parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve spesifik ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gereklidir (Vatangül, 2008). Kompozit malzemeler çözen ve çözünen malzemelerden oluşmaz, bileşenleri arasında atom alışverişi bulunmaz (Zor, 2018). Kompozit malzemeler kendisini oluşturan malzemelerden üstün özelliklere sahip, tarihi antik zamanlara dayanan, gününün ihtiyaçlarına göre şekillenerek modern zamanda da yaygın olarak görülen malzemelerdir. Şekil 3.1’de de görüleceği gibi oluşturulan kompozit malzeme kendisini oluşturan malzemelerden farklı mekanik, kimyasal, termal ve fiziksel özelliklere sahiptir.

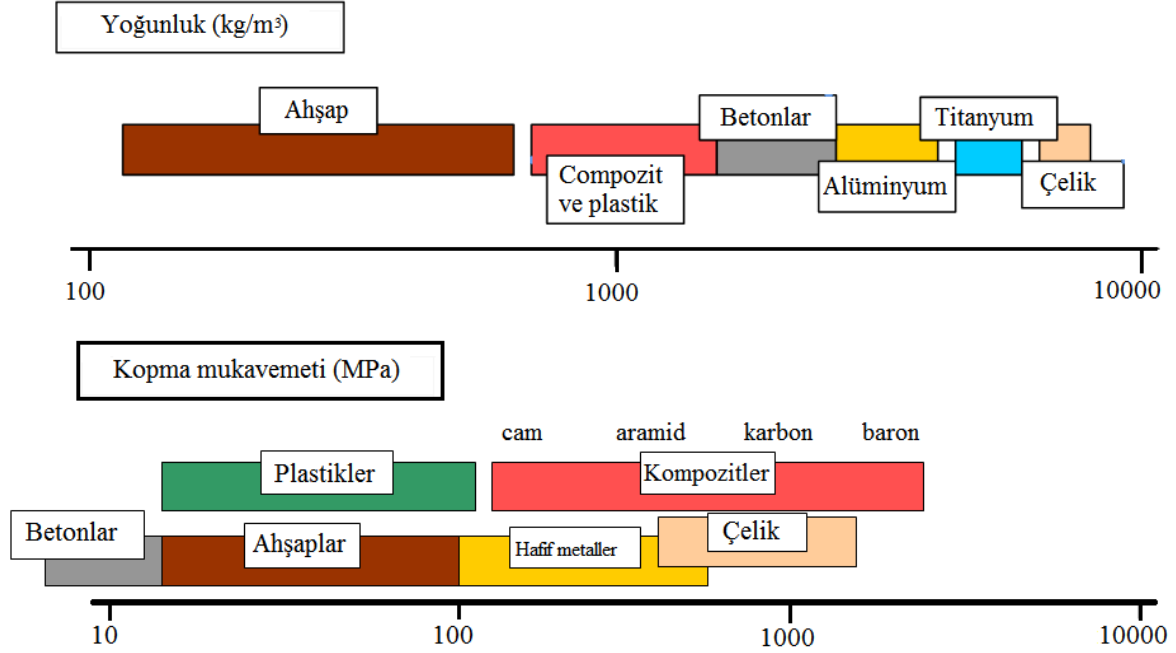


Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin genel tanımı (Dokur, 2009)

3.1. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin, birçok malzemeye nazaran tercih edilmelerinin nedeni sağladığı avantajlardır. Bununla Şekil 3.2’de sıralanan avantajlar bu malzemelere olan talebin

nedenlerini göstermektedir. Bahsedilecek olan dezavantajların çözümü de bulunduğu takdirde bu malzemeye talep daha da çok artacaktır.



Şekil 3.2. Çeşitli materyallerin yoğunluk ve kopma dayanım değerleri (Bayraktar, 2016)

Yüksek mukavemet

Kompozit malzemelerin en önemli avantajlarından biri yüksek mukavemet özelliği göstermeleridir. Geleneksel malzemelere göre özgül mukavemetleri daha yüksektir. Birçok metalik malzemeye göre eğilme ve çekme mukavemetleri oldukça yüksektir. Kompozit malzemelerde ihtiyaç duyulan bölgesel ve istenilen yöndeki mukavemet değerleri kaplamalar ile de sağlanabilmektedir. Bu da aynı mukavemet değerlerindeki başka malzemelere göre hafiflik ve düşük maliyet sağlamaktadır (Vatangül, 2008).

Özgül rijitlik

Kompozit malzemeler kullanıcıya sağladıkları, malzeme seçimlerindeki diğer önemli kriter olan, rijitlik/yoğunluk olarak tanımlanan özgül rijitlik değerleri nedeni ile caziptir.

Şekillendirilebilme ve kalıplama kolaylığı

Geleneksel metalik malzemelerde alışlagelmiş olan tek parçanın kalıplanması için birçok malzemenin birleşmesi gerekliliğinin, montaj edilme zorunluluğunun aksine kompozit malzemeler ile büyük ve karmaşık parçalar bir parça halinde, tek bir işlem ile malzeme ve işçilikten kazanç sağlanarak kolayca şekillendirilebilir (Işık, 2008). Bu sayede parça sayısının azalması ile üretim süresi kısalmaktadır. Oysaki geleneksel malzemelerde bu durum zordur (Zor, 2018).

İşlenebilirlik ve tamir edilebilirlik

Kompozit malzemeler üzerinde delme, kesme ve zımparalama işlemleri gerçekleştirilebilir. İşlemler sırasında araçların kesme uçları oluşturulan kompozit malzemenin yapısına ve mekanik özelliklerine uygun olarak seçilmelidir. Kompozit parçalar hasar görmeleri durumunda tamir edilebilirler. (Zor, 2018).

Hafiflik

Kompozit malzemeler plastik ve metallere oranla çok daha hafif ve birim ağırlıklarına göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Çelik bir profil kesitin ağırlığı muadili olan polimer esaslı kompozit profilin ağırlığının yaklaşık 4 katıdır (Zor, 2018).

Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık

Çevre koşullarına karşı antikorozyon özellikleri diğer malzemeler göre oldukça üstündür (Zor, 2018). Kompozit malzemeler özelliklerine bağlı olarak çoğu kimyasal malzemedan, havadan ve korozyondan etkilenmezler. Bu özellikleri nedeni deniz araçları ve tekne parçalarında, kimyasallara temas eden parçalarda, kimyevi madde depolama tanklarında güvenle tercih edilebilir (Vatangül, 2008). Kompozit malzemeler yüksek aşınma direnci göstermektedir.

Yüksek dielektrik direnç

Yüksek elektrik yalıtım özelliğine sahip kompozitler, elektrik-elektronik sektöründe, trafo, kablolarda, plaka ve birçok makine elemanında kullanılmaktadır (Zor, 2018). Uygun

malzemelerin seçilmesi halinde üstün elektriksel özelliklere sahip parçalar imal edilebilir (Vatangül, 2008).

Kalıcı renklendirme

Kalıplama esnasında reçineye ilave edilen renk pigmentleri sayesinde masraf ve işçilik gerektirmeden çeşitli renklerde kompozit parçalar elde edilebilir. Bu estetik özelliği sayesinde otomobil, havacılık ve deniz araçları parçalarında, bina cephe ve panolarında, banyo ve ev eşyalarında tercih edilirler (Işık, 2008).

Şeffaflık

Cam kadar ışık geçirgenlikleri yüksek olabilmektedir. Bu nedenle seralarda, güneş kolektörü imalatlarında yer almaktadır (Zor, 2018)

Tasarım esnekliği

Kompozit malzemeler kişiye tasarım esnekliği sağlamaktadır. Her türlü karmaşık, basit, geniş, büyük, küçük, fonksiyonel, dekoratif, estetik parçalar tasarlanabilir, kompozit malzemelerden üretilebilir (Işık, 2008).

Çeşitlilik

Kompozit malzemelerin diğer bir önemli özelliği ise sağladığı ürün yelpazesidir. Farklı kombinasyonlar ile farklı mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler imal edilebilir (Zor, 2018). Üretilebilir malzeme yelpazesinin geniş olması kompozit malzemelerin kullanım alanlarının yaygın olmasını, mevcut talebin artmasını ve birçok endüstride yer almasını sağlamaktadır.

Isıya dayanıklılık

Kompozitlerin yanmazlık ve ısıya dayanıklılık özellikleri içeriğindeki poliestere bağlıdır (Zor, 2018). Özel katkı maddeleri ile kompozit malzemelerin ısıya dayanımlarını arttırmak mümkündür. Isı iletim katsayıları düşük olan malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya

dayanım özellikleri sayesinde üretilen parçalar yüksek ısı altında çalışabilmektedir (Vatangül, 2008). Bu malzemeler çeşitli sektörlerde izolasyon malzemeleri olarak da tercih edilir.

Titreşim sönümleme

Kompozit malzemelere kazandırılan süneklik özellikleri sayesinde, şok yutabilme ve doğal titreşim sönümleme özellikleri de üretilen parçaya sağlanmış olur. Bu şekilde çatlak yürüme olayı da engellenmiş olur (Vatangül, 2008).

Yüzeylere uygulanabilme

Kompozit malzemeler çeşitli yüzeylere rahatlıklar uygulanabilirler. Kompozitlerin ana bileşenlerinden olan polyester, betonun gözenekli yüzeylerine sızarak iyi bir yapışma sağlamaktadır. Kompozit malzemeler ahşap yüzeylerde koruyucu ve kaplama olarak yer almaktadır. Demir çelik gibi çeşitli metallerin yüzeyleri pas ve yağ kalıntılarından arındırıldıktan sonra kompozit malzemeler ile kaplanabilir (Zor, 2018).

Kompozit malzemelerin dezavantajları

Tüketiciye sunduğu birçok avantajlardan dolayı kullanımı oldukça yaygın olan ve birçok sektörde çeşitli alanlarda tercih edilen kompozit malzemelerin dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Hammaddesini temin etmek daha zor ve pahalıdır.
- İmal edilen parçanın kalitesi üretim yöntemine göre değişmektedir.
- Hammaddelerin ve üretilen parçaların raf ömürleri önemlidir.
- Malzemenin özellikleri ile değişiklik gösteren saklanma koşulları vardır.
- Bazı malzemelerin sıcak kurutma, fırınlanma gibi özel prosesleri bulunmaktadır.
- Nem ve hava zerreciklerinden muhafaza edilmelidir.
- Farklı doğrultularda farklı mekanik özelliklere sahiptirler.
- Üretimleri genellikle emeği yoğun ve karmaşık süreçler içerir.
- Genellikle geri dönüşümleri mümkün olmamaktadır.

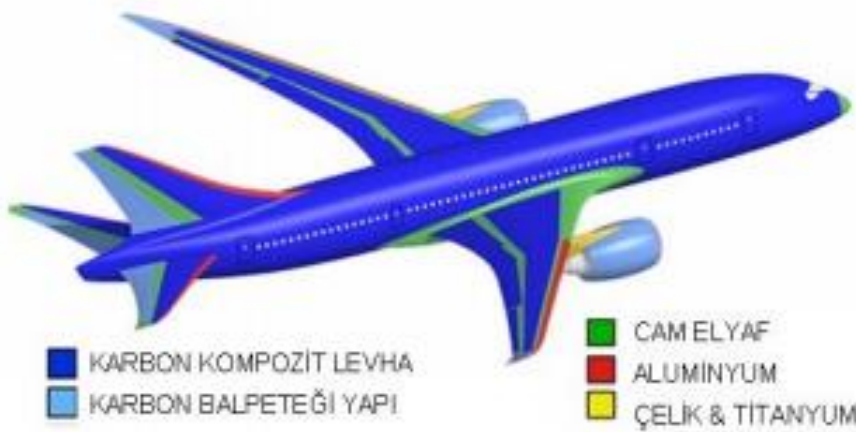
3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler çeşitli sektörlerde yukarıda anlatılan üstün özelliklerinden dolayı çok geniş bir alanına sahiptir. Bu alanlar şu şekilde sınıflandırılabilirler:

Havacılık/uzay ve savunma sanayi

Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık sanayinde çok geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerinin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekân değil yapısal parçalarını da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesine neden olmaktadır.

Kompozit malzemeleri havacılık sektöründe uçak ve helikopterler ait ve iç ve dış alanlarda yer alan kanat, gövde, burun, anten, panel gibi kritik parçalarda dahil sıkça görmek mümkündür. Şekil 3.3'te verilen Boeing'e ait Dreamliner uçağı kompozit malzemenin yüksek oranda kullanıldığı ilk uçak olma özelliğini taşımaktadır. Bu oran %50 seviyelerindedir. Savunma sektöründe ise kurşun geçirmez panel, miğfer gibi birçok ürün kompozit malzemelerden imal edilmektedir.



Şekil 3.3. Kompozit malzemenin kullanıldığı yolcu uçağı (Özel, 2007)

Kompozit yapı sistemleri, betonarme binalara göre yapı ağırlığını etkili bir şekilde azalttığı ve yüklere karşı istenilen yapı sünekliğini oluşturmada iyi performans sağladığı için dünyada yüksek yapı uygulamalarının vazgeçilmez taşıyıcı sistemi haline gelmiştir.

Örnek olarak banyo küvetleri, lavabolar, banyo tezgahları, iç ve dış cephe kaplamaları, yağmur suyu taşıma sistemleri (yağmur oluğu, su indirme boruları), yüzme havuzları gibi dekoratif uygulamalar, soğutma kule yapıları, beton kalıpları, sera panelleri, temel kazıkları, giydirme cephelerde, prefabrik binalar, kabinler, çatı ve cephe kaplama levhaları, taşıyıcı profiller, köprü platformu ve ayakları, otoyol korkulukları ve işaret levhaları, borular, dekoratif elemanlar gibileri verilebilir (Ataş, 2016).

Denizcilik sektörü

Kompozit malzemeler denizcilik sektöründe motorlu ve yelkenli teknelerde motor kapaklar gibi yapısal parçalarda, duba iskele gibi dış yapılarda, kano, deniz motosikleti ve sallarda tercih edilmektedir. Kompozit malzemelerin korozyona karşı gösterdiği yüksek direnç ve hafif olması denizcilik sektöründe de yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Şekil 3.4'te İzmir'de kompozit malzemeden üretilen deniz taşıtı verilmiştir.



Şekil 3.4. Kompozit malzemeden üretilen bir yolcu feribotu (Haberler.com, 2014)

Taşımacılık ve otomotiv

Otomobil firması müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek için çevresel şartların baskısı altında daha hafif otomobiller üretmektedirler. Hafif otomobiller daha çabuk hızlanabilen, daha çabuk durabilen, ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az yakıta ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir.

Kamyon kasaları, tampon ve çamurluklar, kaporta mekanik parçaları, şaftlar, taşıt kapıları, motosiklet aksam ve parçaları, kabinler, fren balataları, debriyaj balataları, kamyon yan panelleri, pedallar, cam silecekleri, dikiz aynaları vb parçalar kompozit malzemenin otomotiv ve taşımacılık sektörlerindeki uygulamalarından bazılarıdır. Şekil 3.5’te kompozit malzemenin taşımacılık ve otomotiv sektöründe örnek olarak üretilmiş otomobil ön paneli verilmiştir.



Şekil 3.5. Kompozit malzemeden üretilen otomobil ön paneli (Akpınar, 2016).

2003 yılında Almanya’da yaşanan ekonomik kriz ve bundan etkilenen otomotiv sektöründeki durgunluk nedeni ile kompozit ürünlerin Avrupa’daki pazarları da olumsuz etkilemiştir. Ancak termoplastik malzemelerin uygulamalarının, 2003 yılı son çeyreği ile 2004 yılının ilk çeyreği arasında artması ile otomotiv sektörü de hareketlenmiştir. İtalya ve Fransa da ise otomotiv, havacılık sektörlerindeki uygulamaları ile Avrupa’da Almanya sonrası en büyük kompozit endüstrisini sahiptir (Gündoğan, 2009).

Şehircilik

Çok sayıda standart ürünün imal edilebilmesi, sağladığı montaj kolaylığı, düşük maliyet, yüksek izolasyon, hafiflik ve yüksek mukavemet özellikleri ile toplu konut yapım ve çevre düzenleme alanlarında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Örnek olarak izolatörler, antenler, baskılı devre panelleri, devre kesiciler, sigorta – panel kutuları, aydınlatma gövdeleri, yalıtkan platformlar, elektrik ve aydınlatma direkleri ve direk bazaları, devre kesici kutular, rüzgarjeneratörleri, kablo taşıyıcılar, doğal gaz kutuları, sokak

lamba gövdeleri, sayaç panoları, merdivenler, balast, kofralar, projektörler vb. verilebilir (Ataş,2016).

Diğer kullanım alanları

Kompozit malzemeler keman, gitar ve çello gibi müzik aletlerinin yapımında, en sık karşılaşılan problemlerden biri olan, tellerin gerilmelerinden dolayı meydana gelen deformasyonları önlemek için tercih edilirler.

Spor araç ve gereçlerinde de hafifliğin ön planda olması nedeni ile hareket kabiliyetinin yüksek olması istenen kask, bisiklet, egzersiz aletleri gibi günlük ürünlerde de kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Aynı zamanda dayanıklılığında kritik olduğu kayak, golf sopası, bowling aletleri, tenis raketleri ve lunapark aletleri de spor ve eğlence sektöründe kompozit malzemelerin tercih alanlarına örnek olarak verilebilir. Kullanım alanlarını çeşitlendirmek mümkündür.

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri, yapılarını oluşturan malzemeler ve bileşenlerinin şekillerine göre iki başlık altında sınıflandırmak mümkündür. Birincil faz, matris malzemelerinin türüne göre (plastik kompozitler, metalik kompozitler, seramik kompozitler vb.) yapılan sınıflandırmanın yanı sıra yapı bileşenlerinin türüne göre (partikül, lamel, fiber esaslı kompozitler, dolgulu tabakalı kompozitler) sınıflandırabilir (Vatangül, 2008).

3.3.1. Yapılarını oluşturan malzemelere göre

Plastik matris ve plastik takviyeli kompozitler

Matris olarak ilave edilen plastik darbe emici özellik sağlar, esneklik verirken plastik olarak ilave edilen takviye elemanı ise yük taşıyıcı özelliğe sahiptir. Polimer esaslı kompozitler genel olarak düşük sıcaklık gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. (Günel, 2007).

Kompozit malzemelerde de sıkça tercih edilen plastikler iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

Termoplastikler

Termoplastik malzemelere ısı verilerek yumuşamaları sağlanır ve şekil verilir, soğutulduklarında ise sertleşirler. Bu işlemler sırasında plastik malzemenin mikro yapısında herhangi bir değişim gözlemlenmemektedir. Uygun çalışma sıcaklıkları 5 °C ile 50 °C arasında değişmektedir. Bu gruba giren plastikler;

- Polietilen
- Karbonflörür
- Akrilikler
- Selülozikler
- Viniller

Termosetler

Termoset plastikler kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı verildikten sonra mikro yapısında değişimler gözlenen bu tür plastiklerde eski yapıya dönüşümler görülememektedir. Örnek olarak aşağıdaki malzemeler verilebilir;

- Polyesterler
- Epoksiler
- Alkiter
- Aminler (Vatangül, 2008).

Termoset plastikler ile termoplastik malzemeler karşılaştırıldığında, termoset plastiklerin sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir;

- Sağladığı setlik ve rijitlik fazladır.
- Daha düşük viskoziteye sahiptir.
- Kimyasal malzemelere karşı yüksek direnç göstermektedir.
- Yüksek mekanik özelliklere sahiptir.

Mikro yapıda meydana gelen değişiklikler nedeni ile termosetler ve termoplastikler arasındaki farklılıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Termoplastik reçineleri yeniden kullanabilmek mümkündür.
- Termoplastik malzemelerde ortaya çıkan hasarlı bölgeler ısıtılarak onarılabilir.
- Termoplastik malzemelerin raf ömürleri oldukça uzundur.
- Termoplastik malzemeler daha yüksek süneklik ve kırılma tokluk değeri sağlamaktadır.
- Termoset malzemelerin şekillendirilmesi saatler sürerken, termoplastikler uygun kalıplar ile dakikalar içinde şekillendirilebilmektedir (Bayraktar, 2016).

Plastik matris ve metal fiber takviyeli kompozitler

Bakır, alüminyum ve çelik gibi metallerin fiber olması ve polietilen, polipropilen plastiklerin matris olması ile oluşturulan kombinasyonlardır. Fiber malzemenin metal olması nedeni ile yüksek mukavemet sağlamaktadırlar. Metal matrisli kompozit malzemeler birçok endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir.

Plastik matris ve cam fiber takviyeli kompozitler

Plastik matris ve cam fiber kompozisyonundan oluşturulan bu malzemeler uygun reçinelerin seçilmesi durumunda istenilen fiziksel özellikteki ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Yüksek kuvvetlerin iletimi mümkündür ancak camın kırılma dayanımından dolayı darbe direnci düşüktür. Cam elyaf takviyeleri ile en fazla tercih edilen plastik reçine polyesterdir (Vatangül, 2008). Cam fiberlerin sektörlerdeki alanının geniş olmasının diğer bir sebebi ise diğer takviye elemanlarına oranla daha ucuz olmasıdır.

Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemeler yüksek mukavemet isteniminin bulunduğu alanlarda geleneksel ürünlere en iyi alternatiftir. Ancak çıkabildikleri en yüksek çalışma sıcaklığı metal matrislerin erime noktasıdır (Günel, 2007).

Hafif metaller ve alaşımlarının kompozit malzeme içinde matris olarak bulunması üretici için oldukça caziptir. Ancak metal matrisli kompozitlerin üretimleri, her elyaf ile iyi ara yüz

oluşturamadıkları için daha zordur. Hafif metaller en kolay bağı silisyum karbür ile kaplanmış boron elyaf ile oluşturmaktadır. Atmosfere karşı yüksek korozyon dayanımı göstermektedirler. Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn kompozit malzemelerde metal matris olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Eker, 2014).

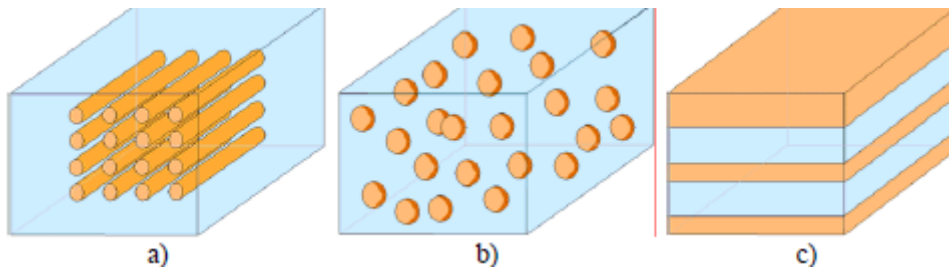
Seramik kompozitler

Seramik malzemeler metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşenlerdir. Kayaların parçalanması sonucu oluşan kil, kaolen gibi maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilmektedirler (Eker, 2014).

Seramik kompozitler yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım sergilemektedirler. Rijitlik özelliklerinin oldukça iyi olmasının yanı sıra gevrek bir yapı göstermektedir ve elektriksel olarak çok iyi yalıtkanlık özelliğine sahiptir (Vatangül, 2008). Basma dayanımları da yüksektir.

3.3.2. Yapı bileşenlerinin şekline göre

Kompozit malzemeler yapı bileşenlerine göre, fiber esaslı, partikül (parçacık) esaslı ve katmanlı olmak üzere Şekil 3.6.'da olduğu gibi üç farklı şekilde sınıflandırılırlar.



Şekil 3.6. Kompozit malzeme çeşitleri: (a) Fiber esaslı kompozit (b) Partikül esaslı kompozit (c) katman esaslı kompozit (Dokur, 2009)

Partikül esaslı kompozitler

Partikül kompozitler, bir veya 2B makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile bir araya gelmesi ile oluşturulan malzeme grubudur. Bu farklı boyuttaki malzemeler ilave edilerek malzemeler üzerinde

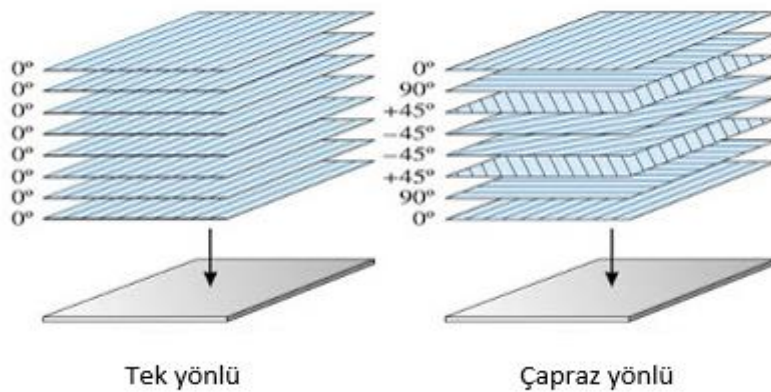
farklı özellikler kazanılmasını sağlamaktadır. Partikül esaslı kompozitlerin maliyeti düşük ve rijitliği de oldukça iyidir. Küçük granül dolgu malzemelerinin takviyesi ile malzemeye mukavemet artışı sağlanmaktadır (Vatangül, 2008).

Partikül esaslı kompozitler mukavemetini parçanın sertliğinden almaktadır. Plastik içerisinde yer alan metal parçalar en yaygın görülen kombinasyondur. Uçak motorlar parçalarının yapımında tercih edilen bir birleşmedir (Tekeli, 2007).

Partiküllü kompozitler parçacıkların matris içerisinde rastgele dağılması ile oluşurlar. Metal olmayan parçacıkların metal olmayan matris içerisinde bulunması (beton, kauçuk gibi), metal parçacıkların metal olmayan matrislerde yer alması (alüminyum takviyeli poliüretan kauçuk gibi), metal parçacıkların metal matrisleri içerisinde dağılması (bakır alaşımları gibi) ile birçok farklı kombinasyon ile oluşturulabilir (Günel, 2007).

Katman esaslı kompozitler

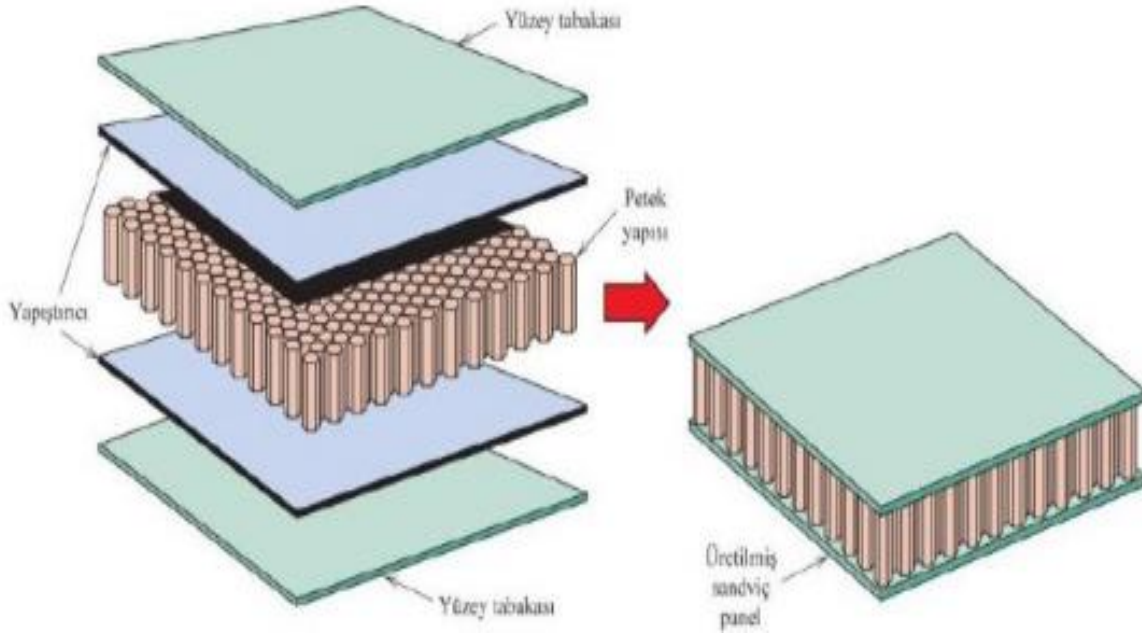
Katman esaslı kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla farklı malzemenin ya da farklı açılarda sahip tek malzemenin üst üste serilerek bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Laminer kompozitler anizotrop levhalar ile oluşturulmaktadır. Endüstriyel ürünlerde yaygın olarak kullanılan 0° , $\pm 45^\circ$ ve 90° açılarda yerleştirilen katman esaslı laminer kompozit malzeme ile tekyönlü yerleştirilen kompozit malzeme örnekleri Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Farklı açılara sahip çok katmanlı kompozit malzeme (Uğur, 2018)

Sandviç paneller ise çekirdek bir yapı ile ayrılmış iki güçlü ve direngen tabakanın birleşmesi ile meydana gelmektedir. Sağladığı yüksek mekanik özellikler nedeniyle endüstride

özellikle havacılık sektöründe sıkça tercih edildiği bal peteğinin kullanıldığı örnek sandviç yapılı kompozit Şekil 3.8’de verilmiştir. Bal peteği sandviç yapılı malzemeler diğer malzemelere oranla daha düşük yoğunluğa sahip olup dayanımı oldukça yüksektir. Sağladığı mukavemete oranla da üretim maliyetleri düşüktür (Bekem, 2011). Sandviç yapıların tercih edilmesinin en önemli nedeni eğilme rijitliğidir (Akkuş, 2016).



Şekil 3.8.Sandviç yapılı kompozit (İnsapedia, 2020)

Fiber esaslı kompozitler

Fiberin yapısına göre sürekli ve sürekli fiber takviyeli kompozitler elde etmek mümkündür. Süreksiz ve kısa fiberler takviye elemanı olarak bünyesinde kısa veya kırılmış fiber bulundurlar. Matris içerisinde rasgele dağılabilecekleri gibi tek yönlü olarak da bulunabilirler. Sürekli fiberler ise tek yönde serilebilecekleri gibi dik iki yönde de birleştirilebilirler. Sürekli fiberler oldukça yüksek mukavemet kazandırmaktadır (Günel, 2007).

Sağladığı birçok avantaj ve kazandırdığı yüksek nitelikler nedeni ile liflerin bir araya getirilmesi ile oluşturulurlar. Fiber şeklinde üretilen malzemelerin mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok üst düzeyde olabilmektedir. Örnek vermek gerekirse, karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha

yüksektir. Fiberlerin bu özelliğinin fark edilmesiyle fiber kompozitlerin üretilmesi süreci başlamıştır (Vatangül, 2008).

Mühendislik uygulamalarında yer alması aşağıda verilen özelliklere bağlıdır.

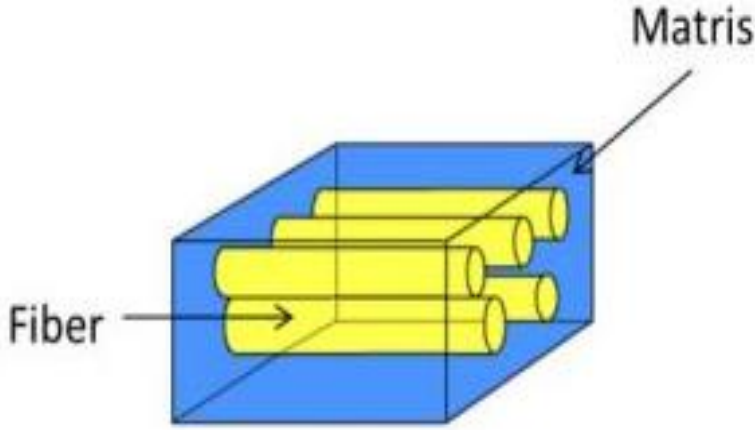
- Tane boyutlarının küçük olması ve küçük çapta üretilmeleri ile üstün mikroyapısal özellik sağlamaları.
- Boy/çap oranının artması ile matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
- Yüksek değerli elastik modülüne sahip olması (Tekeli, 2007).

Fiber malzeme yüksek ergime sıcaklığına sahip, hafif ve mukavemetli olmalıdır.

3.4. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Bileşenler

Kompozit malzemeler genel olarak iki fazdan oluşmaktadır. Bu fazlardan biri çekirdek olan fiber ile bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan matrisdir. Kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini fiber fazı karşılamaktadır. Matris malzemesi ile plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önlerken, fiber malzemelerini yük altında bir arada tutmakta ve kompozit malzemeye gelen yükün homojen olarak lifler arasında dağılımını sağlamaktadır (Çatak, 2007).

Kompozit malzemelerin, Şekil 3.9’da verilen ve iki fazı olan matrisi ve fiberi bir arada tutan bağlanma kuvveti, oluşturulan malzemenin özelliklerini sergileyebilmesi ve malzemenin performansını gösterebilmesi için oldukça önemlidir. Bağlanma kuvveti seçilen matris ve fiber kombinasyonundan doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle kombinasyonu oluşturan matrisin ve fiberin özelliklerinin iyi bilinmesi ve uygun seçimler yapılarak uyumlu birleşmelerin sağlanması gerekmektedir.



Şekil 3.9. Kompozit malzemelerin ana bileşenleri (Advanced Composite Cluster)

3.4.1. Matris malzemeleri

Kompozit malzemelerin fazından olan matris malzemelerinin temel olarak üç ana fonksiyonu vardır. Diğer faz olan fiberleri bir arada tutmak, yükü eşit şekilde dağıtmak ve elyafları çevresel etkilere karşı korumaktır (Vatangül, 2008).

Matris malzeme seçiminde, malzemenin su alma ve nem özelliklerinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Seçilen malzemenin basınç mukavemeti, kayma sertliği, kopma, uzama mukavemetleri ile darbe direnci, viskozite değeri de önemlidir. Yüksek kayma modülüne sahip bir matris malzeme seçilmelidir. Erime noktası, kür sıcaklığı gibi fizik özellikleri de belirlenmelidir (Ulcay, 2002).

Matris malzemeleri yapılarındaki kimyasal bağlara göre termoset plastikler ve termoplastik olmak üzere iki gruba ayrılır. Termoset plastikler girdikleri kimyasal tepkime ile sertleşir ancak tekrar ısıtıldıktan sonra yeniden ergitilemezler veya başka bir şekle sokulamazlar. Termoset plastiklerde kalıcı şekillendirme gerçekleştirilmektedir. Termoplastikleri ise yapılarındaki zayıf Van Der Waals bağları nedeni ile tekrar ısıtarak şekillendirmek mümkündür. Çizelge 3.1’de verildiği gibi termoplastik malzemeler farklı koşullarda çalışabilir bu nedenle kullanılacağı ortamın şartlarına göre seçilmelidir. Termoplastikler, termoset plastiklere göre üstün kırılma tokluğu, geri dönüşüm ve güvenli çalışma ortamı gibi avantajları olsa da kimyasal çözücülere karşı dayanıklı, üstün mekanik özelliklere, yüksek

çalışma sıcaklığına ve estetik görünümüne sahip termoset plastikler kadar kullanılmamaktadır (Bayraktar, 2016).

Çizelge 3.1. Belli başlı termoplastik reçineler ve işlem sıcaklıkları (Onat, 2015)

Malzeme	Erime Sıcaklık Aralığı (°C)	En Yüksek İşlem Sıcaklığı (°C)
PP	160-190	110
PA	220-270	170
PES	-	180
PEI	-	170
PAI	-	230
PPS	290-340	240
PEEK	350-390	250

Epoksi reçine

Termoset plastikler arasında yer alan epoksi reçineler endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir. Epoksi reçinenin sağladığı avantajlar aşağıda özetlenmiştir.

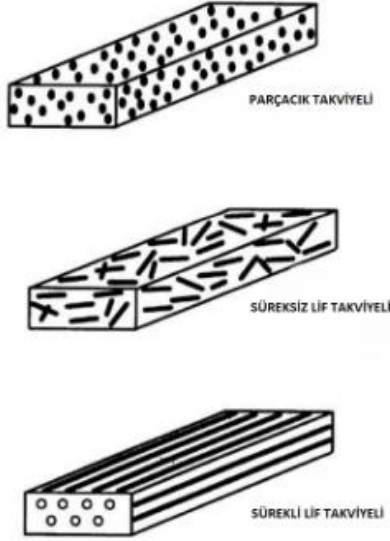
- Sıvı, viskoz sıvı ve katı halde bulunabilirler.
- Geniş sıcaklık aralığında sertleşebilme özelliğine sahiptirler.
- Elektrik, ısı ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Suya dayanıklıdır.
- Yüksek aşınma direncine sahiptir.
- İyi yapışma sağlarlar.
- Çatlama, korozyon ve kimyasal malzemelere karşı dayanıklıdır.

Ancak tüm avantajlarının yanında cilde zararlı ve temin maliyeti yüksektir. Sertleştiriciler ile olan karışım oranları da önemlidir (Onat, 2015).

3.4.2.Fiber malzemeleri

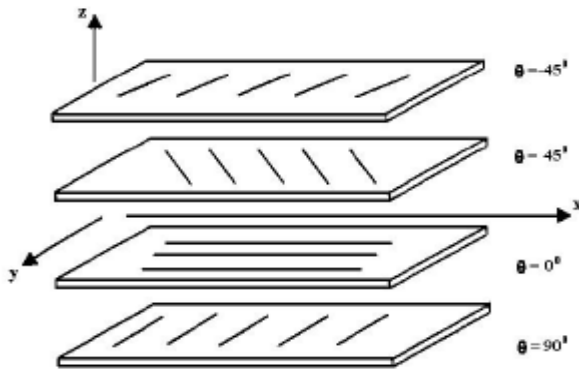
Kompozit malzemelerin ana bileşenlerinden olan ve ürün üzerine gelen yükü karşılan takviye elamanlarını şekillerine göre üçe ayırmak mümkündür. Bunlar, Şekil 3.10'da verildiği gibi, matris içerisine makro ölçekli partiküllerin katılması ile oluşturulan parçacık takviyeli kompozit malzemeler, yaklaşık 1-5 µm çapında ve 0,5-6 mm uzunluğunda üretilen

kısa (süreksiz) fiber takviyeli kompozit malzemeler ve fiberlerin çoklu halde veya dokuma kumaş haline yerleştirilmesi ile oluşturulan sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerdir (Bayraktar, 2016).



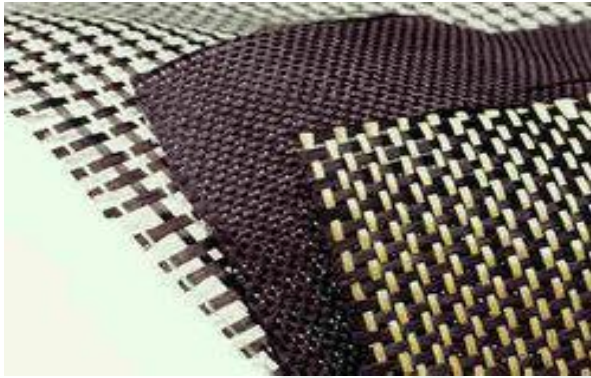
Şekil 3.10. Kompozit malzeme takviye tipleri (İşlek, 2020)

Fiberler her zaman tek veya iki eksenli olmayabilir. Birkaç farklı eksenden yüke maruz kalacak olan kompozit malzemelerde Şekil 3.11’de de verildiği gibi farklı yönlerde fiberler yerleştirilebilir veya iki boyutlu, üç boyutlu dokuma kumaşlar kullanılabilir. Bu çok katlı kumaşlarda katların sayısı, eksen açısı, ağırlığı ve fiber tipi üründen beklenecek performansa göre tasarlanabilir ve değiştirilebilir (Saçak, 2005).



Şekil 3.11. Farklı fiber açılarına sahip plakalar (Günel, 2007)

Üretilen ürünün mekanik özelliklerini etkileyen en kritik hususlardan biri de fiberlere gelecek yüklerin eşit şekilde dağılmasıdır. Bu da üretimin kalitesi ile doğru orantılıdır. Aksi halde homojen olarak dağılmayan yükler sonucunda üretilen parça yeterli performansı sağlayamayacaktır. Karbon fiberlere ait görsel Şekil 3.12’de verilmiştir. Fiberlerin iplik yerine örgülü dokuma kumaş olarak kullanılması da hem elyaf hizalanmasını arttıracak hem de gelen yükün homojen dağılımını sağlayarak parçanın mekanik özelliklerini iyileştirecektir.



Şekil 3.12. Karbon fiber örnekleri (Vatangül, 2008)

Üretilecek kompozit malzemedeki beklenen performans kriterlerine, malzemenin amacı ve şartlarına göre kombinasyonu oluşturulacak fiberler değişiklik göstermektedir. Yaygın olarak tercih edilen belli başlı fiberlerin karşılaştırılması Çizelge 3.2’de verilmiştir. Uçak panellerinde, roket motorlarında mekanik, kimyasal ve elektiriksel özellikleri oldukça iyi olan cam fiberler tercih edilirken, daha pahalı olan ancak cam fiberlere göre daha hafif olan aramid fiberler ise otomobil lastiklerinde tercih edilmektedir. Aramid fiberlerin matrise iyi yapışmama özellikleri de bir dezavantaja neden olmaktadır. Yüksek mukavemete sahip, Birleşmiş Milletler Hava Kuvvetleri’nde F-15 ve Deniz Kuvvetlerinde F-145 uçaklarında bulunan boron fiberler ise işleme zorlukları nedeni ile pahalıdırlar (Günel, 2007).

Yüksek performanslı kompozit yapılarda takviye elemanı olarak en yaygın karbon fiberler yer almaktadır. Genellikle üretimlerinde poliakrilonitril (PAN) bulunmaktadır. Bu elyaflar 2413 ile 3102 MPa değerleri arasında çekme mukavemetine sahiptir (Vatangül, 2008). Karbon fiberlerin başlıca özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek mukavemetlidir.
- Tokluk değerleri yüksektir.

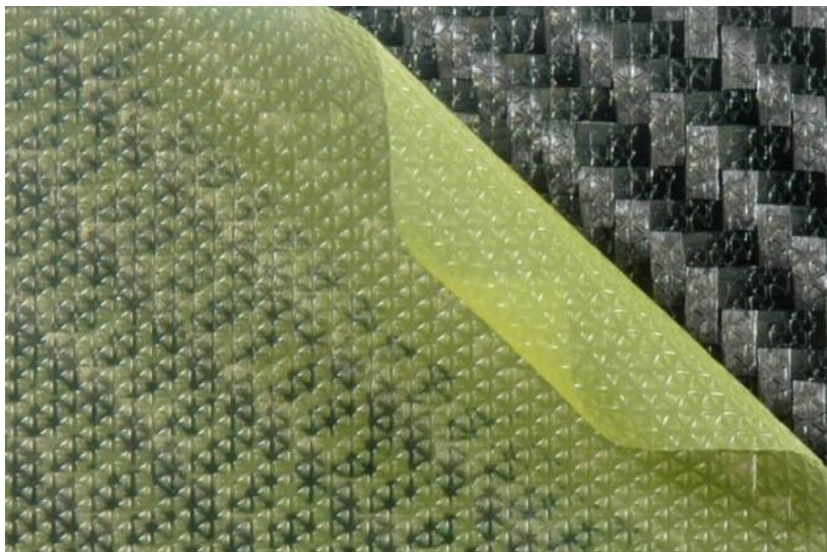
- Nemden etkilenmezler.
- Sürünme mukavemetleri çok yüksektir.
- Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça yüksektir.
- En yaygın olarak epoksi reçine ile uygulama yapılmaktadır.

Çizelge 3.2. Belli başlı fiberlerin karşılaştırılması (Onat, 2015)

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)
E-Cam	2,55	2000	80
S-Cam	2,49	4750	89
Alüminyum	3,28	1950	297
Karbon	2,00	2900	525
Kevlar 29	1,44	2860	64
Kevlar 49	1,44	3750	136

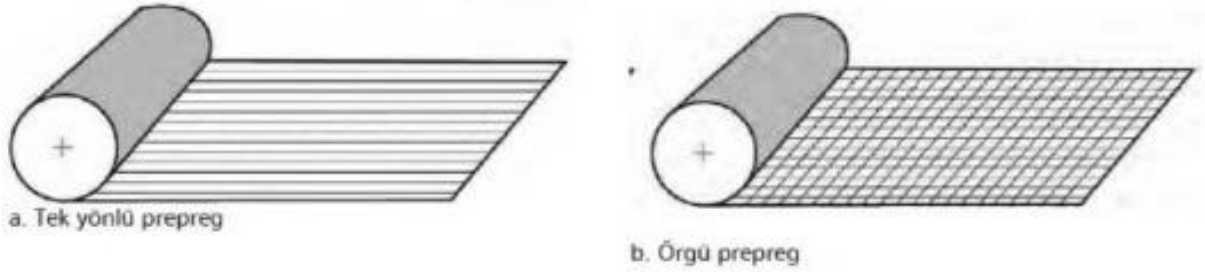
Prepreg

Kompozit malzemelerin üretiminde fiber olarak özellikle uzay ve havacılık sanayide Şekil 3.13'te verilen prepreg tercih edilmektedir. Prepregler polimer reçine ile doyurulmuş, kısmen kurutulmuş dokuma kumaşlardır. Prepreglerin kullanıldığı üretimlerde ek olarak reçinenin uygulanması gerekli değildir. Kendi içerisinde bulunan reçinenin oranına da bağlı olarak üretim esnasında gerekli yapışma, yapıda emdirilmiş halde bulunan reçine ile sağlanmaktadır. Bahsedilen reçine/elyaf oranı %35 ile %50 arasında değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3.13. Prepreg görünümü (Malzemebilimi.net, 2017)

Prepregler kullanım amaçlarına, ürün üzerine gelecek yük dağılımına ve yönüne bağlı olarak Şekil 3.14’te verildiği gibi tek yönlü veya örgü olarak imal edilebilirler.



Şekil 3.14. Prepreg çeşitleri (Turkchem.net, 2017)

Yönlü ve örgü prepreglerin karşılaştırması Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tek yönlü prepreg ve örgü prepreg karşılaştırması (Cengiz, 2017)

Prepreg Çeşidi	Avantajları	Dezavantajları
Tek Yönlü Prepreg	• Yüksek mukavemetlidir. • Tüm açı dağılımları uygulanabilir.	İşçilik fazladır.
Örgü Prepreg	• Çalışma kolaylığı sağlar. • İşçilik kısadır.	Sadece belirli açılarda kuvveti karşılayabilir.

Fiber olarak prepreglerin tüketiciye sağladığı birçok avantaj bulunmaktadır.

- Pratik bir üretim sağlanmaktadır.
- Ek olarak reçine, sertleştirici ihtiyacını ortadan kaldırır.
- Yapışmama söz konusu olmadığından serim işlemi daha kolay gerçekleşir.
- Kürleme süresi el yatırma, vakum infüzyon ve vakum torbalama işlemlerine göre daha kısadır.

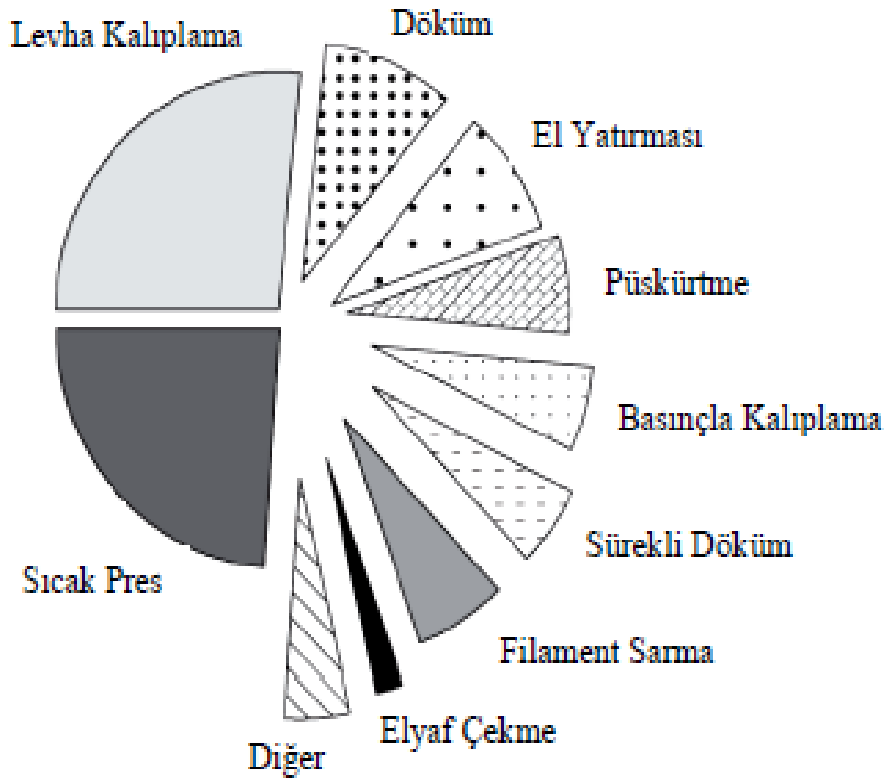
Prepreg malzemelerin sağladığı avantajlar olduğu gibi bazı bazı dezavantajları da vardır.

- Prepregin üretimi ve imalat maliyeti yüksektir.
- Belirli bir sıcaklık ve basınç altından kürlenmektedirler.

- Bazı üretim yöntemlerine bulunan otoklav ve fırın oldukça pahalı endüstriyel ürünlerdir.
- Uygun saklanma koşullarının sağlanması gerekmektedir.
- Saklanma koşulundan çıkartıldığında belirli bir süre içerisinde üretim hattında işlenmelidir (Malzemebilimi.Net).

3.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Geleneksel malzemelere oranla sağladığı birçok avantaj nedeni ile günümüzde oldukça fazla yer alan ve her geçen gün yaygınlaşan kompozit malzemelerin üretim yöntemleri de geçen bu süre zarfında fazlası ile çeşitlenmiştir. Kompozit malzemeler için geliştirilen bu üretim yöntemlerinin kullanım oranları Şekil 3.15'te verilmiştir. Üretilcek kompozit malzemenin amacına ve şekline göre değişiklik gösteren bu üretim yöntemlerini genel olarak açık kalıplama yöntemi ve kapalı kalıplama yöntemi olmak üzere iki başlık altında sınıflandırmak mümkündür.



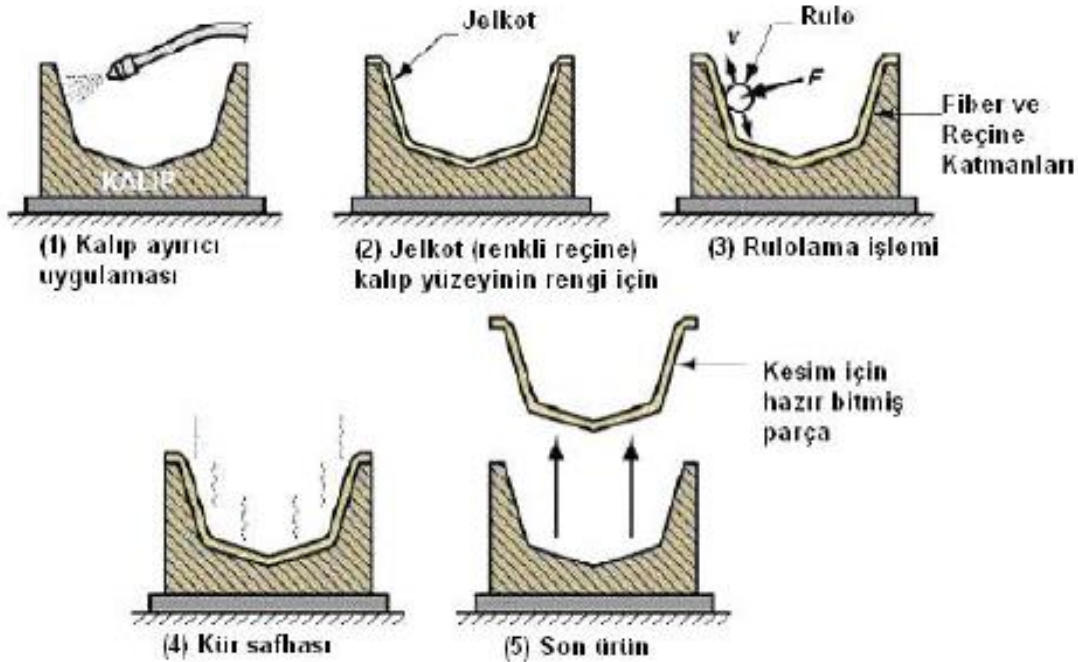
Şekil 3.15. Kompozit malzeme üretim yöntemlerinin kullanım oranları (Bayraktar, 2016).

3.5.1. Açık kalıplama yöntemleri

Açık kalıplama yönteminde kompozit malzemenin bir yüzeyi kalıp ile temaslıdır. Kalıp sayısının az olması nedeni ile maliyeti kapalı kalıplama yöntemlerine göre daha düşüktür.

Elle yatırma yöntemi

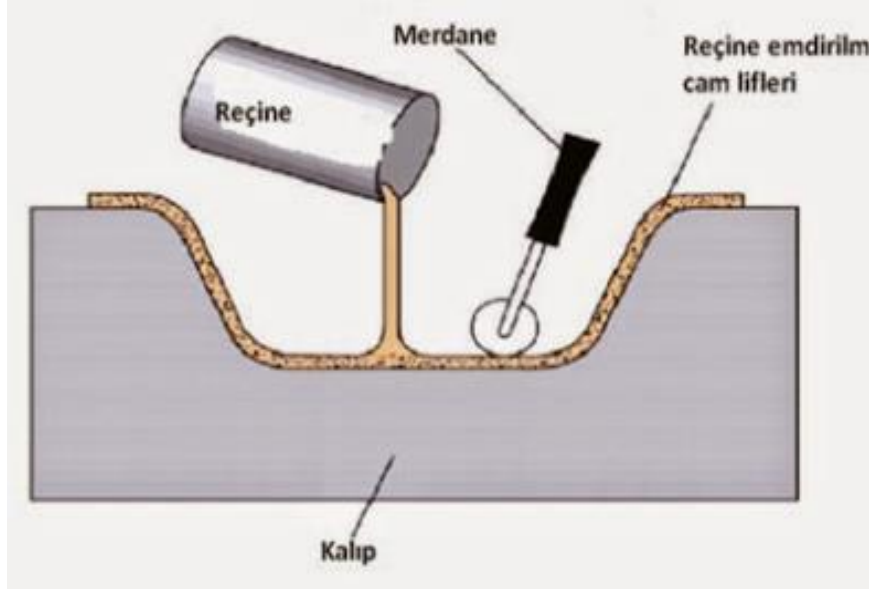
Şekil 3.16’da görülebileceği gibi elle yatırma yönteminde kullanılacak kalıp jel kot ile temizlenir, kırılmış ya da dokuma fiberler hazırlanmış olan kalıp üzerine yatırılır. Hazırlanan reçine karışımı bu fiberlere emdirilir. İstenen kat sayısı kadar aynı işlem tekrarlanır. Bu üretim yönteminde ilave edilen reçinenin kalıp içerisindeki elyafa iyi nüfuz etmesi oldukça önemlidir, yeterli yapışmanın sağlanması gerekmektedir. Bu üretim yöntemine en uygun reçineler epoksi ve polyesterdir. Elyaf olarak ise kuru kumaşın yanı sıra prepreg de tercih edilebilir. Prepregler polimer reçine ile doyurulmuş sürekli elyaftan oluşan ve kısmen kurutulmuş dokuma kumaşlardır.



Şekil 3.16. Elle yatırma üretim süreçleri (Işık, 2008)

Elle yatırma yönteminde kompozit malzeme içerisinde fiberlerin homojen olarak dağılmama oranı yüksektir. Ancak fiberlere gelen yükün eşit olarak dağılması, üretilen ürünün kalitesi için kritik bir nokta olduğundan yapılacak üretimin de dikkatli ve kaliteli bir şekilde

yapılması gerekmektedir. Aksi hâlede üretilen ürünün göstereceği mekanik performansta düşük olacaktır. Elle yatırma yönteminde homojenliğin sağlanabilmesi için birçok ek yöntem denenebilir. Şekil 3.17’de de görülebileceği gibi dökülen reçinenin fiberler arasında homojen olarak dağılmasını sağlayabilmek için merdane uygulanabilir.



Şekil 3.17. Elle yatırma yöntemi (Tekstilteknik)

Elle yatırma yönteminin avantajları aşağıda verilmiştir.

- Kalıp maliyeti düşüktür.
- Üretimi ucuzdur.
- Püskürtme yöntemine göre daha yüksek fiber oranı sağlar.
- Hızlı imal edilebilir.

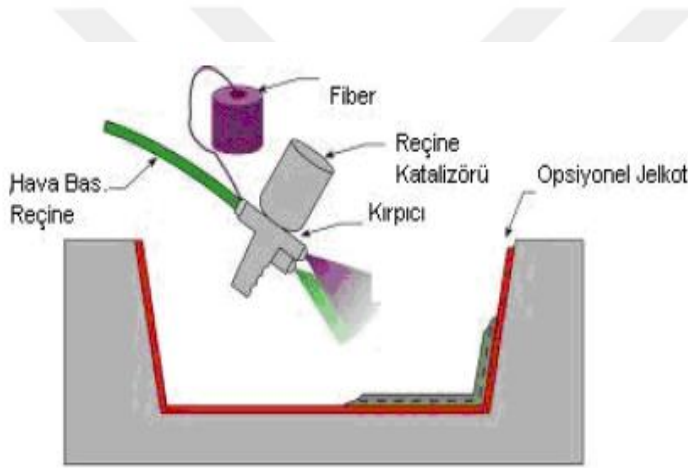
Elle yatırma yönteminin dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- İnsan sağlığına zararlıdır.
- Üretimde sabit kalite sağlanamayabilir.
- Yüksek işçilik gerektirir.
- Sadece tek yüzey kalite elde edilir.
- Ürün boyutlarında sapmalar meydana gelebilir (Bayraktar, 2016).

Püskürtme yöntemi

Elle yatırma yönteminin aletli üretim yöntemidir. Püskürtme yönteminde bulunan ekipmanlar Şekil 3.18’de, yöntemin aşamaları ise aşağıda verilmiştir.

- Püskürtme yönteminde kırılmış elyaflar, sertleştirici ile karıştırılmış reçine ile birlikte, özel bir püskürtme tabancası yardımıyla hazırlanan kalıba püskürtülür.
- Elyafların kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde gerçekleşmektedir.
- Son işlem olarak bir rulo yardımı ile yüzey düzeltilmektedir (Onat, 2015).



Şekil 3.18. Püskürtme Yöntemi (Işık, 2008)

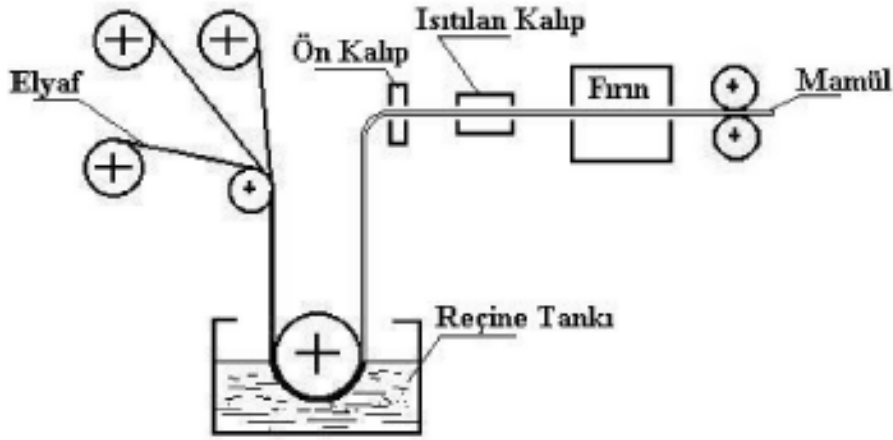
3.5.2. Kapalı kalıplama yöntemleri

Kapalı kalıplama yöntemi ile üretilen kompozit malzemenin tüm yüzeyleri kalıplar ile temaslıdır. Kalıpların sayısı ve üretim gereksinimleri ile daha yüksek maliyetli olup, kullanılan kalıplar sayesinde daha düzgün yüzeyler sağlanmakta, gerektirdiği bilgi birikiminin yanında daha yüksek mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir.

Profil çekme yöntemi

Elyaflara bir tank yardımı ile reçine emdirilir. Elde edilen karışımın istenilen şekli alması için kalıptan geçirilir. Kolay ve kalıcı şekillendirme için kalıp ısıtılır veya karışım fırınlanır. Profil çekme yöntemi ile ortaya çıkan mamul genellikle kalıbın şekline bağlı olarak çubuk

veya boru şeklindedir. Yöntemde kullanılan ekipmanlar Şekil 3.19’da verilmiştir.

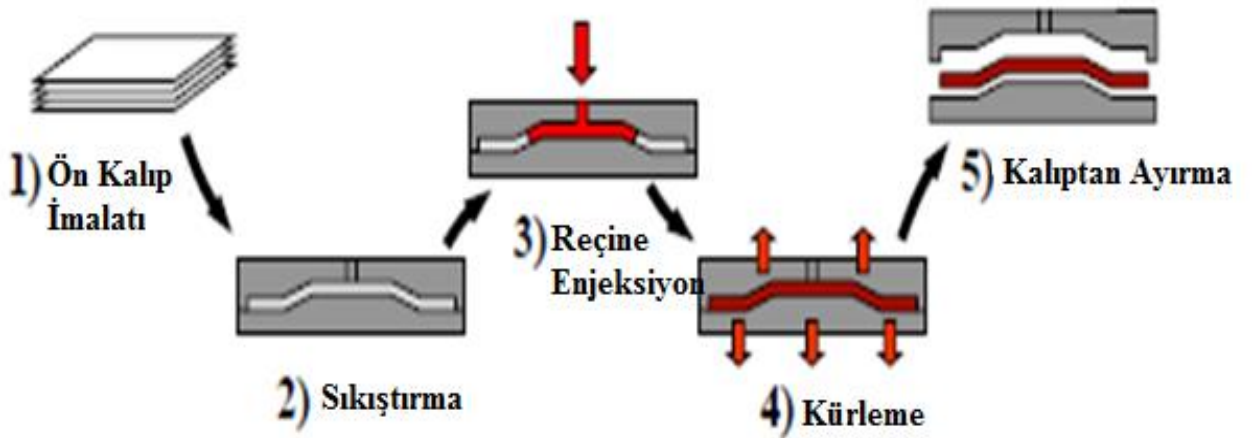


Şekil 3.19. Profil Çekme Yöntemi

Reçine transfer metodu (RTM)

Reçine transfer metodunun üretim şeması Şekil 3.20’de, aşamaları ise aşağıda verilmiştir.

- İki adet kalıp imal edilir.
- Jelkot sürülen kalıp içerisine takviye elemanları yerleştirilir.
- Kalıplar kapatılır.
- Kalıp içerisindeki takviye elemanlarına basınç ile reçine enjekte edilir.
- Reçinenin takviye elemanı içerisine nüfuz edebilmesi için vakumlama yapılır.

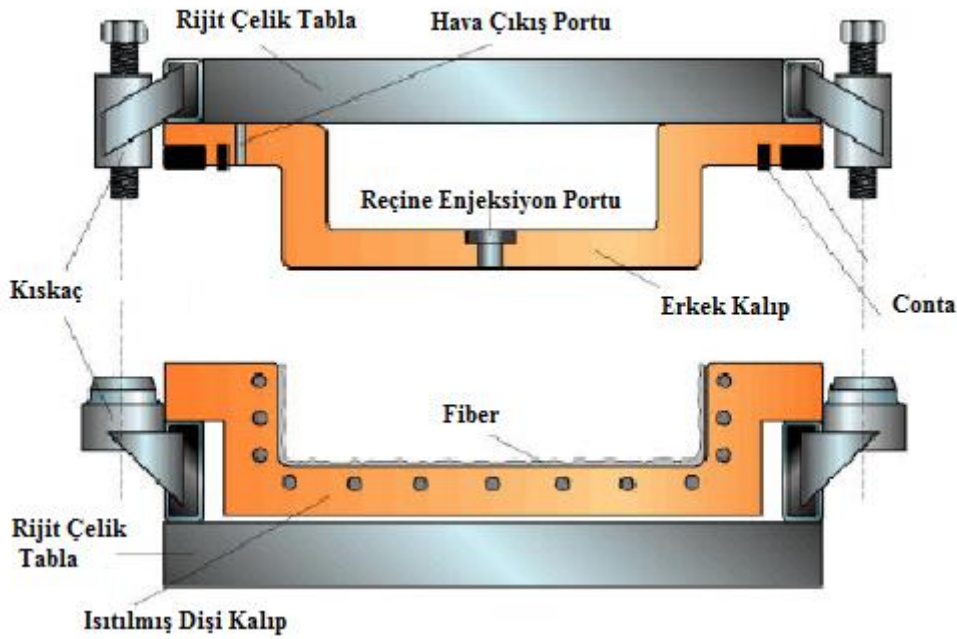


Şekil 3.20. Reçine transfer yöntemi (RTM) işlem basamakları (Ataş, 2016)

Reçine transfer metodunun sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir.

- Kalıplar nedeni ile her iki yüzeyde de yüksek kalite sağlanır.
- Kalıplar diğer kapalı kalıplama yöntemlerinin kalıplarına göre daha ucuzdur.
- Kapalı üretim yöntemi olduğu için daha az organik uçucu gaz ortama yayılır (Işık,2008).

Şekil 3.21’de RTM yönteminde kullanılan ana ekipmanlar görülmektedir.

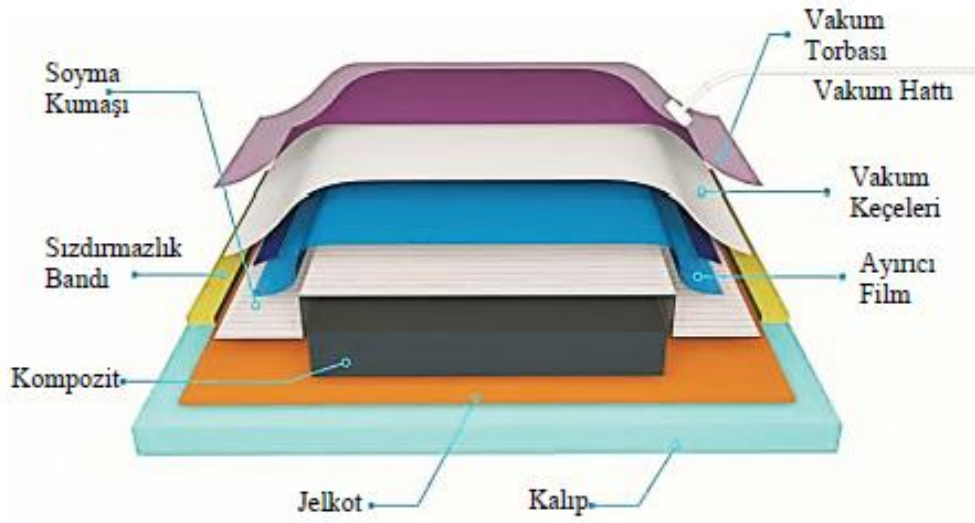


Şekil 3.21. Reçine transfer yöntemi (RTM) (Işık,2008)

Vakum torbası / otoklav prosesi

Vakum torbası ile üretim yönteminin işlem basamakları aşağıda, üretim şeması Şekil 3.22’de verilmiştir.

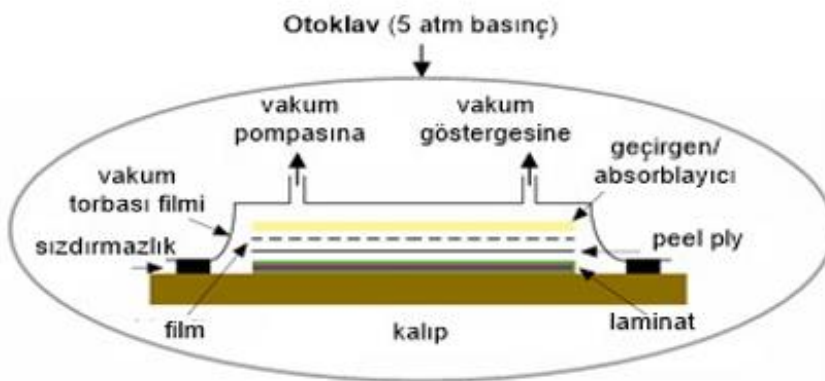
- Vakum torbası yönteminde iş parçası jelkot sürülen tabla üzerine yerleştirilir.
- Tablanın üzerine iş parçasını içeride tutacak şekilde vakum torbası kapatılır.
- Vakum torbasına havanın çıkış sağlayacağı portlar yerleştirilir.
- Bu portlardan hava emilmeye başlanır.
- Emilen hava ile birlikte vakum torbası iş parçasının üzerine yapışır ve basınç uygular.
- Elde edilen tüm bileşim kütleme işlemi için bir fırında ısıtılır.



Şekil 3.22. Vakum torbalama yöntemi (Bayraktar, 2016)

Şekil 3.23'te verilen otoklav yönteminde ise vakumlama yönteminden farklı olarak bileşenler fırın yerine otoklava yerleştirilmektedir. Otoklav ısı, basınç kontrol edildiği basınçlı bir kaptır.

Otoklav maliyeti çok daha yüksektir ancak özel amaçlar için kullanıldığında kalitesi yüksek bir üretim sağlamaktadır.



Şekil 3.23. Otoklav yöntemi (Beşergil)

4. MATERYAL METOT

Bu çalışmada özellikle havacılık ve uzay sanayinde endüstriyel ürün olarak tercih edilebilecek niteliklere sahip, ağırlık artışını en azda tutarak mukavemet özellikleri arttırılmış, doğa dostu kompozit malzemenin üretimi amaçlanmaktadır. Kombinasyon olarak birçok sektörde oldukça sık tercih edilen prepreg ve epoksiye ek olarak yüksek performans ve uygun maliyetin yanı sıra günümüzde artan çevre bilinci nedeni ile çevre dostu biyo-tabanlı keten ipi ikinci takviye olarak ilave edilmiştir.

Çalışmalarda uzun raf ömrüne sahip, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri yüksek, hava şartlarından az etkilenen epoksi reçine matris olarak uygulanmıştır. Epoksi reçineler diğer reçinelere oranla daha iyi yapışma özelliklerine sahip olup, aşınma, çatlama, korozyon ve kimyasal malzemelere karşı dayanıklıdır.

Birinci takviye elemanı olan karbon fiberin en önemli özelliği düşük yoğunluğunun yanı sıra yüksek sürünme, aşınma, yüksek yorulma mukavemetine sahip, tokluk değeri yüksek ve nemden etkilenmemesidir. Kompozit malzemedeki karbon lifler prepreg formunda da yaygın olarak kullanılmıştır.

Keten en sert ve en güçlü doğal materyaldir ve lifler ile polimerleri güçlendirme potansiyeline sahiptir. Düşük maliyeti ile birlikte dünyada yaygın olarak yetiştirilebilen ve yenilenebilir bir kaynaktır. Esas olarak kristalin selülozdan (ağırlıkça %55-70) oluşan keten, cam veya aramid ile karşılaştırıldığında, düşük yoğunluklu, düşük maliyetli ve yüksek spesifik mukavemete sahiptir (Thomsen,2006). Üretilen kompozit malzeme içerisinde ağ yapısı formunda konumlanacak şekilde ve feder olarak kompozit malzemde ikinci takviye elemanı olarak çalışmada dikkate alınmıştır.

Deneyisel çalışmalar kapsamında prepreg, epoksi ve keten ile sadece prepregten oluşan, prepregler arasına ketenin yerleştirildiği ve keten sonrası epoksinin ilave edilmesi ile 3 farklı kombinasyonda numuneler üretilmiştir. Bu kombinasyonlar çalışmada Numune-1, Numune-2 ve Numune-3 olarak adlandırılmıştır.

Numune-1, yalnız iki katman prepreg ile lamine halde üretilen deney numunesidir. Numune-

2, iki prepreg arasına 10 mm adımı sahip örgülü keten yerleştirilerek üretilen deney numunesidir. Numune-3 ise iki prepreg arasına yerleştirilen örgülü keten ve epoksi ile güçlendirilmiş deney numunesidir. Üretilen plaka şeklindeki deney numuneleri üzerinden çekme ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Keten takviyeli kompozit malzeme üretimi esnasında Numune-2 ve Numune-3'te 10 mm araklı adıma sahip örgü keten yerleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda yer alan kompozit numunelerin üretimleri ve mekanik testleri, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii'nin (TUSAŞ) sağladığı imkanlar ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. Kullanılan Malzemeler

Prepreg

Deneysel çalışmalarda ana takviye elemanı olarak örgülü yapıda karbon prepreg uygulanmıştır. Kullanılan prepreg havacılık sektöründe de sıklıkla yer alan CYTEC firmasının ürettiği kurlama sıcaklığı 355°F (179°C) olan BMS8-256 TYPE:4 CLASS:2'dir ve görseli Resim 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Prepreg

Epoksi reçine/sertleştirici

Epoksi reçine, lamineler arasında matris görevi oluşumu için tercih edilmiştir. Üründe

bütünlük sağlanabilmesi ve iyi yapışma elde edilebilmesi için prepreg içindeki reçine ile matris olan epoksi reçinenin özelliklerinin çok yakın olması beklenmektedir. Aksi durumda imal edilen ürünlerde yeterli mukavemet sağlanamayacaktır. Bu çalışmada havacılık sektöründe en yaygın uygulanan epoksi reçine ve prepreg kombinasyonu tercih edilmiştir ve malzemelerin ayırt edici özellikleri, uygun çalışma koşulları dikkate alınmıştır.

Deneyisel çalışmalarda HENKEL firması üretimi olan LOCTITE EA 9396 kiti kullanılmış olup, yüzde 75 reçine yüzde 25 sertleştirici karışım oranlarında hazırlanmıştır. Uygulanan epoksi kiti Resim 4.2’de verilmiştir.



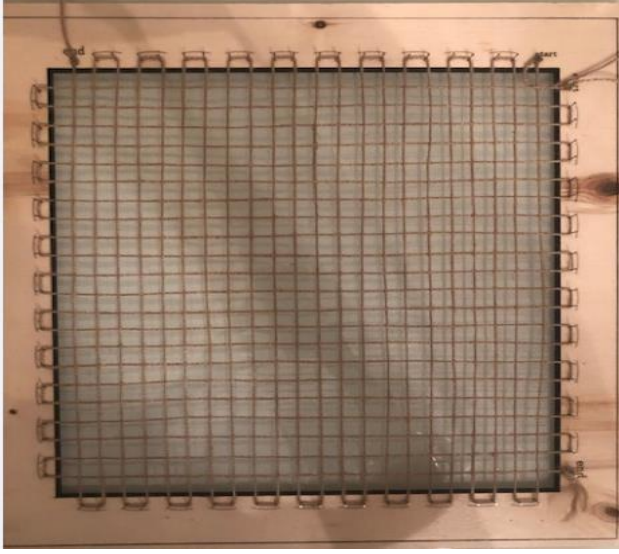
Resim 4.2. Epoksi reçine ve sertleştirici

Keten örgü

Keten ipliklerden, özel boyutlarda lazerde kesimi gerçekleştirilen Resim 4.3’te verilen kasnaklar hazırlandı. Resim 4.4’te verildiği gibi kasnak üzerinde örgüler meydana getirildi. 300 mm × 300 mm boyutlarında hazırlanan kasnak üzerindeki çivilerin yerlerinin belirlenmesi için ip ve çivi kalınlıkları hesaplanmış, çivi etrafından geçen iplerin merkezleri arası 10 mm olacak şekilde kasnak üretimi tamamlanmıştır. Birinci eksende ipler çiviler etrafından sırası ile dolandırılmış, ikinci eksendeki ipler ise birinci eksenden dolandırılan iplerin sırası ile altından ve üstünden geçirilmiştir. Çalışmada yer alan ketenin çapı yaklaşık 2 mm’dir.



Resim 4.3. Kaskın Görünümü



Resim 4.4. Örgülü kaskın

Ayırıcı film, vakum battaniyesi ve vakum poşeti

Kompozit malzemenin kalıp yüzeyine yapışmasını önlemek amaçlı sıvı formdaki vaks uygulanmıştır. Vakum sırasında prepreglerin zemine yapışmasını önlemek amacı ile ayırıcı film uygulanırken, vakum sırasında fazla reçineyi emdirmek ve homojen bir basınç dağılımını sağlamak amaçlı vakum battaniyesi kullanılmıştır.

Vakumlama için gerekli kapalı hacmi oluşturmak amacıyla vakum poşeti uygulanmıştır.

Kapalı hacmin zemin üzerinde oluşturulması ve yapışma yüzeylerinde meydana gelebilecek hava kaçaklarını engellemek, sızdırmazlık sağlamak amacı ile poşetler zemine vakum sızdırmazlık bandı ile yapıştırılmıştır.

4.2. Kompozit Plaka Üretimleri

Çalışmalar kapsamında üç farklı kombinasyonda numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Numune-1 için sadece prepreg kullanılmış ve iki kat olarak üst üste serilmiştir. Numune-2 için iki prepreg arasına hazırlanan keten örgü yerleştirilirken, Numune-3'te ise iki prepreg arasına yerleştirilen örgüye epoksi reçine ilavesi yapılmıştır. Numune-2 ve Numune-3 arasındaki fark, iki kat arasına yerleştirilen keten kumaşın, Numune-2 de reçinesiz olması, Numune-3'te ise reçine ilave yapılmış olmasıdır.

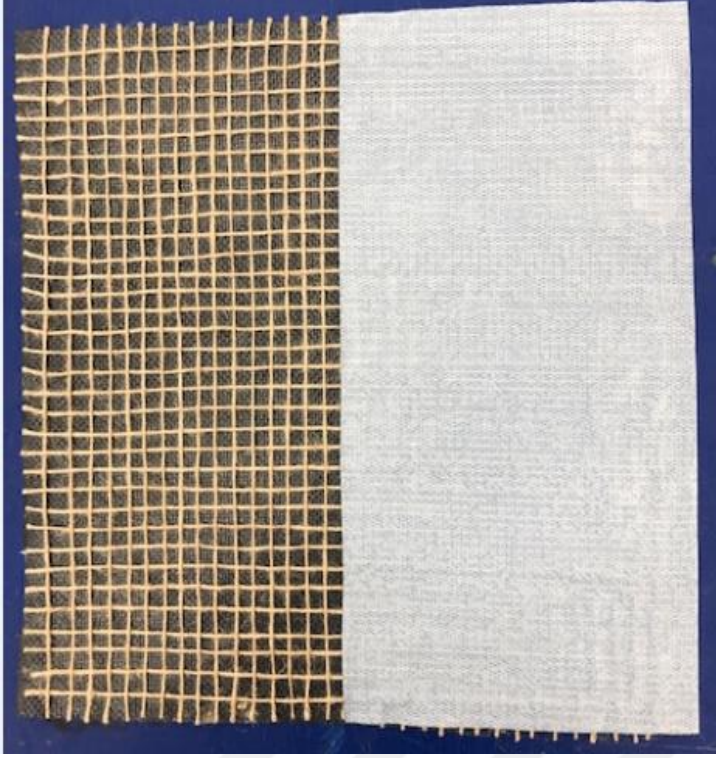
Numune 2 ve Numune 3'de bulunan 10 mm adımlı örgü üretiminin ilk basamağı, lazer kesim ile hazırlanan kasnak üzerinde bulunan çiviler yardımıyla keten kumaşın örülmesidir. Resim 4.5'te görüleceği gibi hazırlanan örgünün üzerine prepreg yerleştirilmiş ve yapışması sağlanmıştır. Yapışan örgü kasnaktan ayrılmıştır.



Resim 4.5. Keten örgü yerleştirilmiş prepreg

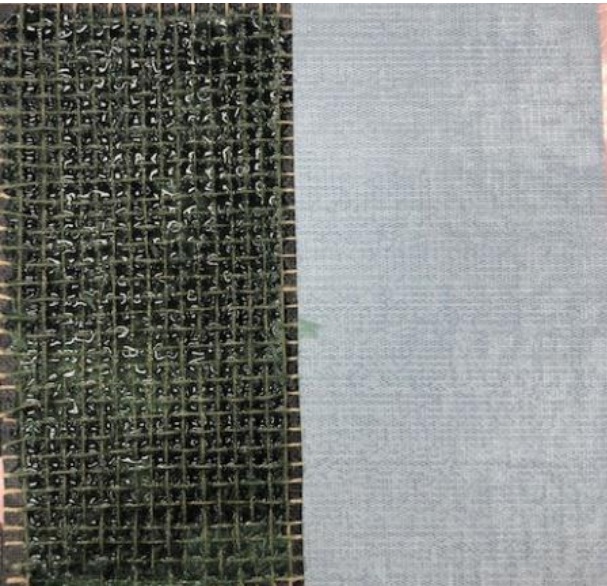
Keten örgü yerleştirilmiş prepregin yarısının üzerine bir kat prepreg daha yerleştirilerek

Numune-2 elde edilmiştir. Uygulanan işlem Resim 4.6’te verilmiştir.



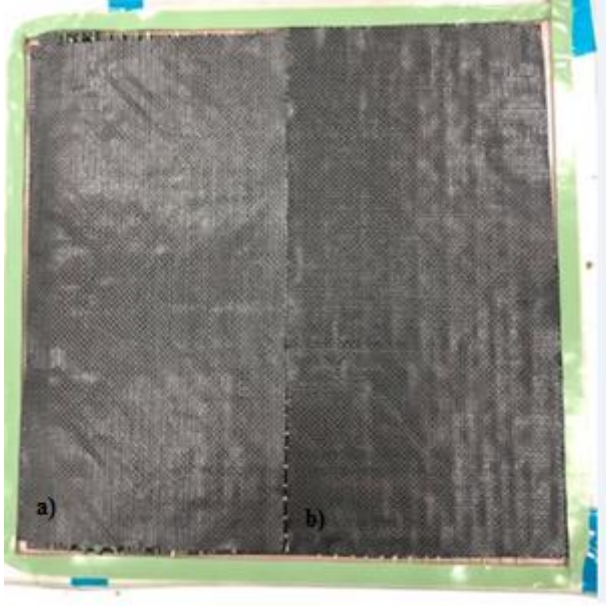
Resim 4.6. Numune-2 hazırlık görünümü (sağda)

Resim 4.7’de görüleceği gibi hazırlanan parçanın sol tarafına ise epoksi reçine ilave edilmiştir. Epoksi reçine bir fırça yardımı ile her iki eksen boyunca sürülmüş olup, homojen bir dağılım hedeflenmiştir.



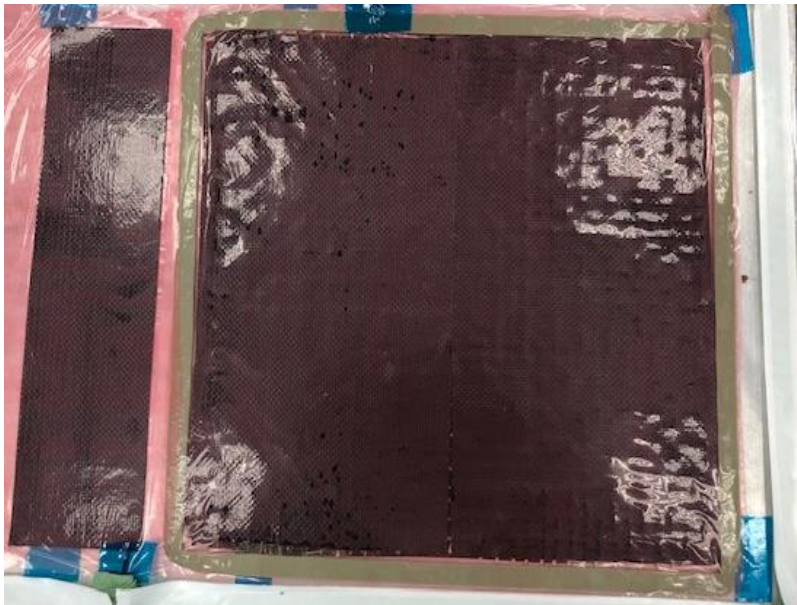
Resim 4.7. Üzerindeki keten örgüye epoksi ilave edilmiş prepreg görünümü (solda)

İlave edilen epoksi üzerine prepreg yerleştirerek Numune-3 için en üst katman da hazırlanmıştır. Vakumlama torbasının yerleştirilmesi için numunelerin etrafı vakum sızdırmazlık bandı ile çevrelenmiştir. Numune-2 ve Numune-3'ün hazırlık görünümü Resim 4.8'de verilmiştir.



Resim 4.8. (a) Numune-3 (b) Numune-2 hazırlık görünümü

Otoklav tablasının üzerine tüm numuneler alınmış ve hazırlanan 3 numune vakum öncesi torbalanmıştır (Resim 4.9.).



Resim 4.9. Üretilen parçaların görünümü

Üretilen parçadaki fazla epoksinin emilmesini ve basıncın homojen dağılmasını sağlamak için parça vakum battaniyesi ile kapatılmıştır. Hazırlanan parçalar üzerine otoklav öncesi vakumlama işlemi için 3 farklı noktada port yerleştirilmiştir ve vakum torbasına alınmıştır. Vakuma hazırlanan numunelerin görünümü Resim 4.10’da verilmiştir.



Resim 4.10. Vakumlamaya hazırlık görünümü

Vakuma hazırlanan parçalar portlar yardımıyla vakumlanmıştır. Yapılan ölçümlerde vakum boyunca herhangi bir sızma yaşanmamış, vakumlama işlemi sorunsuz tamamlanmıştır. Termo couple yerleştirilen parçalar otoklava alınmıştır. Vakumlama işlemi tamamlanan ve otoklav için hazırlanan numuneler Resim 4.11’de verilmiştir.



Resim 4.11. Otoklav hazırlık görünümü

Parçalar kullanılan prepreg ve epoksinin özellikleri göz önüne alınarak 2.9 bar basınç ve 179 °C bekleme sıcaklığında otoklava alınmıştır. Kütleme işlemi otoklava 125 dakika bekleme süresi olmak üzere toplamda yaklaşık 7,5 saatte tamamlanmıştır. Parçaların sıcaklığı otoklavdaki soğuma aşamasında 20°C'ye düşmüştür. Otoklav işlemi boyunca sızma veya kaçak sorunu yaşanmamıştır.

Numunelere uygulanan otoklav işlemlerine ait detaylı reçete EK-1'de verilmiştir.

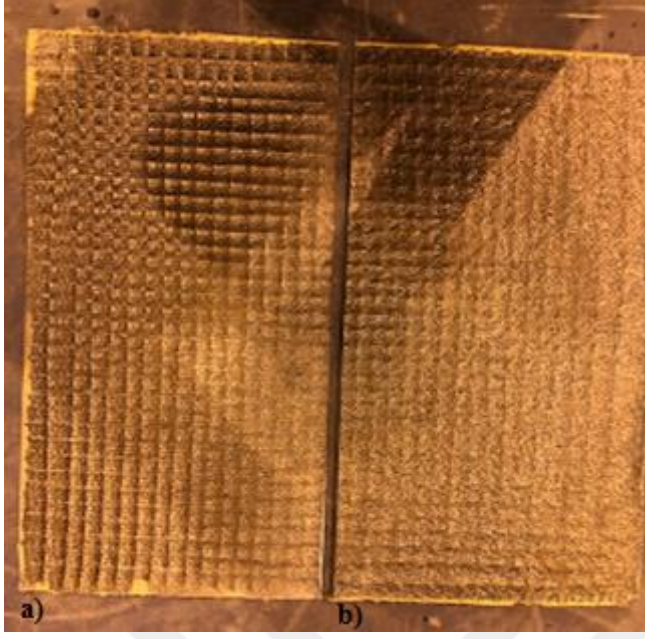
Otoklav sürecine ait aşamaların zamana bağlı değişimi EK-2'de verilmiştir.

Materyal metot bölümünde planlanan ile gerçekleştirilen süreç arasında otoklav aşaması sonrası elde edilen ürünlerde herhangi bir problem tespit edilmemiştir. Otoklav aşamasına ait grafik EK-3'te verilmiştir.

Otoklavdan çıkarılan parçaların görünüşleri Resim 4.12 ve Resim 4.13'de verilmiştir.



Resim 4.12. Numune-1 görünümü



Resim 4.13. (a) Numune-2 (b)Numune-3 görünümü

4.3. Deney Numunelerin Hazırlanışı

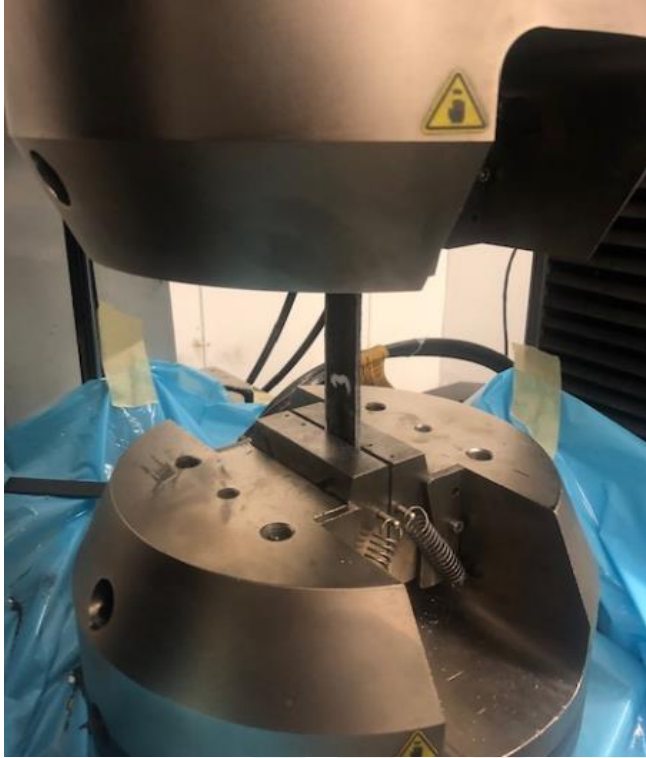
Üretilen parçalardan eğilme ve çekme testleri için 5'er adet olmak üzere toplamda 30 adet test numunesi daire testere ile kuru kesim yapılarak alınmıştır.

Numunelere uygulanan mekanik testler sırasında hatalı uygulama sonucunda elde edilen deney verileri çıkarılarak ortalama 3'er adet numune için deney verileri elde edilmiştir. Test numunelerine uygulanan testler sırasında parçaların kalınlıklarının farklı olması nedeni ile farklı testler uygulanmış ve bu deneme sırasında testlerde dahil edilemeyecek veriler elde edilmiş, ortalama verilere etkisi yansıtılmamıştır.

Çekme ve eğilme testleri için Resim 4.14 ve Resim 4.15'te görselleri verilen INSTRON marka 5960 serisi test cihazı kullanılmıştır.

4.4. Çekme Deneyi

Çekme testleri EN 2561 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Numuneler standartlara uygun boyutlarda elde edilmiştir. Numunelere ait kalınlık değerleri, teste tutulacak numuneler üzerinden en az 3 noktadan yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çekme testi standartları gereği parçalara uygulanan hız 2 mm/dk'dır.

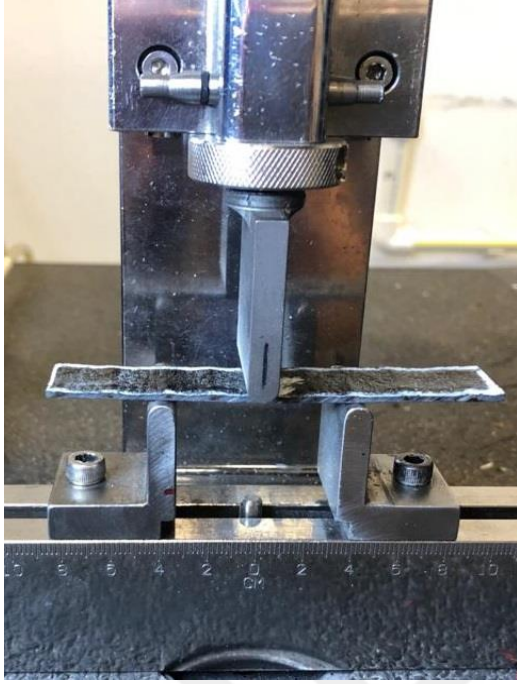


Resim 4.14. Çekme deneyinin yapılışı

4.5. Eğilme Deneyi

Numunelere aynı standartlarda kuvvet uygulandığında kalınlıkların farklı olması nedeni ile uygulanan kuvvetlerin boşa düştüğü görülmüştür. Bu nedenle numunelerin malzeme özelliklerine ve kalınlıklarına uygun, farklı standarttaki testler uygulanmıştır. Eğilme testlerinde Numune-1 ve Numune-2'ye ASTM D2344 standartlarında test uygulanırken, Numune-3'e ASTM D790 standartlarında test uygulanmıştır. Her iki test metodu da polimer esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak tercih edilen test metotlarıdır. Numune-1 ve Numune-2'de kalınlığın daha az olması nedeni ile ASTM D790 testinde süneklik özelliği göstermeleri sonucu test verileri doğru elde edilememiştir. Bu nedenle farklı iki test standardı uygulanmıştır. Standartlara uygun olarak numunelere 1 mm/dk hız ile kuvvet ve çekme yükü uygulanmıştır.

Eğilme testleri keten ipliklerin oluşturduğu omurganın tarafından ve keten iplikleri üzerinden uygulanmıştır.



Resim 4.15. Eğilme deneyinin yapılışı

4.6. Ağırlık Analizi

Numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Kullanılan hassas terazinin görseli Resim 4.16’da verilmiştir. Ağırlık ölçümleri için her üç parçadan da eşit boyutlarda numuneler alınmıştır. Numunelerin boyutları 90 mm × 35 mm olarak belirlenmiştir.



Resim 4.16. Ağırlık ölçümü

4.7. Porozite Oranları

Gözeneklilik anlamına da gelen porozite ürünün mukavemetini etkileyen parametrelerden biridir. Porozite, kompozit malzemelerde de reçine ve fiber arasındaki yapışmanın yeterli oranda sağlanamaması halinde sıkça karşılaşılan durumlardandır ve malzemenin mukavemetini önemli oranda etkilemektedir.

Porozite oranı Eş. 4.1’de verildiği gibi boşluk hacminin, toplam hacime oranından elde edilmektedir.

$$n = V_{\text{boşluk}} / V_{\text{toplam}} \quad (1)$$

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin porozite oranlarının yaklaşık olarak belirlenebilmesi için aynı uzunluktaki örnek parçaların kesit alanları mikroskop altında incelenmiştir. Numunelere ait mikroskop görüntüleri Resim 4.17, Resim 4.18 ve Resim 4.19’da verilmiştir.



Resim 4.17. Numune-1 mikroskop görünümü



Resim 4.18. Numune-2 mikroskop görünümü

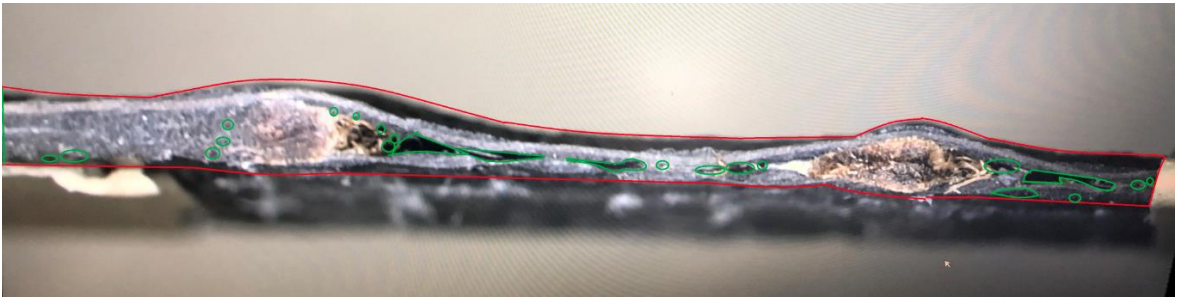


Resim 4.19. Numune-3 mikroskop görünümü

Mikroskop altındaki görüntülerde kesit alanın çevresi kırmızı renk, kesit alanında görülebilen boşluklar ise yeşil renk ile işaretlenmiştir. Belirlenebilen boşluklar Resim 4.20, Resim 4.21 ve Resim 4.22’de yer almaktadır.



Resim 4.20. Numune-1 kesit görünümü

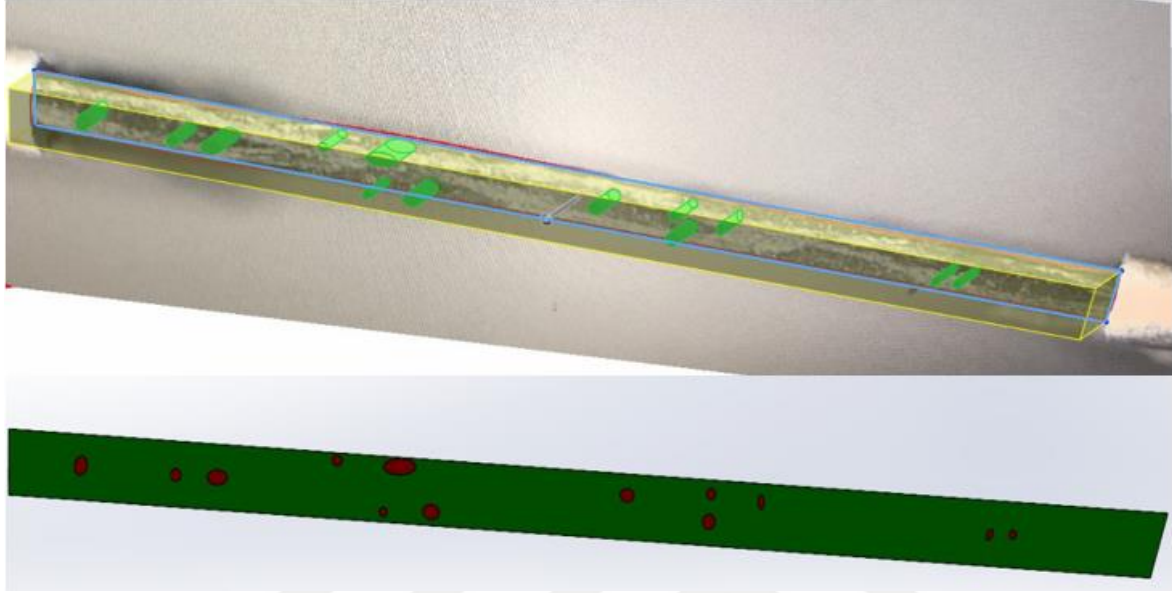


Resim 4.21. Numune-2 kesit görünümü

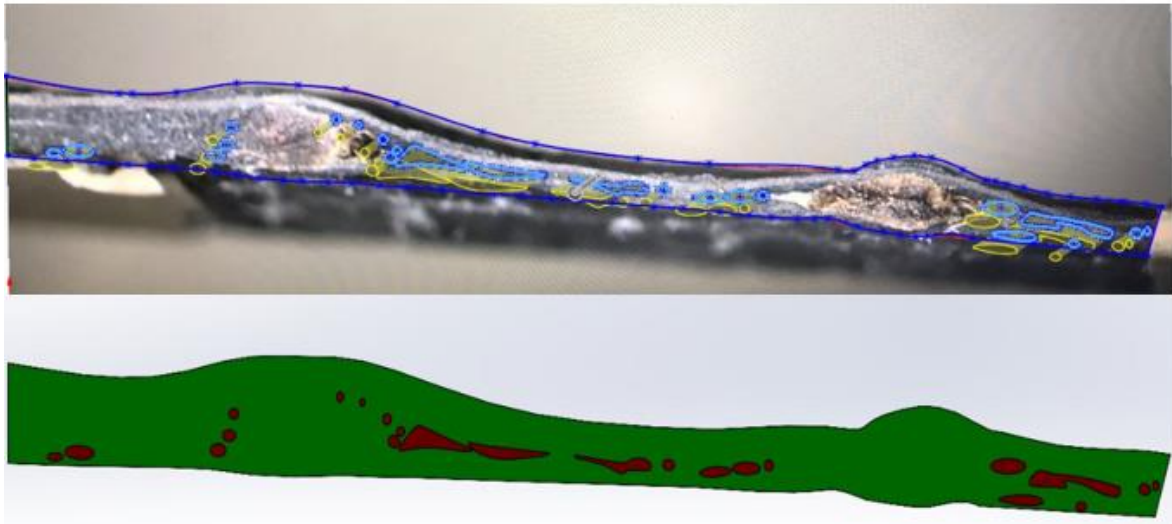


Resim 4.22. Numune-3 kesit görünümü

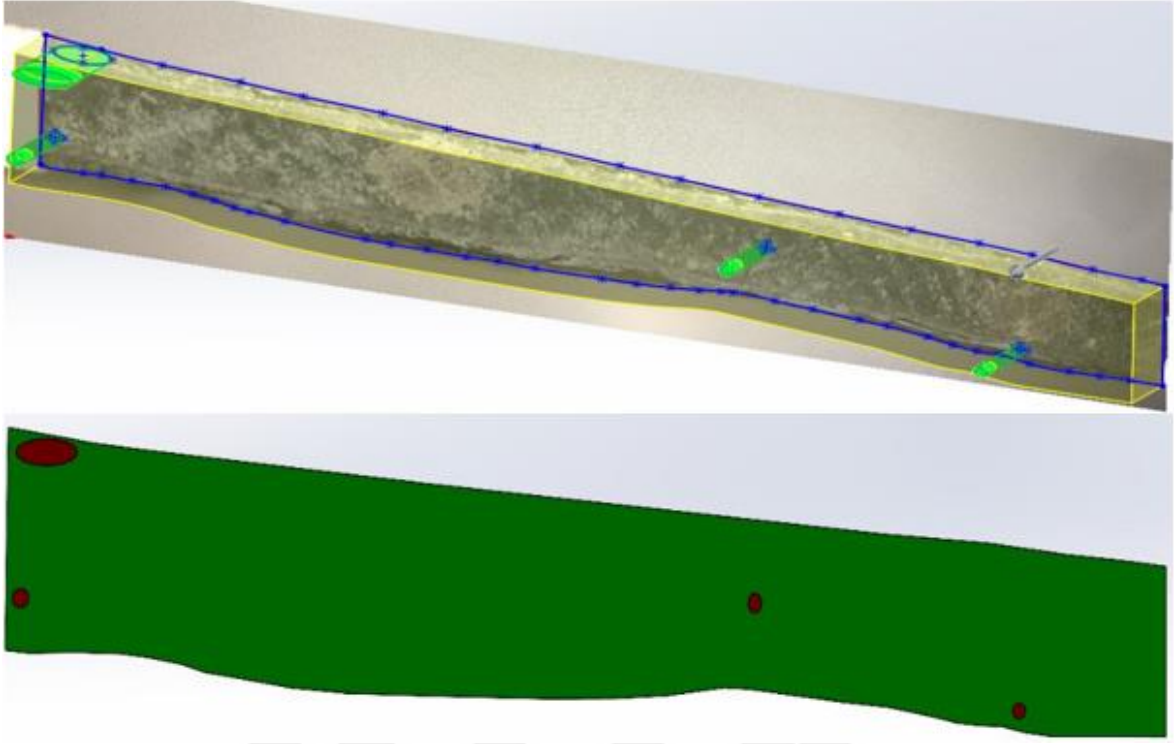
Numunelere ait kesit alanlarının Solid Works programı ile katı modelleri hazırlanmış, kesit alanı ve boşluk alan bilgileri çıktı olarak elde edilmiştir. Resim 4.23, Resim 4.24 ve Resim 4.25’de program görüntüleri mevcuttur.



Resim 4.23. Numune-1 katı model görünümü



Resim 4.24. Numune-2 katı model görünümü



Resim 4.25. Numune-3 katı model görünümü

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Prepreg, epoksi reçine ve keten iplikten oluşturulan 3 farklı kombinasyon ile üretilen parçalara mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve parçalar arası mekanik özelliklerin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için çekme ve eğilme deneyleri uygulanmıştır.

5.1. Çekme Testi

Uygulanan çekme testi sonrasında Numune-1'in en fazla dayandığı kuvvet 4786,2 N çıkarken Numune-2'de bu değer ortalama olarak 2251,6 N ve Numune-3'te ise ortalama olarak 5305,8 N çıkmıştır.

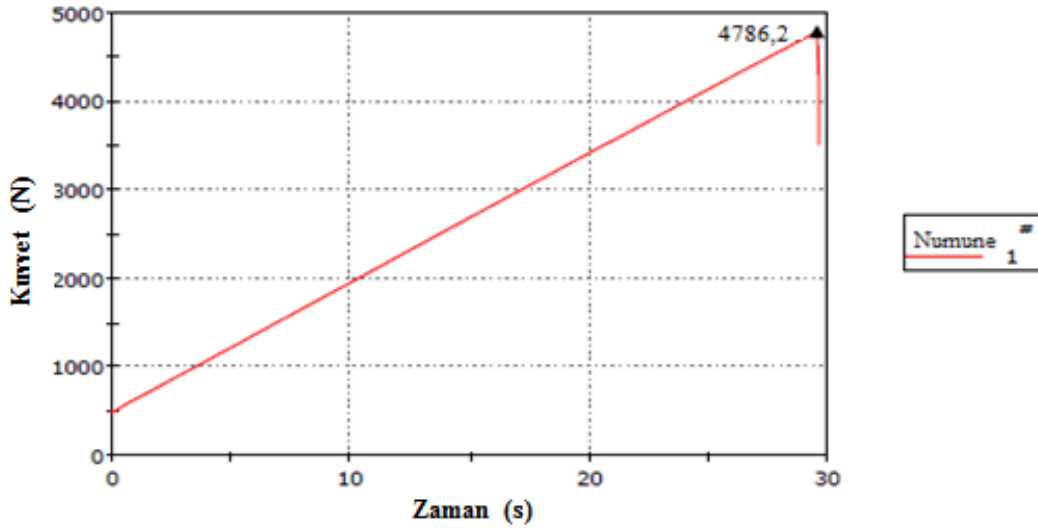
Hazırlanan numunelere yapılan çekme deneyi sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çekme deneyi sonuç tablosu

Deney Numunesi	Genişlik [mm]	Kalınlık [mm]	En Yüksek Kuvvet [N]
Numune-1	27,5	0,53	4786,2
Numune-2	25,5	0,6	2160,9
	25,1	0,7	1957,2
	26,9	0,55	2636,7
Ortalama			2251,6
Numune-3	31,3	2,1	5950,3
	25,2	2	4882,0
	25,2	2,15	5085,0
Ortalama			5305,8

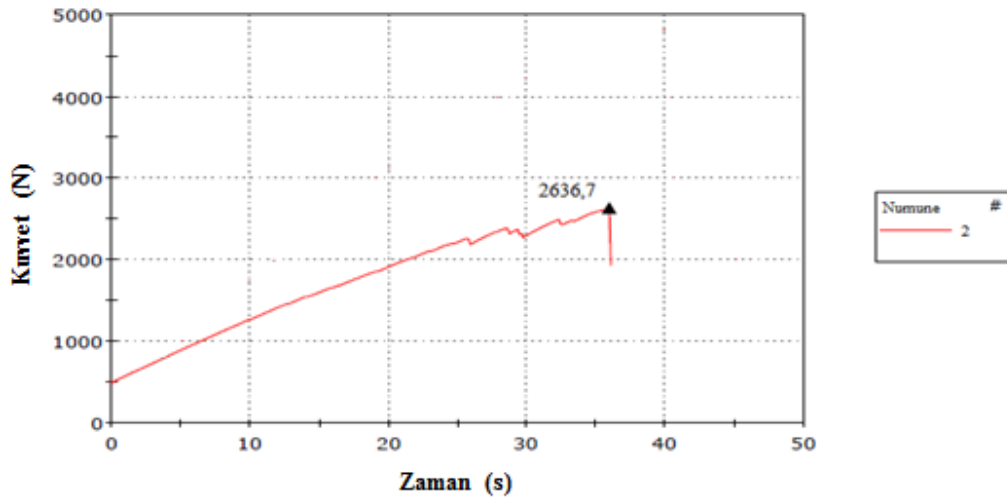
Numunelerin çekme testlerine ait kuvvet-zaman grafikleri aşağıda verilmiştir.

Numune-1'in iki kat prepregten üretilmesi sonucu kalınlığının az olması nedeni ile testler esnasında test düzeneğinin çenelerinde kayma meydana gelmiştir. Sonuç alınabilen testlere göre Numune-1 için ortalama dayanabileceği en yüksek kuvvet Şekil 5.1'de verildiği gibi 4786,2 N olarak gözlemlenmiştir.

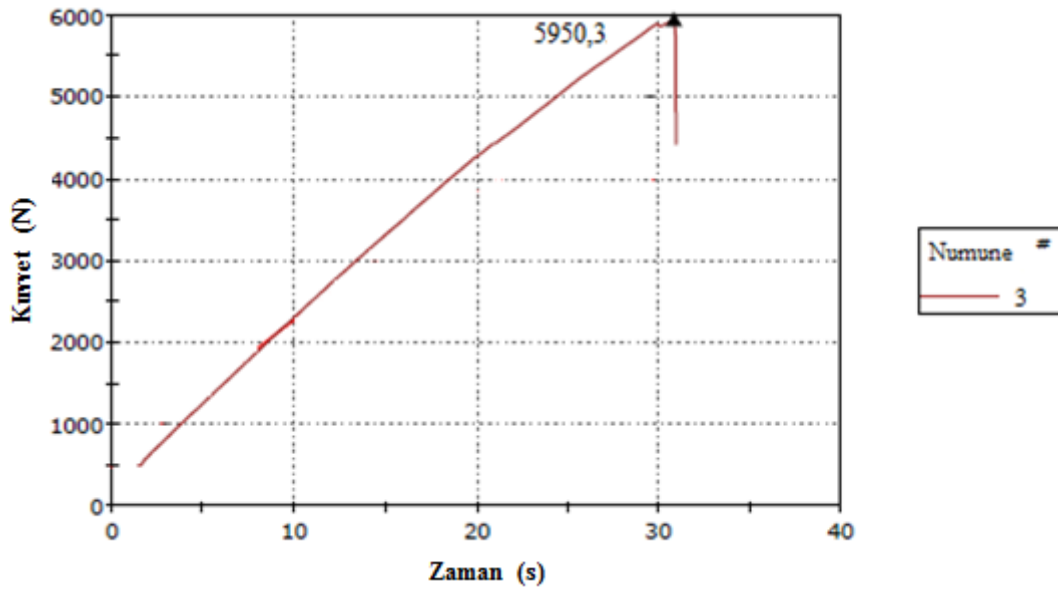


Şekil 5.1. Numune-1 çekme test grafiği

Numune-2 için yapılan ilk çekme test sonucu dayanabileceği en yüksek kuvvet Şekil 5.2'de görüleceği gibi 2636,77 N olarak kaydedilirken, %125,67 artış ile Numune-3 için kaydedilen kuvvet Şekil 5.3'te görüleceği gibi 5950,32 N'dur.

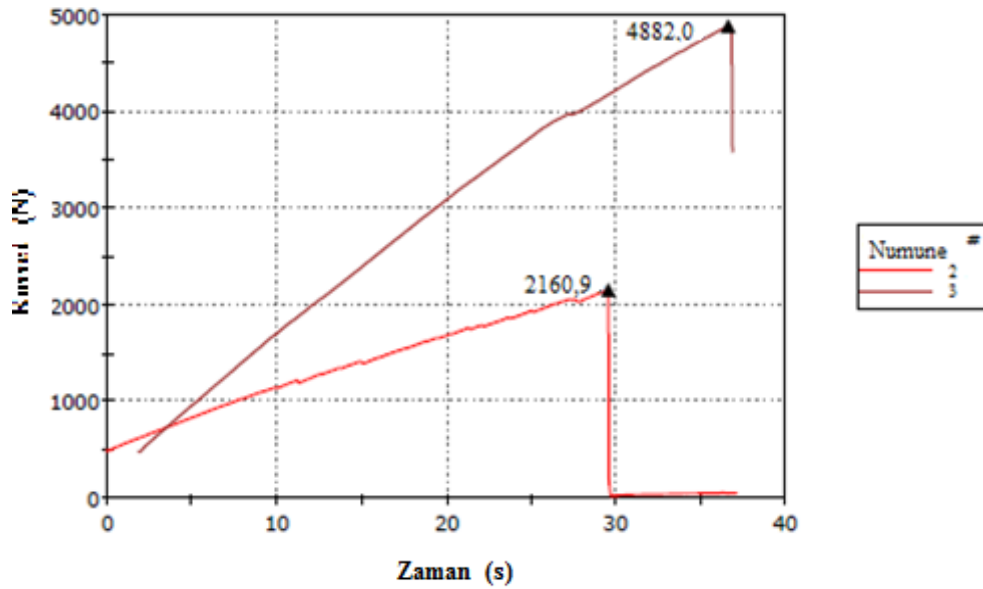


Şekil 5.2. Numune-2 çekme test grafiği



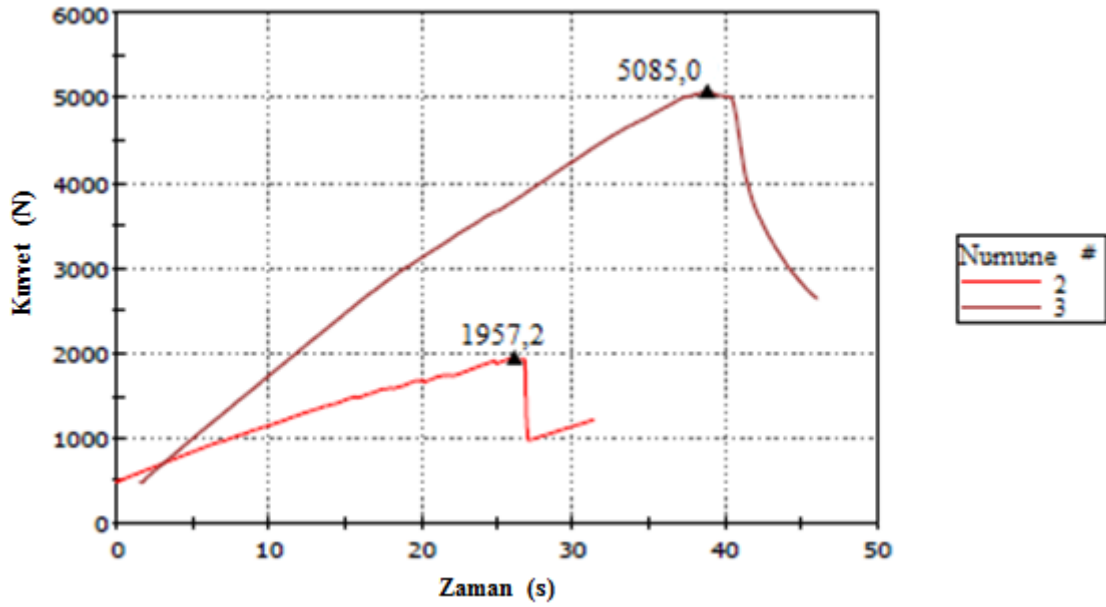
Şekil 5.3. Numune-3 çekme test grafiği

Sonraki uygulanan çekme testlerinde sonuç grafikleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te Numune-2 ve Numune-3 için aynı grafiklerde verilmiştir. Yapılan ikinci çekme testinde Numune-3 için 4882,0 N elde edilirken, Numune-2 için %55,7 azalış ile 2160,9 N elde edilmiştir.



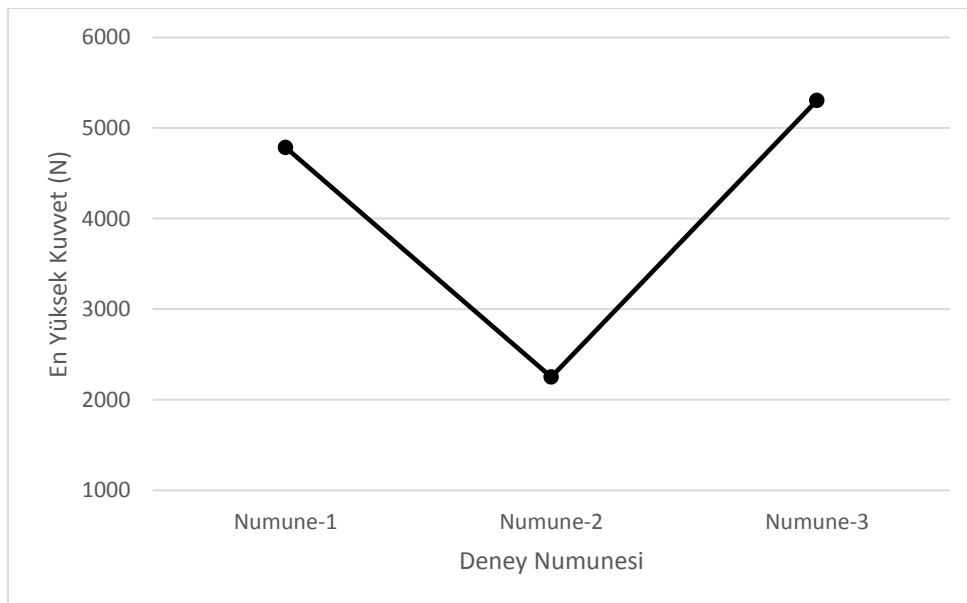
Şekil 5.4. Numune-2 ve Numune-3 çekme test grafiği-1

Uygulanan diğ er bir çekme testinde keten örgü takviyeli Numune-2 için dayanabileceği en yüksek kuvvet değeri 1957,2 N çıkarken, epoksi reçine ilaveli Numune-3 için en yüksek kuvvet değeri %159,8 artış ile 5085,0 N çıkmıştır.



şekil 5.5. Numune-2 ve Numune-3  ekme test grafiği-2

Numunelere uygulanan çekme testi sonrası ortalama değerlere bakıldığında şekil 5.6'da da görüleceği gibi, Numune-1 için en yüksek dayandığı kuvvet 4786,2 N iken Numune-2'de %53 azalış ile 2251,6 N, Numune-3'te ise %10,8 artış ile 5305,8 N elde edilmiştir.



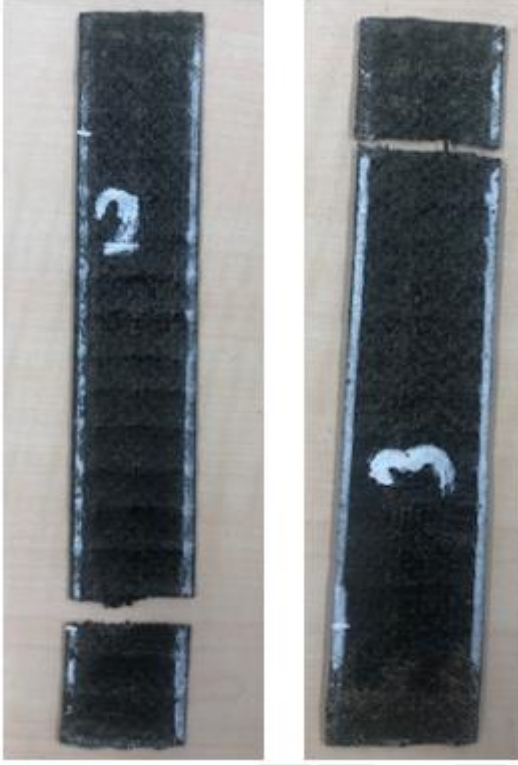
şekil 5.6. Deney numuneleri ortalama çekme test sonuç grafiği

Numune-1’de sadece prepreglerin çekme dayanımları söz konusudur. Prepreglerin içerisinde bulunan reçine sayesinde lamineler arasında yapışma sağlanmıştır. Birçok sektörde uygulandığı hali ile ek bir reçine takviyesi yapılmamasına rağmen çekme dayanımı oldukça iyi değerlere sahiptir. Prepreglere reçine verme işlemi önceden yapıldığı için kuru kalma gibi durumlar söz konusu olmadığından testlerde mukavemet kaybına rastlanmamıştır.

Numune-2’de prepregler arasına örgülü keten yerleştirildiğinde çekme dayanımında azalma gözlenmiştir. İlave epoksinin kullanılmaması ile örgünün prepreg ile temas ettiği noktalarda, prepreg içerisindeki epoksiden yoksun bölgeler, boşluklar bulunduğu için mukavemet değerlerinde düşüşler görülmektedir. Numune-2’nin bahsi geçen boşluklar nedeni ile numunenin porozitesi yüksektir ve porozite oranı ürünün mukavemeti fazlasıyla etkileyen bir parametredir. Bu noktalarda yeterince ıslanma gerçekleşmediği ve kuru bölgelerin sık bulunması nedeni ile mukavemetin azaldığı düşünülmektedir.

Yerleştirilen örgü ile keten arasına ek epoksinin ilave edilmesi ile üretilen Numune-3’te ise en yüksek çekme dayanımı gözlenmiştir. Epoksinin de ilave edilmesi ile kuru yerlerde yeterince ıslanma görünmüş, epoksi numunenin her bölgesine nüfuz etmiş ve yeterli yapışma sağlanmıştır. Keten ipliğinin de takviyesi ile çekme dayanımı Numune-3’te en yüksek değerlere erişmiştir.

Çekme testlerine tabi tutulan numunelerin test sonrası örnek görüntüleri Resim 5.1’de verilmiştir. Numunelerdeki deformasyon ve kopma noktalarının, ürünün cihaza tutturulduğu çenelerin çevresindeki bölgelerde olduğu görülmüştür.



Resim 5.1. Çekme deneyi sonrasına örnekler

5.2. Eğilme Testi

Uygulanan eğilme testi sonrasında Numune-1'in en yüksek dayandığı kuvvet 161,4 N çıkarken Numune-2'de bu değer ortalama olarak 649,6 N, Numune-3'te ise ortalama olarak 338,6 N çıkmıştır. Numune-1'in yapılan ilk eğilme test sonucunda dayanabileceği en yüksek kuvvet 161,4 N olarak kaydedilirken, Numune-2'de bu değerler Numune-1'in 4,5 katı, Numune-3'ün değeri ise Numune-1'in 2,3 katıdır.

Kompozitlerin imalatında kullanılan keten ipliği takviyesi malzemeyi kayma gerilmelerine karşı güçlendirmiştir. Alt ve üst prepregler arasında mesafe oluşturarak malzemeye destek sağlamış ve kompozit malzemenin eğilme rijitliğini arttırmıştır.

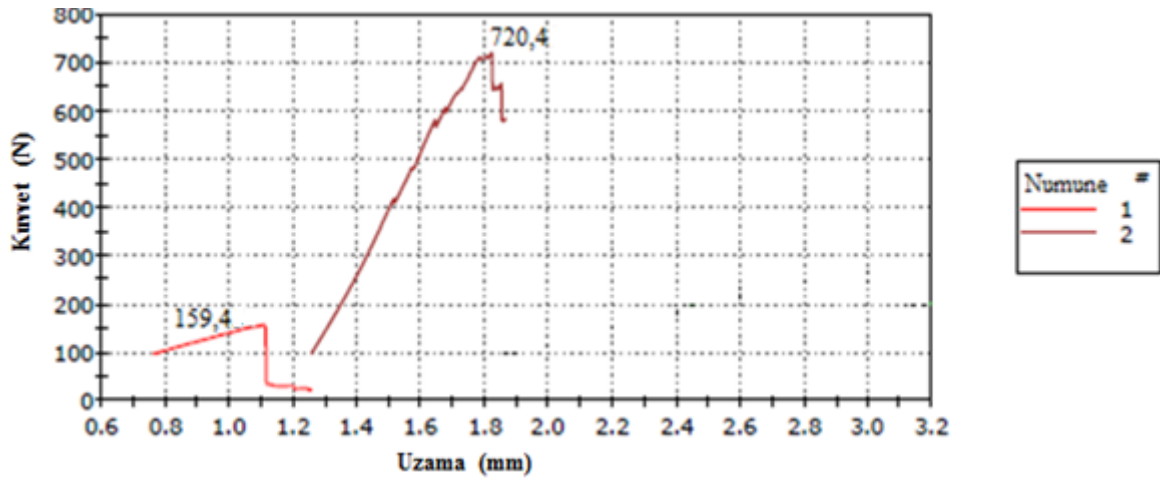
Hazırlanan numunelere yapılan eğilme deneyi sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Eğilme deneyi sonuç tablosu

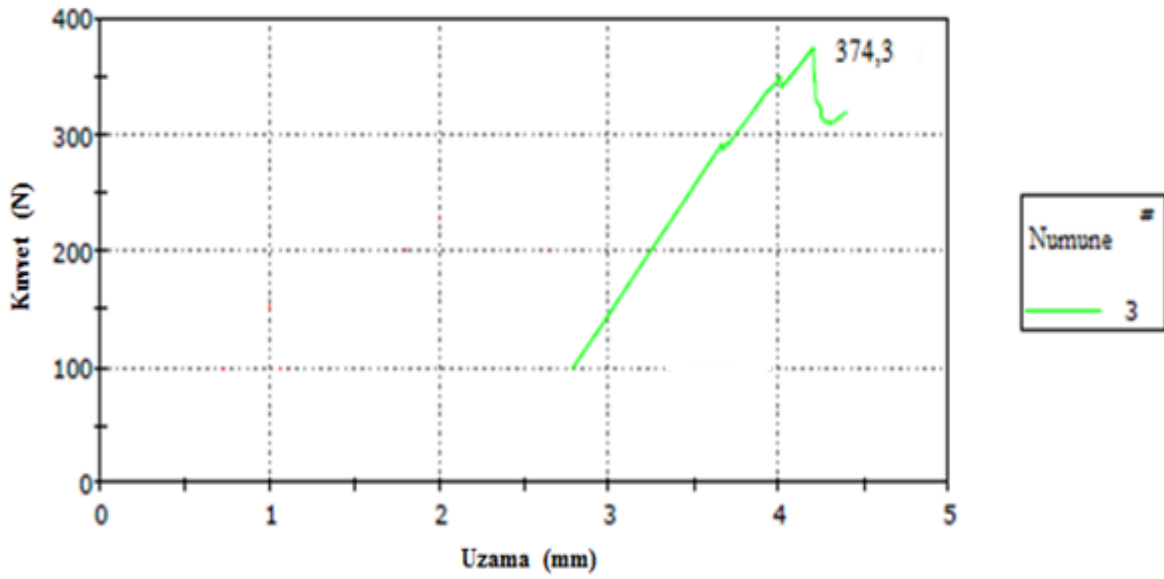
Deney Numunesi	Genişlik [mm]	Kalınlık [mm]	En Yüksek Kuvvet [N]
Numune-1	11,5	0,5	163,3
	11,1	0,4	159,4
	11,3	0,4	161,3
Ortalama			161,4
Numune-2	10	2	655,8
	13	1,1	720,4
	13,1	1,4	572,6
Ortalama			649,6
Numune-3	13,3	2	324,2
	15,1	1,8	374,3
	12,7	2	317,1
Ortalama			338,6

Numunelerin eğilme testlerine ait kuvvet-uzama grafikleri Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.

Numune-1'in yapılan ilk eğilme test sonucunda dayanabileceği en yüksek kuvvet 159,4 N olarak kaydedilirken, Numune-2'de bu değer Numune-1'in 4,5 katı, Numune-3'ün değeri ise Numune-1'in 2,3 katıdır.

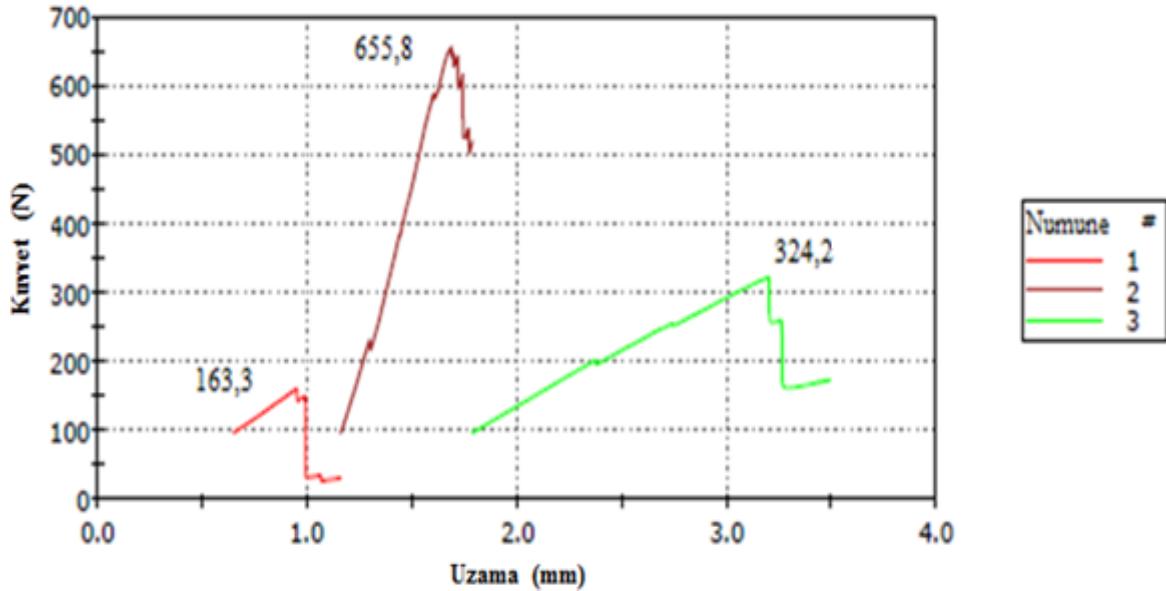


Şekil 5.7. Numune-1 ve Numune-2 eğilme test grafiği



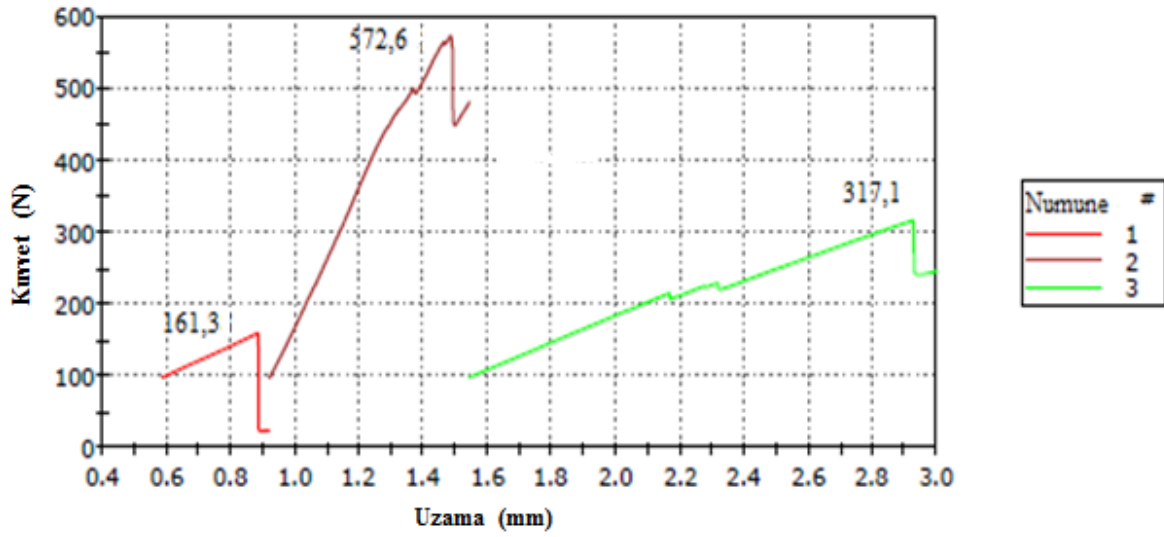
Şekil 5.8. Numune-3 eğilme test grafiği

Yapılan ikinci eğilme testinde dayanabileceği en yüksek kuvvet Numune-1 için 163,3 N elde edilirken, Numune-2 için %301,4 artış ile 655,8 N, Numune-3 için %98,4 artış ile 324,2 N elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Numune-1,2,3 eğilme test grafiği-1

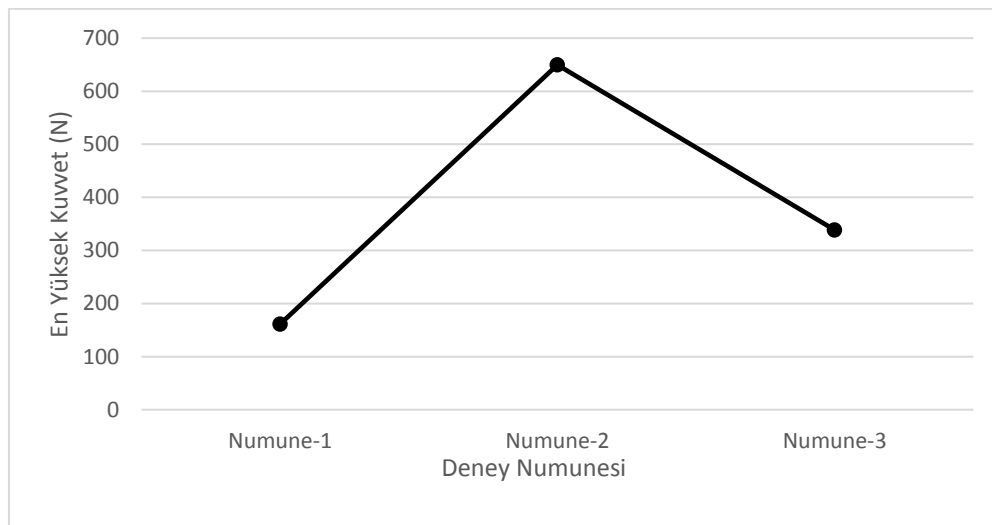
Uygulanan diğer bir eğilme testinde keten örgü takviyeli Numune-2 için dayanabileceği en yüksek kuvvet değeri 572,6 N çıkarken, epoksi reçine ilaveli Numune-3 için en yüksek kuvvet değeri %44,6 azalış ile 317,1 N, sadece prepregten üretilen Numune-1 için %71,8 azalış ile 161,3 N çıkmıştır.



Şekil 5.10. Numune-1,2,3 eğilme test grafiği-2

Numunelere uygulanan eğilme testi sonrası ortalama değerlere bakıldığında, Numune-1 için en yüksek dayandığı kuvvet 161,4 N iken Numune-2’de %302,4 artış ile 649,6 N, Numune-3’te ise %109,7 artış ile 338,6 N elde edilmiştir.

Prepreg arasına keten örgü yerleştirilerek üretilen Numune-2’nin dayanabileceği kuvvet en yüksek çıkarken, yalnız prepregten üretilen Numune-1’de ise en düşük kuvvet değeri gözlemlenmiştir. Deney numunelerine ait ortalama eğilme test sonuçları Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Deney numuneleri ortalama eğilme test sonuç grafiği

Numune-1’de yalnız prepreglerin eğilme dayanımı söz konusudur. Prepreglerin içerisindeki

reçineler sayesinde elde edilen ürün iki boyutta yüksek çekme dayanımına sahipken, ürünün eğilme performansı diğer kombinasyonlara oranla düşüktür.

Numune-2’de prepregler arasına yerleştirilen örgülü keten takviyesi ile eğilme performansı yüksek değerlere ulaşmıştır. Deney esnasında tüm numunelere örgünün temas ettiği noktalardan test uygulanmıştır. Keten örgünün sağladığı dayanım ile birlikte üretimi gerçekleştirilen 3 farklı kombinasyona ait en yüksek eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Numuneler test esnasında sünek davranış sergilemişlerdir. Çekme deneyinde dezavantaja neden olan kuru olan ve iyi yapışmamış bölgelerin etkisinin eğilme deneyinde yüksek olmadığı düşünülmektedir. Çalışmanın ana amaçlarından olan keten örgülü takviye elemanının eğilme üzerindeki etkisi beklenildiği gibi yüksek çıkmıştır.

Numune-3’te ilave edilen epoksinin eğilme performansında düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Malzemenin gevrekliği artmışken tokluk değeri düşmüştür. Bu nedenle test numuneleri sünek davranış sergilemeden diğer numunelere göre daha kısa sürede, Numune-1’e göre daha yüksek değerlerde kırılmıştır.

Eğilme testlerine tabi tutulan numunelerin test sonrası örnek görüntüleri Resim 5.2’de verilmiştir. Numunelerdeki deformasyonun ürünün orta bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Resim 5.2. Eğilme deneyi sonrasına örnekler

5.3. Ağırlık Analizi

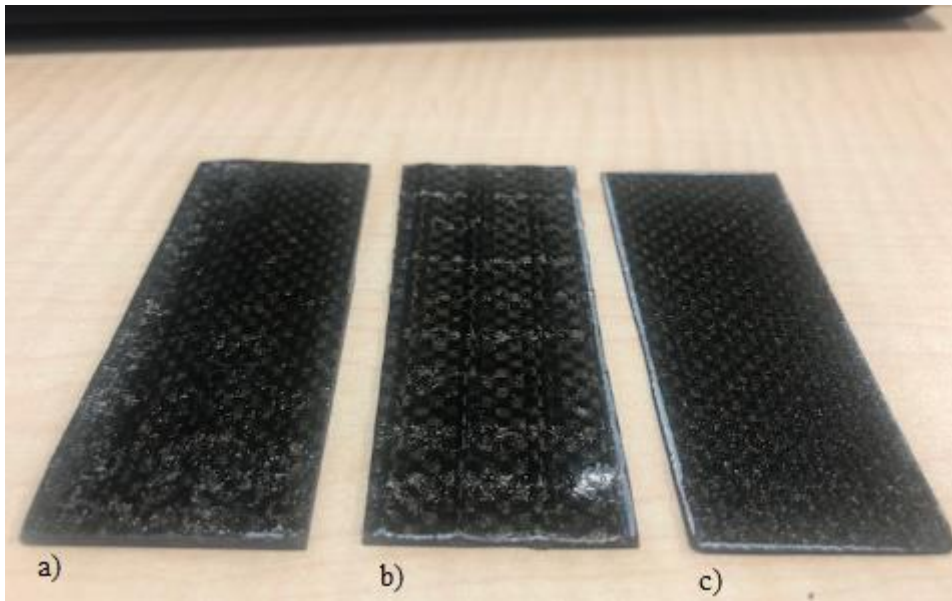
İki katlı prepreg ile üretilen Numune 1'in ağırlığı 2,05 g, ketenin ilave edilmesi ile üretilen Numune 2'nin ağırlığı 3,62 g olarak ölçülmüşken epoksinin ilave edilmesi ile üretilen Numune 3'te ise en yüksek değer olan 7,98 g ölçülmüştür.

Hassas terazide yapılan ağırlık ölçümleri numuneler için ortalama olarak Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ağırlık ölçüm sonuç tablosu

	Deney Numuneleri		
	Numune-1	Numune-2	Numune-3
Ortalama Ağırlık (gr)	2,05	3,62	7,98

Numune-1'e ait ortalama kalınlık değeri 0,48 mm, Numune-2 için 1,06 mm ve Numune-3 için ortalama kalınlık değeri 2,005 mm'dir. Numune-3'te ek ilavenin kullanılması ile kalınlığı en fazla olan ürün olmuştur. Resim 5.3'te kalınlıklara ait görünüm vermiştir.



Resim 5.3. (a) Numune-3 (b) Numune-2 (c) Numune-1 kalınlık görünümü

5.4. Maliyet Analizi

Numunelerin alt malzemeleri olan prepreg, epoksi reçine karışımı ve keten ipliğinin birim maliyetleri ile kullanılan miktarları göz önüne alınarak tüm numuneler için ortalama maliyet tutarları hesaplanmıştır. Ortalama tutar tablosu Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Maliyet analiz tablosu

		Deney Numuneleri		
		Numune-1	Numune-2	Numune-3
Prepreg	Toplam (m ²)	0,061	0,061	0,061
Keten	Miktar (m)	-	11,9	11,9
Epoksi	Miktar (g)	-	-	15
Toplam Maliyet (USD)		73,32	73,44	89,06

Numune 1 için toplam maliyet 73,32 \$ olarak hesaplanırken Numune 2 için bu tutar %0,16 artış ile 73,44 \$ olarak hesaplanmıştır. Epoksinin ilave edilmesi ile Numune 3'ün ortalama maliyeti %21,46 artış ile 89,06 \$ olarak bulunmuştur.

Maliyet analiz tablosunda malzemelerin firmadan temin edilmesi nedeni ile birim fiyatları değil uygulanan miktarları baz alınarak toplam maliyetler verilmiştir. Toplam maliyetlere işçilik dahil edilmemiştir.

5.5. Porozite Oranları

Malzemelerin mukavemetlerini etkileyen parametrelerden biri olan porozite oranları incelendiğinde Numune-3'te epoksinin kullanılması ile en düşük porozite oranı elde edilirken en yüksek oran Numune-2'de elde edilmiştir.

Numune-2'deki çekme mukavemetinin azalma nedenlerinden biri olarak porozite oranının yüksek olması düşünülmektedir.

Numunelerin kesit alanları üzerinden elde edilen porozite oranları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Porozite oranları tablosu

	Deney Numuneleri		
	Numune-1	Numune-2	Numune-3
Kesit Alanı (mm ²)	276716,9	320753,9	362271,1
Toplam Boşluk Alanı (mm ²)	6840	21874,7	3123
Porozite Oranı (%)	2,47	6,82	0,86

Çalışmada numunelere uygulanan çekme, eğilme testleri, yapılan maliyet, ağırlık analizlerinin sonuçları ve porozite oranları karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Sonuç tablosu

		Numune-1,2	Numune-1,3	Numune-2,3
Numuneler	Çekme Mukavemeti [N]			
1	4786,2	▼ %53	▲ %10,86	▲ %135,64
2	2251,6			
3	5305,8			
	Eğilme Mukavemeti [N]			
1	161,4	▲ %302,48	▲ %109,78	▼ %47,88
2	649,6			
3	338,6			
	Ağırlık [g]			
1	2,05	▲ %76,58	▲ %289,27	▲ %120,44
2	3,62			
3	7,98			
	Maliyet [USD]			
1	73,32	▲ %0,16	▲ %21,46	▲ %21,27
2	73,44			
3	89,06			
	Porozite Oranı [%]			
1	2,47	▲ %176,11	▼ %65,18	▼ %87,39
2	6,82			
3	0,86			



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada karbon elyaf kompozit malzeme üretiminde 10 mm aralıklı gözenek yapıda keten malzeme takviyesi yapılarak yeni bir kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Üretilen numuneler çekme ve eğilme testlerine tabi tutularak keten kompozit takviyesinin etkisi araştırılmıştır.

Keten takviyesinin kompozit malzemeler üzerindeki etkisini inceleyen çalışmada; Numune-1 için yalnız iki katman prepreg ile lamine üretilmiştir, Numune-2’de ise iki prepreg arasına 10 mm adımı sahip örgülü keten yerleştirilmiştir. Numune-3’te ise prepreg arasına yerleştirilen örgülü keten epoksi ile güçlendirilmiş ve epoksi uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonrası elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Numune-1’e ait ortalama kalınlık değeri 0,48 mm, Numune-2 için 1,06 mm ve epoksinin ilave edilmesi nedeni ile Numune-3 için ortalama kalınlık değeri 2,005 mm’dir. Numune-3 deneylerde kullanılan kalınlığı en fazla olan ürün olmuştur

İki kat prepregten üretilen Numune-1’in ağırlığı 2,05 g olarak ölçülürken, keten örgünün ilavesi ile Numune-2’de bu değer %76,5 artış ile 3,6 g ölçülmüştür. Numune-3’te ise ağırlık 7,9 g olarak bulunmuştur.

Yalnız prepreglerden üretilen Numune-1’in üretim maliyeti 73,32 \$ iken Numune-2’nin maliyeti %0,16 artış ile 73,44 \$, epoksinin ilave edildiği Numune-3’ün maliyeti ise %21,47 artış ile 89,06 \$ olarak hesaplanmıştır.

Keten ipliksiz iki kat prepregten üretilen numunenin çekme testindeki en yüksek dayandığı kuvvet 4786,2 N iken Numune-2’de yüksek porozite kaynaklı %53 azalış ile 2251,6 N, Numune-3’te ise %10,8 artış ile 5305,8 N olarak elde edilmiştir.

Numune-1 için gerçekleştirilen eğilme testinde en yüksek dayandığı kuvvet 161,4 iken Numune-2’de %302,4 artış ile 649,6 N, Numune-3’te ise %109,8 artış ile 338,6 N olarak ölçülmüştür.

Numune-3'te epoksinin kullanılması ile en düşük porozite değeri olan %0,86, Numune-1'de %2,47 ve en düşük çekme mukavemeti değerinin elde edildiği Numune-2'de ise en yüksek değer olan %6,82 elde edilmiştir.

Uygulanan testler sonrası biyo-tabanlı ve preprege ve balpeteğine göre nispeten uygun fiyatlı olan ketenin takviye edilmesi sonrası eğilme performansında artış gözlemlenmiştir.

Epoksinin ilave edilmesi sonrası çekme testlerinde uygulanabilir kuvvet değeri en yüksek çıkmıştır. Epoksisiz keten iplikli numunede karbon elyafın kuru kalmasından dolayı en düşük kuvvet değeri elde edilmiştir.

Numune-2'de Numune-1'den farklı olarak ilave edilen keten örgüsünün toplam maliyet üzerindeki etkisi oldukça düşükken malzemenin eğilme performansına etkisi oldukça yüksektir. Ketenin kompozit malzemede takviye elemanı olarak, eğilme kuvvetlerine maruz kaldığı bölgelerde kullanılması ürünün maliyetini kayda değer tutarda arttırmayacak fakat ürüne eğilme mukavemeti sağlayacaktır.

İkincil takviye elemanı olan keten malzemesi oluşturulan malzemenin direncini arttırmasının yanı sıra iki yüzey arasındaki mesafeyi koruyarak malzemenin eğilme rijitliğini de arttırmıştır.

Eğilme testlerinde düşük ataletli Numune-1 beklendiği gibi en düşük eğilme performansını vermiştir. Epoksili numunede eğilme testlerinde bir artış olmasına rağmen, aşırı epoksinin malzemeye verdiği gevreklikten dolayı beklenen performansı gösterememiştir. En yüksek eğilme mukavemetini ise epoksisiz keten takviyeli numune göstermiştir.

Keten malzemesi oluşturulan malzemenin direncini arttırmasının yanı sıra iki yüzey arasındaki mesafeyi koruyarak malzemenin eğilme rijitliğini de arttırmıştır.

Keten ipliğinin malzemenin performansını arttırması sonucu kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışma kapsamında uygulanan yöntemlerde değişiklikler yapılarak çalışmanın genişletilmesi mümkündür. Farklı boyutlardaki keten örgülerin üretime dahil edilmesi

sonucu uygun boyut tespit edilebilir. Ağırlığın öneminin daha fazla belirtilmesi adına eşit ağırlıktaki numunelere mekanik testler uygulanabilir. İlave edilen epoksi miktarının, malzemenin mukavemetine etkisi deneysel çalışmalar ile araştırılabilir.





KAYNAKLAR

- Akkuş, H. (2016). *Bal Peteği Yapıların Mekanik Davranışlarının Nano Parçacık Takviyeli Yapıştırıcı Kullanılarak Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bayraktar, Ö. ve GÜldaş, A., (2017). A new approach to fabricate carbon fiber reinforced polymer with roller pre-stretching method and characterization of their mechanical properties. *Polymer Composites*, 40(2), 489-495.
- Bayraktar, Ö. (2016). *Öngerilimli Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Üretimi İçin Sistem Tasarımı, İmalatı ve Kompozit Malzeme Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bekem, A., Ercan, H., Doğu, M. ve Ünal, A. (2011). Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. *6th International Advanced Technologies Symposium*, 475-480.
- Chisholm, N., Mahfuz, H., Rangari, V. K., Ashfaq, A. and Jeelani, S. (2005). Fabrication and mechanical characterization of carbon/SiC-epoxy nanocomposites. *Composite Structures*, 67(1), 115–124.
- Çatak, E. (2007). *Pim Bağlantılı Kompozit Malzemelerde Gerilme Analizi*, Bitirme Projesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Dokur, M.M. (2009). *Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durante, M., Formisano, A., Boccarusso, L., Langella, A. and Carrino, L. (2017). Creep behaviour of polylactic acid reinforced by woven hemp fabric. *Composites: Part B*, 124, 16-22.
- Güldaş, A., Zeyveli, M., Kaya, S. ve Altug, M., (2018). Investigation of rheological and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene. *Material Science and Engineering Technology*, 49, 73-82.
- Günel, H. (2007). *Kompozit Çerçevelerin Doğal Frekanslarının Yapı Boyutlarına ve Fiber Açıklarına Göre Değişiminin İncelenmesi*, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Gündoğan, S., Eren, R. ve Karahan, M. (2009). Üç Boyutlu Dokuma Kumaş Takviyeli Kompozit Yapıların Çekme Mukavemetinin Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2).
- Işık, A. (2008). *Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yükü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- İnternet: Advanced Composite Cluster. URL: <http://accluster.com/kompozit-malzemelerin-yapisi>. Son Erişim Tarihi: 20.06.2021.
- İnternet: Akpınar, S. Kompozit Malzemeler. URL: <https://slideplayer.biz.tr/slide/11648341/> Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.
- İnternet: Ataş, C. Kompozit Mekaniği. URL: <https://docplayer.biz.tr/35201009-Mak-4087-kompozit-malzeme-mekanigi.html>. Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.
- İnternet:Beşergil,B.PMCÜretim Prosesleri.URL:http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_96.html, Son Erişim Tarihi: 18.06.2021.
- İnternet: Cengiz, B.S. (2017). Prepreg. URL: <http://www.turkchem.net/prepreg.html>. Son Erişim Tarihi:19.06.2021.
- İnternet: Eker, A. (2014). Kompozit Malzemeler. URL: <https://docplayer.biz.tr/13799836-Kompozit-malzemeler-04-04-2014-prof-dr-aysegul-akdogan-eker.html>. Son Erişim Tarihi:02.08.2021.
- İnternet: Haberler.com. (2014). URL:<https://www.haberler.com/izmir-in-yeni-gemilerinin-ismi-anketle-belirlendi-6182676-haberi>. Son Erişim Tarihi: 21.06.2021.
- İnternet: İnsapedia (2020). Bal Peteği Kompozit Paneller ve Özellikleri. URL: <https://insapedia.com/bal-petegi-honeycomb-kompozit-paneller-ve-ozellikleri>. Son Erişim Tarihi:30.07.2021.
- İnternet: İşlek,H.(2020).Adım Adım Kompozit. URL: <http://kompozithayalleri.com/takviye-nedir>. Son Erişim Tarihi:15.06.2021.
- İnternet: Kompozit Üretim Yöntemleri. URL: <http://tekstilteknik.blogspot.com/p/kompozit-uretim-yontemleri.html>. Son Erişim Tarihi: 14.06.2021.
- İnternet: Onat, A. (2015). Kompozit Malzemeler. URL: <https://docplayer.biz.tr/12475078-Sakarya-meslek-yuksekokulu-makina-ve-metal-teknolojileri-bolumu-metalurji-programi-kompozit-malzemeler-ders-notu.html>. Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.
- İnternet: Polser. URL: <https://polser.com/tr/ctp/kompozit-nedir>. Son Erişim Tarihi: 10.06.2021.
- İnternet: Prepreg Nedir? URL: <https://malzemebilimi.net/prepreg-nedir.html>. Son Erişim Tarihi:08.06.2021.
- İnternet: Turkchem. Prepreg. (2017). URL: <https://www.turkchem.net/prepreg.html>. Son Erişim Tarihi:09.06.2021.
- İnternet: Uğur, P. Mühendis Ol. URL: <https://www.muhandisol.com/2018/02/23/kompozit-malzemeler-2>. Son Erişim Tarihi: 22.06.2021.

İnternet: Zor, M. Kompozit Malzeme Mekaniği. URL: <https://www.coursehero.com/file/66684191/Kompozitpdf/>. Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.

Kurtuluş, Mehtap, (2020). *Lignoselülozik Materyallerden Termokatalitik İşlemle Suda Çözündürülen Polisakkaritlerin Moleküler Yapılarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Landro, L.D. ve Janszen, G. (2014). Composite with hemp reinforcement and bio-based epoxy matrix. *Composites: Part B*, 67, 220-226.

Madsen, B., Hoffmeyer, P., Thomsen, A.B. and Lilholt, H. (2007). Hemp yarn reinforced composite - I. yarn characteristics. *Composites: Part A*, 38, 2194-2203.

Misnon, M.I., Islam, M.M., Epaarachchii J.A. and Lau, K.T. (2014). Analyses of woven hemp fabric characteristics for composite reinforcement. *Materials and Design*, 66, 82-92.

Özel, D. ve Töre, C. (2007). Kompozit uçak yüzeyinde elektrik iletkenliği. *Mühendis ve Makina*, 48, 2-6.

Saçak, M. (2005). *Polimer teknolojisi*. Ankara: Gazi Kitabevi, 114-278.

Tasdemir, M. Et Al, (2008). Properties of recycled polycarbonate/waste silk and cotton fiber polymer composites. *International Journal of Polymeric Materials*, 57, 797-805.

Tekeli, S. ve Tetik, O. (2007). *Örgülü Kompozit Malzemenin (Glass Epoxy) ANSYS ve ABAQUS ile Gerilme Analizleri ve Deneysel Kırılma Tokluğunun Hesaplanması*. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.

Thomsen, A., Thygesen, A., Bohn, V., Nielsen K.V., Pallesen B. and Jorgensen, M.S. (2006). Effects of chemical–physical pre-treatment processes on hemp fibres for reinforcement of composites and for textiles. *Industrial Crops and Product*, 24, 113-118.

Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R. (2002). Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1).

Vatangül, E. (2008). *Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve ANSYS 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi*, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir.

Yuanjian, T. and Isaac, D.H. (2007). Impact and fatigue behaviour of hemp fibre composites. *Composites Science and Technology*, 67, 3300-3307.

Zhou, Y., Pervin, F., Jeelani, S. and Mallick, P.K., (2008). Improvement in mechanical properties of carbon fabric–epoxy composite using carbon nanofibers. *Journal of Materials Processing Technology*, 198(1-3).





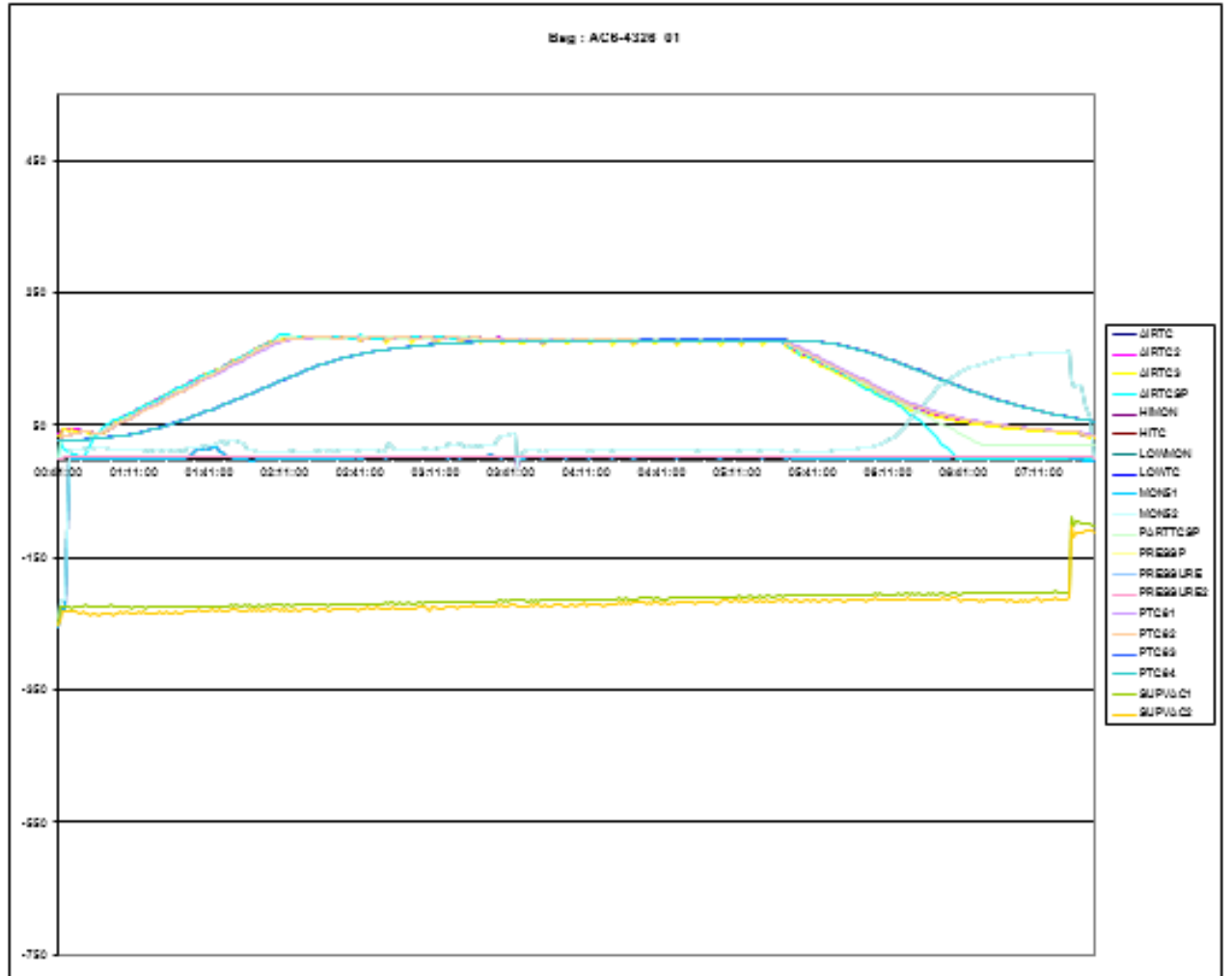
EK-1. Otoklav reçetesi

Tanım	Aşama 1	Aşama 2	Aşama 3	Aşama 4	Aşama 5	Aşama 6	Aşama 7	Aşama 8
Cascade In	50							
Cascade Out	100							
Control TC	HITC					LOTG		
Description	START	BASINÇ	BASINÇ	ISITMA	BEKLEME	SOĞUMA	BASINÇ BOŞALTMA	END
Segment Time					125 M			
Temp. Rate				2	0,1	2		
Temp. Value	CURR			182	179	20		
- Pressure Value	0	2,9					0	
Pressure Rate		0,3					0,5	
Vacuum Value-1	-225		0					
Vacuum Value-2	-225		0					
- W1-Action		GO	GO	GO		GO	GO	
- W1-Criterion		0.7 >	2.8 >	174.5 >		59 <	0.2 <	
- W2-Action								
- W2-Criterion								
Watch Item-1		PRESS	PRESS	LOTG		HITC	PRESS	
Watch Item-2								
Cool Enable	ON							OFF
Fan Enable	ON							OFF
Heat Enable	ON							OFF
Pressure Enable	ON							OFF
Vacuum Line Action	VAC		VENT					OFF
Vacuum Pump-1	ON		OFF					OFF
Vacuum Pump-2	ON		OFF					OFF
- Grace				1 M				
- Line Action	VENT							
Max Air Temp.	190							
Max Airpart Spread	80							
Max Mon. Press	100							
Max Part Spread	50							
Max Part. Temp.	X			184,5				
Max Press Deviation			0,2			X		
Min Mon Vacuum	-100		X	258				
Min Part. Temp.	X				173,5	X		
- Max Float Temp								
- Min Float Pressure				2,6			X	
Abort If Hitc<And	60							
Weak Vacuum	-100		0					

EK-2. Otoklav aşamaları

Başlangıç	Bitiş	Uyarı
15.7.2020 00:44	15.7.2020 00:51	SEGMENT 3 CALISIYOR
15.7.2020 00:44	15.7.2020 00:44	SEGMENT 2 DEN 3 YE GECTI
15.7.2020 00:51	15.7.2020 03:22	SEGMENT 4 CALISIYOR
15.7.2020 00:51	15.7.2020 00:51	SEGMENT 3 DEN 4 YE GECTI
15.7.2020 03:22	15.7.2020 05:27	SEGMENT 5 CALISIYOR
15.7.2020 03:22	15.7.2020 03:22	SEGMENT 4 DEN 5 YE GECTI
15.7.2020 05:27	15.7.2020 07:27	SEGMENT 6 CALISIYOR
15.7.2020 05:27	15.7.2020 05:27	SEGMENT 5 DEN 6 YE GECTI
15.7.2020 07:27	15.7.2020 07:33	SEGMENT 7 CALISIYOR
15.7.2020 07:27	15.7.2020 07:27	SEGMENT 6 DEN 7 YE GECTI
15.7.2020 07:33	15.7.2020 07:33	SEGMENT 8 CALISIYOR

EK-3. Otoklav grafiği





GAZİ GELECEKTİR..