

T.C.
ONDOKUZMAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİMER MATRİKSLİ KARBON NANOTÜP-CAM ELYAF TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERDE ÇARPMA SONRASI BASMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

ERDİNÇ GÜNAYDIN

MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAMSUN

2018

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Erdiñ GÜNAYDIN tarafından hazırlanan ‘Polimer Matriksli Karbon Nanotüp-Cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Çarpma Sonrası Basma Özelliklerinin İncelenmesi’ adlı çalışması 25/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğr. Üyesi İbrahim İNANÇ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ASLAN
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Malzeme Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. 25/06/2018

.....

Prof.Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12/07/2018

.....

Erdinç GÜNAYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİMER MATRİKSİLİ KARBON NANOTÜP-CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE ÇARPMA SONRASI BASMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Erdoğan GÜNAYDIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli, epoksi matrisli, (karbon nanotüp püskürtülmüş ve püskürtülmemiş olmak üzere iki farklı numune) kompozit plakalar üreterek, kompozit plakalara uygulanan mekanik testlerle, kompozitlerde karbon nanotüp takviyesinin darbe sonrası basma özelliklerine etkisi araştırıldı.

Kompozit üretim yöntemi olarak üniversitemiz bünyesinde bulunan ‘Reçine Transfer Metodu(RTM)’ kullanıldı. Üretilen her kompozit plaka için dört kat elyaf simetrik olarak üst üste yerleştirildi. Kullanılan elyafların bazılarında toplam reçine ağırlığınca %0,2 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKN) püskürtülürken bazıları püskürtülmemiş %0 olarak üretim yapıldı. Üretilen kompozitlere ‘Charpy Impact (Darbe) (CI) ve Darbe Sonrası Basma Testi (CAI)’ testleri uygulandı. Ayrıca ‘Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)’ ile görüntüleri alınan numunelerin kırılma analizleri yapıldı.

Sonuç olarak, RTM ile üretim ve karbon nanotüp takviyesiyle, ‘Charpy Darbe’ testi sonucunda karbon nanotüp takviyeli numunelerin karbon nanotüp takviyesiz numunelere göre yaklaşık %20, ‘Darbe Sonrası Basma’ testi sonucunda ise yaklaşık %21 oranında daha iyi değerler elde edildi. Kırılma analizlerinde ise kırılmaların ve çatlak yayılmalarının karbon nanotüp takviyeli numunelerde daha az olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: cam elyaf, epoksi, karbon nanotüp, mekanik özellikler, kompozit

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF POLYMER MATRIX CARBON NANOTUBE-GLASS FIBER-REINFORCED COMPOSITES COMPRESSION AFTER IMPACT PROPERTIES

Erdoğan GÜNAYDIN

Ondokuz Mayıs University

Graduate School of Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Özgür DEMİRCAN

In this study, the effects of carbon nanotube reinforcement on the compression after impact of composites were investigated by producing composite plates of glass fiber reinforced, epoxy matrix (two different samples, carbon nanotubes sprayed and unsprayed).

"Resin Transfer Method (RTM)" was used as a method of composite production in our university. For each composite plate to be produced, four layers of fiber were placed symmetrically on top of each other. Some of the fibers used were sprayed with 0,2% Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT) in total composite plate weight, while some were not sprayed and were produced at 0%. The produced composites were tested with 'Charpy Impact (CI) and Compression After Impact Test (CAI)'. In addition, fracture analysis of the samples taken with 'Scanning Electron Microscope (SEM)' was performed.

As a result, RTM production and carbon nanotube reinforcement, the 'Charpy Impact' and 'Compression After Impact' tests resulted in about 20% and 21% better results for carbon nanotube reinforced samples compared to results of the samples without carbon nanotube. In the fracture analyzes, it was observed that cracks and crack propagation were less in carbon nanotube reinforced specimens.

Keywords: glass fiber, epoxy, carbon nanotube, mechanical properties, composite

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aşamasında bana bir çok konuda yardımları dokunan, zaman ayıran ve desteklerini esirgemeyen başta Kemal KADIOĞLU olmak üzere Uğur ÇELİK ve Murat ÖZTÜRK'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca büyük ilgi ve anlayışını gördüğüm, bilgi ve desteği ile beni bu çalışmaya yönlendiren tez danışmanım, Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan ve desteklerini eksik etmeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, PYO.MUH.1904.16.005 nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Erdoğan GÜNAYDIN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER.....	vii
ÇİZELGELER.....	ix
1.GİRİŞ	1
2.KOMPOZİT MALZEMELER.....	5
2.1.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.Fiber takviyeli kompozitler	6
2.1.2.Partikül takviyeli kompozitler.....	6
2.1.3.Pul kompozitler	7
2.1.4.Dolgu kompozitleri	7
2.1.5.Tabakalı kompozitler	7
2.2.Kompozit Malzemelerin Bileşenleri ve Yapısı	8
2.2.1.Cam elyafı	9
2.2.2.Epoksi reçine.....	13
2.2.3.Epoksi sertleştiricileri.....	14
3.KARBON NANOTÜP	17
4.MATERYAL VE METOT	21
4.1.Kullanılan Mazemeler.....	21
4.2.Elyaf Katlarının Hazırlanması.....	24
4.2.1.Karbon nanotüp püskürtülmesi	24
4.2.2.Elyaf dizilimi.....	27
4.3.Reçine Hazırlanması	28
4.4.Kompozit Üretim Yöntemi	30
4.4.1.Reçine transfer metodu(RTM)	31
5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
5.1.Elyaf Hacim Oranları	37
5.1.1.Yakma testi.....	37
5.2.Charpy Darbe Testi	38
5.3.Darbe Sonrası Basma Testi(CAI)	39
5.3.1.Düşen ağırlıkla darbe testi.....	39

5.3.2.Darbe sonrası basma testi.....	41
6.DENEYSEL SONUÇLAR	43
6.1.Yakma Testi Sonuçları.....	43
6.2.Taramalı Elektron Mikroskopu(SEM) Analizi	44
6.3.Charpy Darbe Testi Sonuçları.....	45
6.4.Düşen Ağırlık Darbe Testi Değerlendirmesi.....	46
6.5.Darbe Sonrası Basma Testi Değerlendirmesi	48
6.6.Kırılma Analizi.....	50
7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
7.1.Sonuçlar	57
7.2.Öneriler	57
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
B_2O_3	: Boron Trioksit
BaO	: Baryum Oksit
C^0	: Santigrat
CAI	: Compression After Impact (Darbe Sonrası Basma)
CaO	: Kalsiyum Oksit
CI	: Charpy Impact (Charpy Darbe)
CTP	: Cam Takviyeli Plastikler
ÇDKN	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler
Fe_2O_3	: Demir (III) Oksit
GPa	: Giga Paskal
Gr	: Gram
K_2O	: Potasyum Oksit
KN	: Kilo newton
KNT	: Karbon Nanotüp
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
M_f	: Lif Kütlesi
M_i	: Numune Kütlesi
MgO	: Magnezyum Oksit
ml	: Mililitre
MPa	: Mega Paskal
mPa s	: Viskozite Ölçüm Birimi
N_2O_3	: Di Azot Tri Oksit
OH	: Hidroksit
q_c	: Numune Yoğunluğu
RTM	: Reçine Transfer Metodu
SEM	: Scanning Electron Microscope(Taramalı Elektron Mikroskopi)
SiO_2	: Silisyum Dioksit
TDKN	: Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
USD	: Amerikan Doları
V_r	: Elyaf Hacim Oranı
W_r	: Ağırlık Oranı

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. En çok kullanılan takviye elemanlı kompozitler; a) Fiber takviyeli b)Partikül takviyeli c)Tabakalı kompozitler d)Dolgu kompozitler(Akın, 2008)	6
Şekil 2.2. Epoksi reçine yapısı	13
Şekil 2.3. Epoksi reçinenin oda sıcaklığında kullanılan sertleştiricilere göre kullanım alanları.....	15
Şekil 3.1. Karbon nanotüp ve fulleren eldesi(Yıldırım, 2016)	17
Şekil 3.2. Tek katmanlı (Single Walled Carbon Nanotube) ve çok katmanlı (Multi Walled Carbon Nanotube)(Ömür, 2017)	18
Şekil 4.1. Cam elyaf ön yüzü ve cam elyaf arka yüzü	22
Şekil 4.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüp.....	22
Şekil 4.3. Epoksi ve Sertleştiricisi	23
Şekil 4.4. Manyetik Karıştırıcı ve Ultrasonik Karıştırıcı	26
Şekil 4.5. Püskürtme alanındaki elyaf ve %0,2KNT takviyeli elyaf	26
Şekil 4.6. Elyaf dizilimi ve yönleri $[0^0,90^0/0^0,90^0-90^0,0^0/90^0,0^0]$ veya $(0^0,90^0/0^0,90^0)_s$ (Darkazali vd, 2018).....	27
Şekil 4.7. Reçine Transfer Metodu cihazı.....	32
Şekil 5.1. Darbe testi (www.gazi.edu.tr).....	38
Şekil 5.2. Darbe test cihazı(düşen ağırlıklı test) (https://www.zwick.com/)	40
Şekil 5.3. Darbe testi numune yerleştirme bölgesi(numune tutucular) (https://www.zwick.com/).....	40
Şekil 5.4. ISO, EN ve Airbus standartlarına ait basma aparatı(https://www.zwick.com/)	41
Şekil 5.5. ASTM, DIN ve Boeing standartlarına ait basma aparatı (https://www.zwick.com/).....	41
Şekil 6.1. Kül fırını ayar ekranı(620^0C 'de), numune kapları fırın içi pozisyonu, reçinesi uzaklaştırılmış elyaflar (soldan sağa)	43
Şekil 6.2. Cam elyaf yüzeyindeki karbon nanotüp görüntüsü (Taramalı elektron mikroskopu x20.000 büyütme oranı)	44
Şekil 6.3. Cam elyaf yüzeyindeki karbon nanotüp görüntüsü (Taramalı elektron mikroskopu x50.000 büyütme oranı)	44
Şekil 6.4. Charpy darbe testi grafik sonuçları	46
Şekil 6.5. Darbe testi öncesi %0,2KNT takviyeli numune	47
Şekil 6.6. Darbe testi öncesi KNT takviyesiz numune	47
Şekil 6.7. Darbe sonrası basma testi %0,2KNT(1) numunesi ve %0KNT(1) numunesi grafiksel karşılaştırma(1)	49
Şekil 6.8. Darbe sonrası basma testi %0,2KNT(1) numunesi ve %0KNT(1) numunesi grafiksel karşılaştırma(2)	50

Şekil 6.9. Darbe sonrası KNT'siz numune(1).....	50
Şekil 6.10. Darbe sonrası %0,2KNT takviyeli numune(1)	51
Şekil 6.11. Darbe sonrası KNT'siz numune(2).....	51
Şekil 6.12. Darbe sonrası %0,2KNT takviyeli numune(2)	52
Şekil 6.13. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0,2KNT takviyeli numune önden ve arkadan görüntüsü(1).....	52
Şekil 6.14. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0KNT takviyesiz numune önden ve arkadan görüntüsü(1).....	53
Şekil 6.15. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0,2KNT takviyeli numune önden ve arkadan görüntüsü(2).....	53
Şekil 6.16. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0KNT takviyesiz numune önden ve arkadan görüntüsü(2).....	54
Şekil 6.17. %0 takviyesiz numune optik mikroskop enine kesit görüntüsü	54
Şekil 6.18. %0,2 takviyeli numune optik mikroskop enine kesit görüntüsü.....	55

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Bazı cam elyaf çeşitleri ve özellikleri (Gachter vd, 1987)	9
Çizelge 2.2. Bazı cam elyaflarının özellikleri ve katkı malzemeleri(Gachter vd, 1987)	10
Çizelge 4.1. Cam Elyaf Özellikleri	21
Çizelge 4.2. Reçine bileşenlerinin bazı özellikleri.....	23
Çizelge 6.1. Yakma testi numune değerleri ve hacim oranları	43
Çizelge 6.2. Charpy darbe testi sonuçları	45
Çizelge 6.3. Düşen ağırlık darbe testi derinlik sonuçları	48
Çizelge 6.4. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0KNT takviyesiz ve %0,2KNT takviyeli numunelerin sonuçları(1)	49

1.GİRİŞ

Malzemelerin değişimi incelendiğinde ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılan malzemelerin saf ve tek malzemelerden, birden fazla malzeme çeşidinin bir araya gelerek birden fazla özelliği barındıran kompozit malzemelere geçtiği görülmektedir. Bu durumla beraber üretilen kompozit malzemelerin kullanım alanlarına göre çeşitli özellikleri taşıması gerekmekte ve bu özellikleri ne ölçüde karşıladığını belirlemek için bir çok test uygulanması gerekmektedir.

Günümüzde kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, inşaat, uzay bilimleri ve askeri endüstri başta olmak üzere bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Öyle ki şuan uçak gövdelerinin yarısından fazlası kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Kullanım alanlarından dolayı kompozit malzemelerden yüksek performans beklenmektedir. Her kullanım alanının farklı performans beklentileri bulunmaktadır. Havacılık sektöründeki kompozitlerden yüksek aşınma ve ısı dayanımı beklenirken, otomotiv sektöründe (oto lastik) kayma mukavemetinin yüksek olması beklenir. İnşaat sektöründe çekme, eğme ve basma performanslarının yüksek olması beklenirken, darbe ve çarpma dayanımının da yüksek olması istenmektedir.

Kompozit malzemelerde ilk uygulamalara cam takviyeli plastik esaslı kompozitler (CTP) ile başlanmıştır. Bu kompozitlerin hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle kullanılacak alanlara göre en kullanışlı malzemeler olduğu ortaya çıkmıştır. 1942 yılında ise gemi yapımında da CTP kullanılmıştır. Daha sonra uçak pervaneleride 1950li yıllarda kompozitten yapılmaya başlamıştır. Boeing 707, 727 uçaklarında cam ve karbon elyaf, Boeing 767’de ise kevlar, epoksi kompozitten iniş kapısı dişlisi, kanat, sabit ve arka kenar dengeleyicisi yapılmıştır. Bununda dokuma yapısındaki cam elyafa göre daha uzun süre dayanıklı kaldığı anlaşılmıştır. Dış kanat esas olarak karbon/epoksi den oluşmaktaydı, fakat daha sonra karbon/epoksi ve boron/epoksi içeren karma kompozitlerden yapılmaya başlandı. Bu yapılan kompozit ile metal versiyona göre iki kat daha fazla uçuş zamanı elde edilmiştir. 1986 yılında kanatlar, uçak ön gövdesi, yatay stabilizatörü, irtifa dümeni, dümen pedalı, aşağı sarkan kanat ve kapaklar, kanatçıklar ve kanat üzeri kaplaması yeniden tasarlanmış ve karbon/epoksi malzemedan üretilmiş ve yapılan denemelerde kırılma (bozulma) olmaksızın performanslarında iyileşme

gözlemlenmiştir. Almanya da Alfa-Jet şirketi metal malzeme yerine karbon elyaf kullanmış, sınırsız uçuş gerçekleştirerek ağırlığı azaltmıştır (Şahin, 2000).

Bunca elde edilen teknik gelişme ve performans artışının yanında, hala sürekli olarak malzemelerin performans değerlerinin artmasına ihtiyaç duyulmakta ve sürekli olarak geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Tam da bu aşamada üzerine en çok çalışma yapılan ve kompozitlerin teknik olarak geliştirilmesi için kullanılan karbon nanotüpler göze çarpmaktadır.

Karbon nanotüpler, silindirlerden oluşan fulleren tipi yapılardır. Karbon nanotüplerin ilk olarak 1985'te 60'dan fazla karbon atomunun birleştirilmesiyle oluşan futbol topu şeklindeki moleküllerin keşfedilmesi ile başlamıştır. Bu top şeklindeki moleküllerin diğer atom veya moleküllerle yaptığı bileşiklere "fulleren" denir. Bu keşiften sonra birçok laborant sıcak karbon buharını yoğunlaştırarak futbol topu şeklindeki molekülleri elde etmeye çalışılmış, bu elde etme işlemlerinden küçük değişikliklerle çeşitli şekil ve boyutlarda küreye benzer yapılar elde edilmiştir. İlk tüp şeklindeki molekülleri 1991'de elektron mikroskobu uzmanı Sumia Iijima fullerenlerin ark-buharlaşması sentezi sırasında katodda biriken malzemeyi araştırırken bulmuştur. Daha sonra Thomas Ebbeson ve Pulickel Ajayan (Iijima'nın laboratuvarından) çeşitli ark-buharlaşması koşulları altında büyük miktarlarda nanotüp üretilbileceğini kanıtlamıştır. Standart ark-buharlaşması metoduyla ancak çok katmanlı tüpler üretilebilmiştir. Sonraki araştırmalar sonucunda, grafit elektroduna kobalt gibi bazı metallerin eklenmesi ile tek katmanlı mükemmel tüpler üretilmiştir (Koç, 2003).

Karbon nanotüpler kompozitlerde performans artırma amaçlı kullanılmaya başlanmasıyla, bu konu üzerine bir çok araştırma yapılmıştır. Bunlardan bazıları;

- Rathore ve arkadaşları 'Karbon Nanotüp Takviyeli Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Alanları Altında Mekanik Özelliklerine Karbon Nanotüpün Etkisi' adlı çalışmalarında karbon nanotüp takviyeli polimer matriksli kompozitlerin yüksek sıcaklık altında karbon nanotüp/polimer arayüzü arası etkileşimi incelemiştir (Rathore vd, 2016).
- Advani ve arkadaşları 'Çok Duvarlı Karbon Nanotüp İle Zenginleştirilmiş Cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Tabakalar Arası Kayma Dayanımı' adlı çalışmalarında çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli cam elyaf kompozitlerin

tabakaları arası kayma mukavemetini incelemiş ve ağırlıkça %2 çok duvarlı karbon nanotüp takviyesinin kayma mukavemetini %33 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir (Advani vd, 2007).

- Godara ve arkadaşları ‘Cam Elyaf Epoksi Kompozitlerine Eklenmiş Karbon Nanotüpün Elyaf ve/veya Matrikse Etkisi’ adlı çalışmalarında karbon nanotüp takviyesinin cam elyaf epoksi kompozitlerinde elyaf ve matrikse etkisini araştırmış, karbon nanotüp eklenmesinin cam elyafın camsı geçiş sıcaklığında %10luk artış sağlarken, kompozitin termal genleşme katsayısında %31lik bir azalmaya sebep olduğunu, çatlak başlama direncinin %10 oranında arttığını gözlemlerken, çatlak yayılma tokluğunun (crack propagation tenacity) %53 oranında düştüğünü tespit etmişlerdir (Godara vd, 2010).
- Fogel ve arkadaşları ‘Karbon Nanotüp/Epoksi Dispersiyonlarının Karbon Fiber Katmanlara Püskürtme Yoluyla İlavesi İle Yapısal İletken Kompozitlerin İmalatı’ adlı çalışmalarında karbon nanotüp/epoksi dispersiyonlarının karbon fiber katmanlara püskürtme yoluyla ilavesi ile iletken kompozitlerin üretimini araştırmıştır (Fogel vd, 2017).
- Prusty ve arkadaşları ‘Cam Elyaf Epoksi Kompozitlerinde İşlevselleştirilmiş Cnt Eklenmesinin Kompozitin Arayüz Yapısında Rolünün Sıfır Derecenin Altında Ve Üzerinde Değerlendirilmesi’ adlı çalışmalarında cam elyaf epoksi kompozitlerine işlevselleştirilmiş karbon nanotüp ilavesinin sıfır derecenin altında ve üstünde kompozit arayüz yapısına etkisini araştırmış ve karbon nanotüp ilavesinin kompozitlerin mukavemetini %10 ile %25 arasında arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca karbon nanotüp ilavesi ile arayüzeyde yüksek oranda dekohezyon meydana gelmiş mekanik özelliklerde değişime neden olduğunu tespit etmişlerdir (Prusty vd, 2017).
- Guo ve arkadaşları ‘Epoksi Reçineli Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Elyaf Arayüzlerine Katman Katman Karbon Nanotüp Takviyesi ile Arayüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi’ adlı çalışmalarında epoksi reçineli karbon elyaf takviyeli kompozitlerin elyaf katmalarının arayüzeylerine karbon nanotüp takviye ederek karbon elyaflarda pürüzlülüğün, darbe enerjisinin, ıslana bilirliliğin ve polaritenin arttığı gözlemlendi. Arayüzey özelliklerinin iyileşmesiyle darbe dayanım mukavemetinde dikkate değer artışlar elde edilmiştir (Guo vd, 2017).
- Schulte ve arkadaşları ‘Epoksi Matriksli Kompozitlere Farklı Karbon Nanotüp Eklentilerinin Kompozitin Mekanik Özelliklerine Etkisi karşılaştırması’ adlı

alışmalarında epoksi matriksli kompozitlere tek duvarlı, çift duvarlı ve çok duvarlı olmak üzere üç farklı tipte karbon nanotüp ilave ederek üretilen kompozitlerin tümünde mukavemette ve sertlikte yüksek artışlar elde edilirken, kırılma tokluğu da önemli ölçüde artmıştır (Schulte vd, 2005).

- Wang ve arkadaşları ‘Karbon Nanotüp İlavesi ile Cam Elyaf/Polimer Kompozitlerinin Termal İletkenliğini Arttırma’ adlı çalışmalarında cam elyaf/polimer kompozitlere karbon nanotüp ilave ederek %3’lk (toplam ağırlıkça) karbon nanotüp ilavesi ile ısı iletkenliğinde 1,5 kat artış elde edilmiştir (Wang vd, 2010).

Bu alışmalar incelendiğinde görülmektedir ki, karbon nanotüpler eklendikleri kompozitin mukavemet, tokluk, çekme ve basma, eğme, kayma mukavemeti, termal özellikler başta olmak üzere bir çok özelliğini olumlu yönde etkilemektedir. Bu durum karbon nanotüpleri kompozitin özelliklerinin geliştirilmesinde en önemli dolgu malzemesi yapmaktadır.

Literatür incelendiğinde elyafları karbon nanotüp ile kaplayıp, arayüzey ve mekanik özelliklerini geliştirmeye yönelik bazı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, bizim çalışmamız ile aynı doğrultuda ÇDKN kaplama ve Reçine Transfer Metodu(RTM) yöntemiyle üretim yapılan çalışmalar daha önce yapılmamıştır. Bu çalışmada kompozit RTM ile üreterek, RTM yönteminin sağladığı daha az insan kaynaklı hata ve kompozitte düşük boşluk oranı gibi olumlu sonuçlar test edildi, karbon nanotüp takviyesinin, yapılan charpy darbe ve darbe sonrası basma testleri ile üretim koşulları doğrultusunda, kompozitin mekanik özelliklerine etkisi araştırıldı.

2.KOMPOZİT MALZEMELER

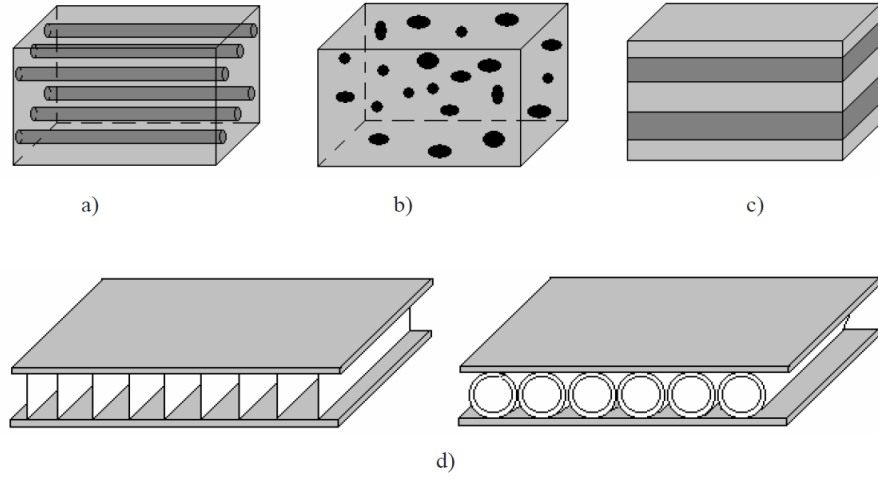
Kompozit kelime olarak, iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzeme anlamına gelmektedir. Kompozit malzemeler özet olarak ‘makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler’ şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla özelliklerini korumaktadırlar (Kaya, 2016).

İnsanlık tarihi incelendiğinde, kompozit malzemelerden, binlerce yıl önce evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar olarak faydalanılmıştır. Günümüzde ise geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu veya özelliklerinin geliştirilmesi gerektiği durumlar için kompozitlerden faydalanılmaktadır.

Amerika’da 1930’lu yıllarda cam elyafın bulunması ile modern kompozitin üretimi başlayarak, cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler endüstriyel olarak üretilmeye başlamıştır. Kompozit malzemeler, malzeme bilimi açısından bakıldığında yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak değerlendirilebilir.

2.1.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler birçok şekilde sınıflandırılabilir. Matriks malzemesinin türüne göre metalik kompozitler, seramik kompozitler, polimerik kompozitler gibi. Ayrıca bileşenlerinin şekillerine göre de sınıflandırma yapılabilmektedir; fiber kompozitler, partikül kompozitler, pul kompozitler, dolgu kompozitler ve tabakalı kompozitler.



Şekil 2.1. En çok kullanılan takviye elemanlı kompozitler; a) Fiber takviyeli b)Partikül takviyeli c)Tabakalı kompozitler d)Dolgu kompozitler (Akın, 2008)

2.1.1.Fiber takviyeli kompozitler

Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri ilk durumlarındaki mukavemet ve rijitliğinden çok daha yüksek olmaktadır. Bu durum bir çok özellikte artış sağlayan yüksek etkinlikteki liflerin eklenmesiyle elde edilir. Karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50kat, rijitliği 3kat daha yüksektir.

2.1.2.Partikül takviyeli kompozitler

Küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle üretilen kompozit çeşitleridir. Bu granül ilavesi mukavemet ve rijitlikte artışa sebep olur. Tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin yada sıfır boyutlu olarak kabul edilen küçük mikroskobik partiküllerin matriks fazı ile oluşturdukları kompozit malzemelerdir. Makroskobik yada mikroskobik boyutlu partiküller, kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül kompozitler; dispersiyonla sertleştirilmiş kompozit malzemeler ve büyük ölçekli partikül kompozit malzemeler olarak ikiye ayrılır.

2.1.3.Pul kompozitler

Büyük uzunluk/çap oranında dolgu maddesi ilave edilerek yüksek yük taşıma kabiliyeti elde edilir. Matriks içinde yer alan pulların konsantrasyonu düşükde olabilir veya birbirleriyle temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde de olabilir. Düzlemsel yapıya sahip pullarla, sıkı bir paketlenme yapısı edilerek kompozit üretilir.. Pul esaslı sistemin maliyeti biraz daha fazla, ancak mukavemet özellikleri iyidir.

2.1.4.Dolgu kompozitleri

Üç boyutlu sürekli bir matriks malzemesinin yine üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması ile üretilen kompozitlere dolgu kompozitleri denir. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yerleştirilebilir. Optimum özelliklere sahip olabilmesi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir. Bu tür kompozitlere sandviç kompozitler olarak da adlandırılır.

2.1.5.Tabakalı kompozitler

Çok farklı kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi de yapılabilir. Bunun için farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birleştirilmesi gerekir. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi tabakalı kompozit üretimiyle mümkün olabilmektedir(Akın, 2008).

2.2.Kompozit Malzemelerin Bileşenleri ve Yapısı

Matriks: Termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak poliyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımını görmekteyiz, bunların yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polieterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir.

Takviye: Aramid, karbon, grafit, boron, alümina, cam, polietilen gibi malzemelerin kısa veya uzun devamlı veya devamsız elyaf formunda kullanıldığı ve matriksi yaklaşık %60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir.

Katkılar: Dolgular, kimyasallar ve diğer katkılar matrikse niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler.

Kompozit malzemeler birçok alanda; uçak-uzay, savunma, yapı inşaat, korozyon dayanımı gerektiren uygulamalar, elektrik-elektronik, denizcilik, kara taşıtlarında, tüketim mallarında ve özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır (Yaldızcı, 2016).

Malzemeler inceleğinde; metal, seramik ve organik malzemeler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu üç sınıf malzeme grubunun birbirlerine göre bazı üstün ve zayıf özellikleri bulunmaktadır. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda, bu malzemelerden iki veya daha fazlasının üstün özelliklerini tek bir malzemede bir araya getirilmesi amacıyla makro düzeyde birleştirilerek üretilen yeni malzeme kompozit malzemedir.

Kompozit malzemeler amaç olarak geleneksel malzemelerin bazı özelliklerinin bir veya birkaçını geliştirmek amacıyla üretilmektedir. Bunlar; mukavemet, elastikiyet, korozyon dayanımı, termal dayanım, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, ağırlık, estetik görünüm, fiyat.

2.2.1.Cam elyafı

Cam elyafın esasını silis-kum (SiO_2) meydana getirmekle beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur (Evcin, 2017).

Termoset ve termoplastik matrikslere takviye olarak en çok kullanılan ve en ucuz malzemelerden biri cam fiberlerdir. Cam elyafının özelliklerine göre bir çok çeşidi vardır. Bunlar; A (alkali) camı, C (korozyon) camı, E (elektrik) camı, S (mukavemet) camı, L camı, M camı, S2 camı, W2 camı, AR camı, R camı.

Çizelge 2.1. Bazı cam elyaf çeşitleri ve özellikleri (Gachter vd, 1987)

Cam Tipi	Özelliği
L camı	Radyasyona karşı koruma
M camı	Yüksek elastik modül
S2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W2 camı	Yarı şeffaf
AR camı	Alkali dayanım
R camı	Yüksek çekme dayanımı

Bu cam elyafları arasında en çok kullanılanı E tipi cam elyafıdır.

Malzemede fiber takviyesi malzemenin mukavemetini arttırmaktadır. Cam fiberler çelikten yaklaşık üç kat daha mukavemetlidir. Belli bir düzene sahip olmadan rastgele yerleşmiş fiberler barındıran malzemelerin mukavemeti ise düzenli yerleşmiş veya dokuma şeklinde fiberler içeren malzemelere göre daha düşük çıkmaktadır.

Cam fiberlerin kullanım alanları çok geniş olup hem termoset hem de termoplastik malzemelerin mukavemet, termal özellikler, korozyon direnci ve elektriksel iletkenlikleri gibi bir çok özelliğini değiştirmektedir.

Çizelge 2.2. Bazı cam elyaflarının özellikleri ve katkı malzemeleri(Gachter vd, 1987)

Özellikler	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı	8.60	7.20	5.00	5.60
Yumuşama sıcaklığı (C ⁰)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃	0.60	4.10	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.50	3.30	4.60	10.3
Na ₂ O,K ₂ O	14.2	9.60	0.80	0.30
B ₂ O ₃	-	4.70	10.6	-
BaO	-	0.90	-	-

Cam fiberler yüksek elastik modülüs, iyi derecede eğme mukavemeti, darbe ve basma direnci, yüksek mukavemet ve düşük uzama gösterirler. Kullanım alanları ve ortam şartlarına göre düşük düşük boyutsal değişim gösterirler, bu da düşük nem tutma özellikleri sayesinde gerçekleşir. Ayrıca düşük nem tutma özelliği nemli ortamlarda

dahi iyi elektriksel özellik göstermelerini sağlar ki bu kullanım alanlarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu durumu reçine ve fiber arası bağ yapısı büyük oranda etkilemektedir. Reçine ve fiber arası bağlara nem kaçması durumunda malzemenin özelliği önemli ölçüde düşecektir. Reçine ve cam fiber arası bağ güçlendirme amaçlı bir çok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan biri de karbon nanotüp ilavesidir. Daha sonra karbon nanotüpler detaylı olarak açıklanacaktır.

Cam fiber takviyeli kompozitlerin performansını etkileyen bir çok etken vardır. Bunlardan bazıları; kullanılan cam fiber tipi, kullanılan elyaf uzunluğu ve çapı, elyaf formu (dokuma, örme vb.), elyafın reçine içindeki dağılımı, reçine çeşidi, kullanılan katkı maddeleri gibi. Bu etkenlerden bazıları büyük oranda etkili olurken bazıları kompozitin performansını daha düşük oranda etkiler.

Cam fiber takviyeli kompozitlerin öne çıkan özelliklerini inceleyecek olursak;

1. Bir çok çevresel ve mekanik etki altında termoset kompozitler boyutsal kararlılığını ve işlevini korurlar.
2. Malzemeler arasında en etkin yüksek mukavemete sahip olanlardandır.
3. Çok çeşitli tasarlanabilirler. Esnek, hafif, sert, fonksiyonel vb.
4. Yüksek yalıtım (dielektrik) özellikleri sayesinde kullanım bir çok yalıtım gereken alanda tercih edilirler.
5. Yüksek korozyon dayanımına sahip üretilebilirler.
6. Birim alan başına düşen ağırlıklarına oranla hem takviyesiz plastiklere hemde metallere göre daha yüksek mukavemet gösterirler.
7. Kompozitler tam şeffaf özellik gösterebilirler. Hemen hemen cam kadar ışığı geçirebilirler. Bu nedenle seralarda da tercih edilirler.
8. Güç tutuşma yada alev almama özellikli polyesterler kullanıldığında kompozitlerde bu özellikleri taşır.
9. Kompozitler beton, ahşap ve demir yüzeylere uygulanabilirler. Betonun gözenekli yapısından dolayı polyester reçine bu gözeneklere sızar ve sertleşip betonla mükemmel bir bağlanma yapar. Ahşap yüzeylere yapışması için ahşap yüzeyin kuru olması ve polyesterin stiren bulundurup iyi derecede emdirilmesi gerekir. Demir yüzeyinde ki yağ ve pas temizlendikten sonra kompozitler demir yüzeye bağlanabilir ve korozyon direnci artırılır.
10. Kompozitlerin tamir edilebilir özellikleri de vardır. Ancak tamirden sonra tamir izlerinin kaldırılması için çeşitli temizleme işlemleri yapılmalıdır.

11. Kompozitlere çeşitli şekil verme ve delme işlemi yapılabilir. Bunu yaparken sert çelik veya elmas uç kullanılmalıdır.
12. Kompozit malzemenin içine çeşitli malzemeler gömülebilir. Demir, halat, tel, ahşap, poliüretan sert köpük gibi malzemeler mekanik özellikleri iyileştirir.
13. Kompozitler kullanılan reçinenin cinsine göre ısı dirençleri yüksek olur. Termoset reçine kullanıldığında yumuşamaz ve şekil değiştirmezler.

Tüm bunlara rağmen kompozitlerin dezavantajları da vardır;

1. Bazı metallere göre birim alan maliyetleri daha yüksektir.
2. Çok katmanlı ve katkı maddesi maliyeti yüksek olanlar ucuza üretilmemektedir.
3. Yüksek ısıya dayanıklı olsalarda bazı metallerin ısı direncine henüz yükselememişlerdir.
4. Ürün kalitesi üretim yöntemiyle doğrudan ilişkilidir.
5. Bazı kullanılan hammaddelerin çok pahalı olması. Uçaklarda kullanılan karbon kumaşın metre kare fiyatı 50USD.
6. Uygulanan etkinin yönüne göre farklı özellik gösterebilirler.
7. Üretim aşamasında meydana gelebilecek kompozit üzerindeki hava kabarcıkları kompozitin yorulma direncini olumsuz etkilemektedir.
8. Geri dönüşümü zor malzemelerdir.

Daha öncede bahsedildiği gibi cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler hayatımızın her alanında kullanılmaktadır ve kullanım alanları her geçen gün daha da artmaktadır.

Otomotiv sektörü ve transport: Araç gövdeleri, şaftlar, makaslar, tampon ve çamurluklar, kapılar, kabinler ve kasalar.

Askeri alanlar: Silah parçaları, hücum botları, helikopter ve uçak gövdeleri, miğfer ve yelekler, koruyucu paneller, çadırlar.

Ev aletleri ve yardımcı aletler: Abajur ve avizeler, buzdolapları, fırınlar, el aletleri, dikiş makineleri, bilgisayar ve fotokopi makineleri, motorlu aletler.

Denizcilik endüstrisi: Bir çok deniz aracının gövdesinde.

Havacılık endüstrisi: Uçak kanatları ve gövdeleri, pervaneler, kontrol panelleri.

Uzay ve Savunma endüstrisi: Radar koruyucuları, sinyal emici malzemeler, planörler, uzay ekipmanları.

Sağlık endüstrisi: Tekerlekli sandalyeler ve sedyeler, cihaz dış korumaları.

Yapı endüstrisi: Tuvalet ve banyo ürünleri, taşıyıcı konstrüksiyonlar, köprü tabanları, kapılar, bina dış cephe kaplamaları.

Tarım ve Gıda endüstrisi: Sulama sistemleri, yemleme araçları, depolama ürünleri, gıda bekletme araçları, hayvan çiftlikleri malzemeleri.

Spor endüstrisi: Kayak malzemeleri, su kaydırakları, saha ürünleri.

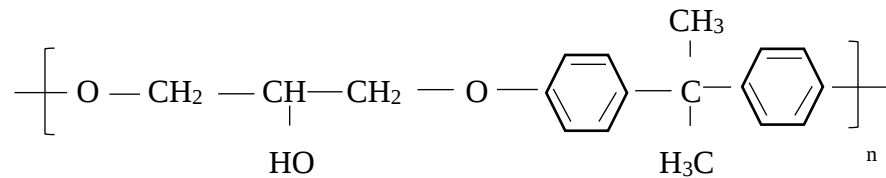
Cam elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde en çok polyester reçineler kullanılmaktadır. Burada ise iki çeşit reçine ön plana çıkmaktadır. Termoset ve termoplastik reçineler.

Takviye olarak liflerin kullanıldığı kompozitlerde, termoset matriks olarak kullanılan reçinelerden biri de epoksi (epoxy) reçinedir.

2.2.2.Epoksi reçine

Günümüz teknolojisi ile en gelişmiş kompozitler de dahil olmak üzere her çeşit elyaf ile kullanılabilen reçinedir. Epoksi reçineler sıvı veya katı olarak temin edilebilir. Epoksi grubunun polimerizasyonu ile üretilir. Bu reçineler çeşitli katkıları ile oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta son ürün haline getirilir (Demirel, 2007).

Çapraz bağlandıklarında yan ürün vermezler ve düşük olgunlaşma büzülmesi yaparlar. Moleküllerinde iki yada ikiden fazla epoksi grubu bulunur.



Şekil 2.2. Epoksi reçine yapısı

Yapıdaki n sayısı sıvılar için 1'den küçük, katılar için ise genellikle 2 veya daha büyüktür.

Epoksi reçineyi kompozit üretiminde kullanmak üzere şekillendirebilmek için çapraz bağlanma sağlayan maddelerle veya katalizörlerle beraber kullanmak gerekmektedir. Burada hidroksil (-OH) grubu çapraz bağlanma tepkime bölgesidir. Bu çapraz bağlanmalar için sertleştiriciler, amin, anhidrit ve aldehit kondensasyon gibi kimyasallar kullanılır.

Epoksi reçinelerin düşük molekül ağırlıklı olmaları üretim sırasında onlara müthiş yüksek molekül hareketliliği kazandırır. Bu hareketlilik sıvı epoksi reçinelere yüzeye hızlı ve tam nüfuz etme imkanı sağlar. Düşük viskozite özellikleri de burdan gelir. Aminler gibi olgunlaştırıcılarla kullanıldıklarında iyi derecede çapraz bağlanma, yüksek tepkimeye girme isteği, sertlik, kimyasal dayanma ve bundan dolayı elyafa yüksek nüfuz etme elde edilir. Ayrıca sertleşme esnasında yan ürün oluşmaz.

İyi derecede yapışma, kimyasal ve mekanik dirençleri sayesinde koruyucu ve kaplama malzemesi olarak kullanılırlar. Kablolarda, konserve ve konteyner kaplamalarında, ev ve otomobil ürünleri kaplamalarında özellikle tercih edilirler. Bunun yanı sıra epoksi reçineler dielektrik dayanımları, iyi yapışmaları, yüksek nem dahil kötü çevre koşullarına dayanma özellikleri sayesinde elektrik ve elektronik sanayinde kullanılmaktadırlar (Demirel, 2007).

2.2.3.Epoksi sertleştiricileri

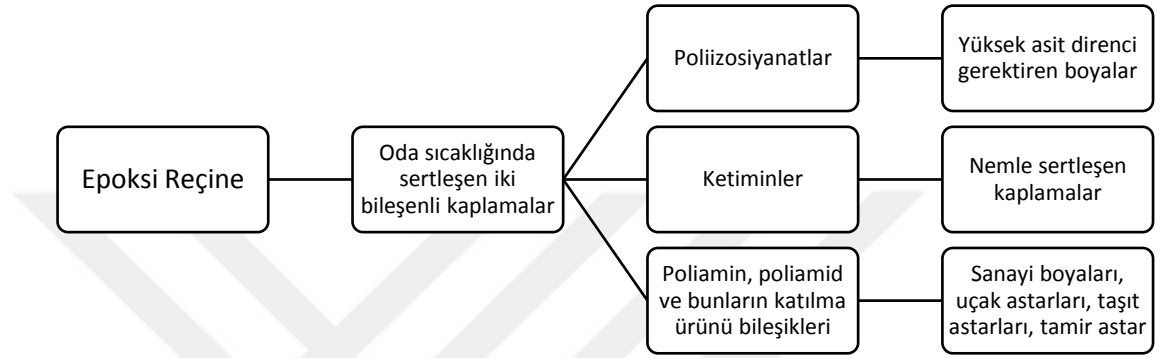
Epoksi reçinelerin doğrusal yapılarından dolayı bazı fiziksel mekanik özellikleri yetersizdir. Bu durumda epoksi yapısında çapraz bağlara ihtiyaç duyulur. Bu çapraz bağlar yapıya sertleştiriciler vasıtasıyla katılır. Sertleştiriciler vasıtasıyla epoksinin fiziksel, mekanik, kimyasal dirençleri ve elektrik yalıtkanlıkları artırılır.

Sertleşme formaldehitler, poliamidler, organik asit anhidridleri ile polikondenzasyonu veya lewis asitleri ilavesiyle polimerizasyon yoluyla gerçekleşir.

Bazı faktörler epoksi reçinenin yapısını, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilerler. Bunlar;

- Sertleşme mekanizması, sertleştirici fonksiyonel grup türü

- Reçine ve sertleştiricideki fonksiyonel grupların sayısı; çapraz bağlanma miktarı
- Reçine ve sertleştirici arası fonksiyonel grupların arasındaki bağların yapısı
- Reçine ve sertleştiricinin çapraz bağlanma yoğunluğu
- Sertleşme derecesi veya sertleşme yoğunluğu (MEB, 2012).



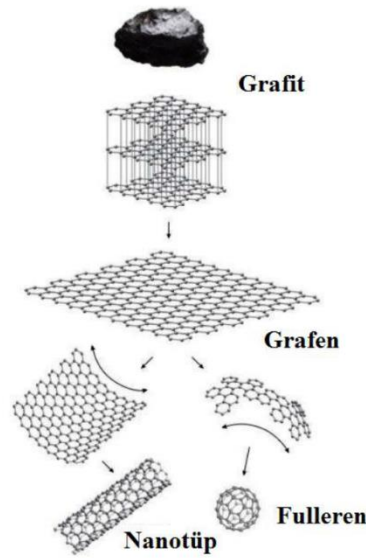
Şekil 2.3. Epoksi reçinenin oda sıcaklığında kullanılan sertleştiricilere göre kullanım alanları



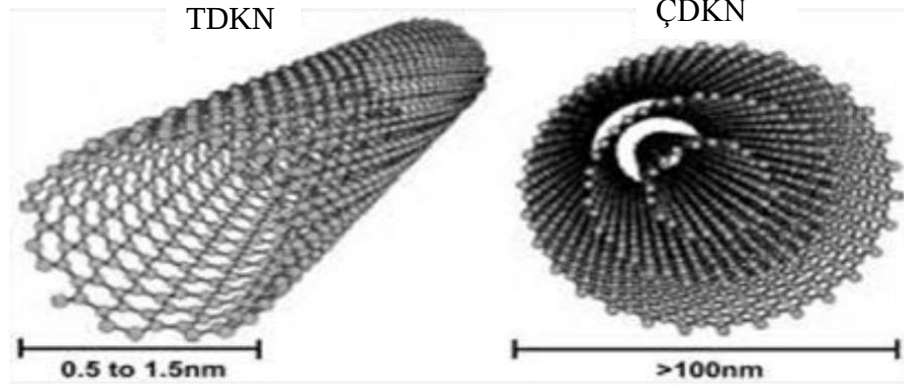
3.KARBON NANOTÜP

Karbon atomlarının kendi aralarındaki bağlanma geometrilerine göre karbon malzemeler çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler gösterirler. Ayrıca sınırsız sayıda farklı bağlanma yapıları vardır. Bunlara grafit, elmas, karbon fiberler örnek gösterilebilir (Yıldırım, 2016).

Karbon nanotüpler, karbon atomlarının küre şeklinde birleşerek fullerenlerin üretilmesiyle ve daha sonra bu fullerenlerin üretimi için yapılan denemeler sırasında elde edilen küreye benzer yapılarla elde edilmeye başlamıştır. İlk tüp şeklindeki moleküller Sumia Lijima tarafından bir araştırma sırasında elde edilmiştir. Daha sonra bilim insanları yüksek miktarlarda karbon nanotüp üretmeye başlasada üretilen nanotüpler çok katmanlı olmuştur. Tek katmanlı nanotüp eldesi için kobalt gibi bazı metallerin kullanılması gerekmiştir. Bu sayede tek katmanlı mükemmel tüpler üretilmiştir (Koç, 2003).



Şekil 3.1. Karbon nanotüp ve fulleren eldesi(Yıldırım, 2016)



Şekil 3.2. Tek katmanlı (Single Walled Carbon Nanotube) ve çok katmanlı (Multi Walled Carbon Nanotube)(Ömür, 2017)

Karbon nanotüplerin nano boyutta fiziksel, kimyasal, elektriksel ve optik bir çok özelliği vardır. Geometrik yapılarının değiştirilmesiyle elektriksel özellikleri değiştirilebilir ve bu da elektronik alanda kullanımını artırır.

Karbon nanotüplerin sağlamlıkları, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması kullanım alanlarını arttırmakta ve diğer malzemelere göre avantaj sağlamaktadır.

Karbon nanotüplerin bazı özellikleri;

- Yüksek akım taşıma
- Büyük yüzey alan kapasitesi
- Yüksek ısı iletkenlikleri
- Değişken elektrik iletkenliği
- Yüksek uzunluk/çap oranları
- Esneklikleri

Bu üstün özelliklerinden dolayı elektronik ve kompozit ürünlerde, enerji dönüşümü enerji depolama, biyosensör, kimyasal dedektör, gaz sensörü, yakıt hücreleri ve güneş pilleri gibi bir çok malzemede tercih edilirler (Koç, 2003).

Yapılarındaki güçlü sigma bağları sayesinde esnediklerinde eski şekillerini tekrar alabilirler. Ayrıca bu bağlardan dolayı mekanik özellikleri çok yüksektir ve kompozit malzemelerin güçlendirilmesinde kullanılırlar.

Karbon nanotüplerin yüzey alanları çok geniştir. 1gr kadarları yaklaşık 500m² alanı kaplar. Yüzeyde tutunma özellikleri sayesinde çeşitli kimyasallara karşı filtre olarak kullanılabilirler. Mekanik ve elektrik kararlılıkları nedeniyle üstün özellikli kapasitörler elde edilebilir.

Elastikiyet modülleri 600-1100 GPa,  ekme dayanımları 35-110 GPa değerlerindedir. Eşit ağırlıktaki çeliğe göre 10-100 kat arası daha fazla dayanıma sahiptir. Ayrıca elektrik akımı taşıma kapasitesi bakır kabloya göre yaklaşık 1000 kat fazla iken termal iletkenliği ise elmasın iki katı kadar yüksektir(Yıldırım, 2016)





4.MATERYAL VE METOT

Bu çalışma iki temel aşamadan oluşmaktadır;

- Karbon nanotüpün cam elyaf yüzeyine püskürtülmesi
- Karbon nanotüp püskürtülmüş veya karbon nanotüpsüz cam elyaf katmanlarına reçinenin transferi

Kompozit malzemeler kullanım alanlarına göre çok çeşitlidir. Yine bundan dolayı kompozit malzemeler için bir çok üretim yöntemi ve üretilen kompozitin kalitesini değerlendirmek amacıyla kompozitlere uygulanan bir çok mekanik test yöntemi vardır.

4.1.Kullanılan Mazemeler

Kullanılan cam elyaflar çözgülü örgülü yapıda, çift eksenli ve 1200gr/m² yoğunluğundadır. Bu elyaflar Metyx Composites Corporation firmasına aittir. Her kompozit plaka için kumaş toplarından bu elyaflardan 75x35cm boyutlarında dörder kat kesildi.

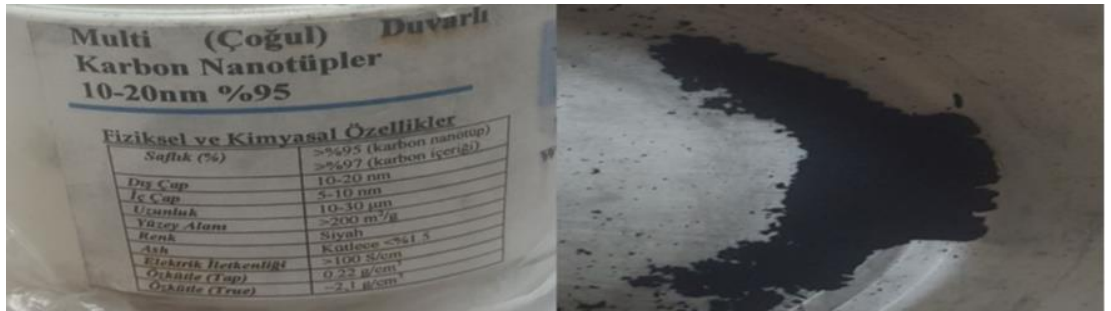
Çizelge 4.1. Cam Elyaf Özellikleri

E-Cam Elyafı	0 ⁰ derece Çözgü ipliği, tex	90 ⁰ derece Atkı ipliği, tex	0 ⁰ çözgü ipliği alan ağırlığı, gr/m ²	90 ⁰ atkı ipliği alan ağırlığı, gr/m ²	Kumaş alan ağırlığı (çözgü, atkı ve örgü ipliği) gr/m ²
LT1200E 05B 0/90 G5	2400	1200	566	614	1187



Şekil 4.1. Cam elyaf ön yüzü ve cam elyaf arka yüzü

Kesilen her kat cam elyafın karbon nanotüp takviyeli(%0,2) kompozit üretimi için kullanılacak olanlarına Ege Nanotek firmasına ait Çok Duvarlı Karbon Nanotüp(ÇDKN) etanol içinde çözülüp kumaşın ön ve arka yüzüne eşit miktarda püskürtüldü(ilerleyen bölümlerde detaylı anlatılmaktadır). Burada kullanılan ÇDKN'ler 10-20nm dış, 5-10nm iç çapında, 10-30nm uzunluğunda ve 0,22gr/cm³ özkütlesindedir.



Şekil 4.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüp

Epoksi olarak Huntsman Advanced Materials/Switzerland firmasının Araldite LY3598 isimli epoksisi kullanıldı. Bu epoksi akışkan ve çok açık sarı renkte, 25°C (ISO3219) altında 1600-2200mPa s viskozite değerinde, yine 25°C de (ISO1675) 1,10-

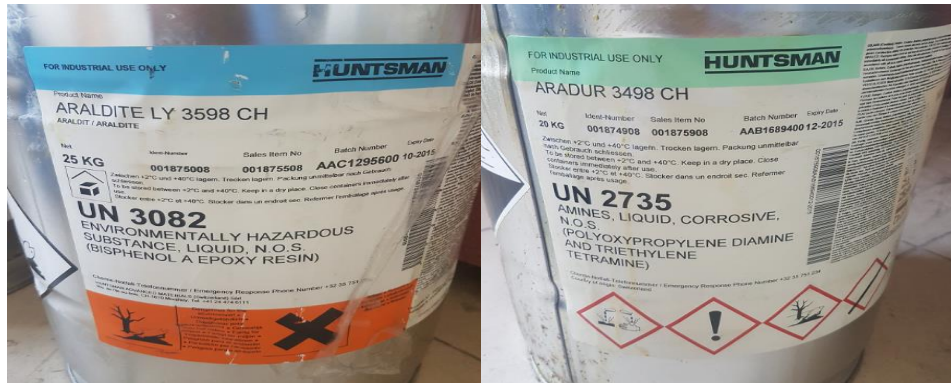
1,20gr/cm³ yoğunluğundadır. Bu epoksinin kap ömrü 23⁰C de 40-70dk, jelleşme süresi ise 70⁰C de 14-15dk arasındadır.

Epoksi sertleştirici yine Huntsman Advanced Materials/Switzerland firmasının Aradur 3498 isimli ürünü tercih edildi. Şeffaf renkte akışkan yapıda, 25⁰C de (ISO3219) 5-20mPa s viskoziteye, 25⁰C de (ISO1675) 0,95-1.0gr/cm³ yoğunluğundadır. Sertleştiricinin kap ömrü 23⁰C de 40-70dk, jelleşme süresi ise 70⁰C de 14-15dk arasındadır.

Çizelge 4.2. Reçine bileşenlerinin bazı özellikleri

	Araldite LY3598	Aradur 3498
Renk	Açık sarı	
Viskozite(25⁰C ISO3219)	1600-2200mPa s	5-20mPa s
Yoğunluk(25⁰C ISO1675)	1,10-1,20gr/cm ³	0,95-1,0gr/cm ³
Kap Ömrü	40-70dk	
Jelleşme Süresi	14-15dk	

Epoksi ve sertleştiricisinin kap ömrü ve jelleşme süreleri aynı iken yoğunluk ve viskozite değerlerinde farklılıklar vardır.



Şekil 4.3. Epoksi ve Sertleştiricisi

Epoksi ve sertleştirici karışımı 21/100 oranında kullanıldı. Her 100gr epoksi için 21gr sertleştirici ilave edildi. RTM cihazımızın kapasitesi gereğince yaklaşık olarak 2500gr toplam reçine ağırlığı üzerinden hesaplamalar yapıldı. Ayrıca aktarım işlemleri sırasında kaplarda kalabilecek reçine miktarları da göz önüne alınarak kullanılan değerlere ilaveler yapıldı. Detaylı hesaplamalar reçine hazırlanması kısmında anlatılacaktır.

4.2.Elyaf Katlarının Hazırlanması

Elyaf katları cam elyaf kumaş topundan 75x35cm kalıp ölçülerinde her plaka için dörder adet kesildi. Burada dikkat edilmesi gereken, elyaf üzerinde kaçıkların ve boşlukların olmaması, kesici aletin elyafları dağıtmaması gerekmektedir. Kesme işleminden sonra elyaf üzerinde kalan uçuntular hava yardımıyla uzaklaştırılır.

1.Plaka(%0KNT) için her kat kesildikten sonra hassas terazide tartıldı;

Kat1. 313gr, Kat 2. 313gr, Kat 3. 309gr, Kat 4. 309gr Toplam elyaf ağırlığı: 1244gr

2.Plaka(%0,2KNT) için yine her kat kesildikten sonra hassas terazide tartılmıştır;

Kat1. 312gr, Kat 2. 315gr, Kat 3. 310gr, Kat 4. 313gr Toplam elyaf ağırlığı: 1250gr

Burada, %0,2 karbon nanotüp takviyesi püskürtme yöntemiyle gerçekleştirildi.

4.2.1.Karbon nanotüp püskürtülmesi

Ortalama elde edilen kompozit ağırlığı RTM cihazımızın kapasitesi ve 4 kat kumaş kullanımıyla beraber yaklaşık olarak 2500gr gelmektedir. Bu ağırlığın yaklaşık 1250gr kadarını elyaflar oluşturmaktadır. Burdan;

$2500\text{gr} - 1250\text{gr} = 1250\text{gr}$. Buda üreteceğimiz kompozitin bulunduracağı yaklaşık reçine ağırlığıdır.

Kullanılacak karbon nanotüp miktarı ise;

$$2500 \times 0,2 = 500$$

$500 \div 100 = 5\text{gr}$. Buda toplam kompozitin içereceği yaklaşık karbon nanotüp miktarı.

Bu miktar toplam kompozit ağırlığı için geçerli olup her kumaş katına eşit miktardan püskürtülmüştür. Her kat için;

$$5 \div 4 = 1,25\text{gr}$$
 karbon nanotüp kullanılmıştır.

Püskürtmede kullanılmak üzere her kat için 100ml, 100ml ve 50ml olmak üzere (etanol/karbon nanotüp) üç çözelti hazırlandı. Bu çözeltilerin ağırlık dağılımları;

1.Kat için;

0,4954gr KNT	99,5015gr etanol
0,4930gr KNT	99,5046gr etanol
0,2468gr KNT	49,7609gr etanol

3.Kat için;

0,4959gr KNT	99,5055gr etanol
0,4997gr KNT	99,5048gr etanol
0,2483gr KNT	49,7772gr etanol

2.Kat için;

0,4934gr KNT	99,5069gr etanol
0,4940gr KNT	99,5081gr etanol
0,2470gr KNT	49,7782gr etanol

4.Kat için;

0,4996gr KNT	99,5004gr etanol
0,4940gr KNT	99,5003gr etanol
0,2456gr KNT	49,7608gr etanol

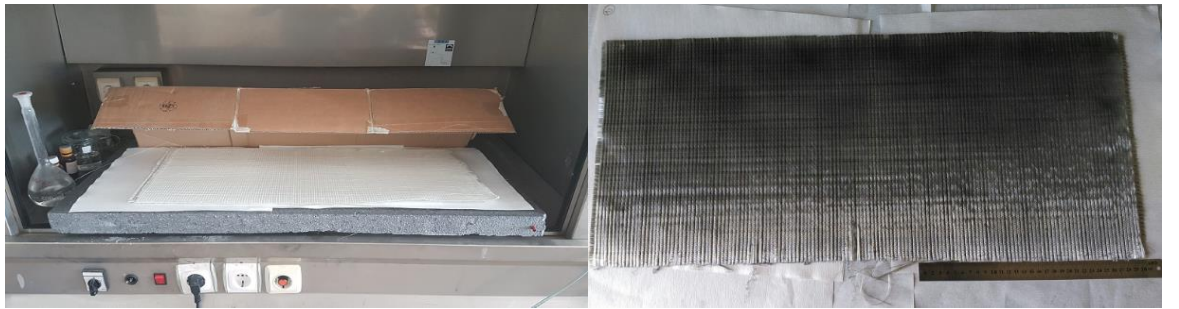
Tüm işlemler hassas terazide tartılarak yapıldı. Hazırlanan etanol ve karbon nanotüpler cam şişelere alındıklarında kap altında karbon nanotüp toplanmasını engelleme amaçlı magnet kullanıldı.

Çözelti oluşturulduktan sonra ilk olarak 7dk manyetik karıştırıcıda daha sonra 15dk ultrasonik karıştırıcıda bekletilip püskürtme cihazına aktarıldı. Püskürtme cihazına, her kat için (100ml,100ml, 25+25ml) eşit miktarda bölünen çözeltiler, el ile manuel olarak sürekli aynı yönde(sağdan sola ve soldan sağa) hareket etme şartı ile mümkün olan en düzenli şekilde püskürtme işlemi tamamlandı ve elyaflar 24 saat beklemeye alınarak etanol uzaklaştırıldı.



Şekil 4.4. Manyetik Karıştırıcı ve Ultrasonik Karıştırıcı

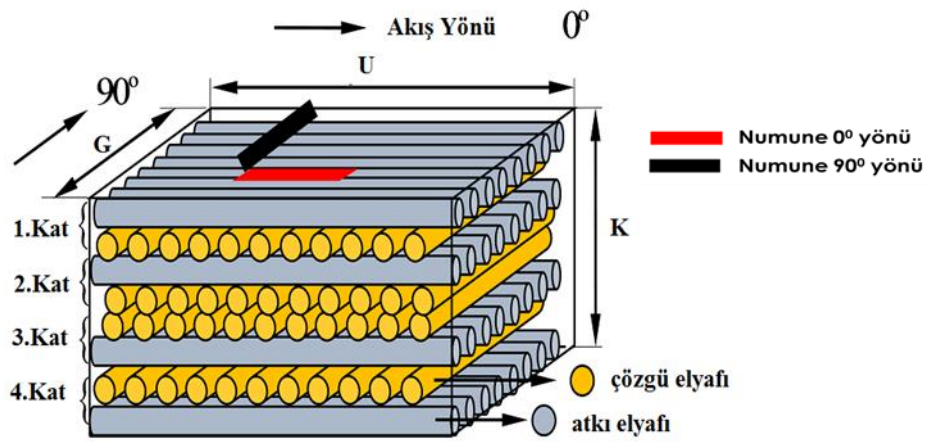
24 saat bekletilip etanol uzaklaştırılan elyaflar üretim için RTM cihazına yerleştirilebilir haldedir.



Şekil 4.5. Püskürtme alanındaki elyaf ve %0,2KNT takviyeli elyaf

4.2.2.Elyaf dizilimi

Kalıp ölçülerinde kesilen (75x35cm) cam elyaf katları, karbon nanotüp takviyeli veya takviyesiz olarak 4kat ve simetrik(2ön+2arka) olacak biçimde üst üste kalıba yerleştirildi. Yerleşimin simetrik yapılması üretilecek olan kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlıdır. Bu yerleşimin şematik olarak görseli ve açıklamaları;



Şekil 4.6. Elyaf dizilimi ve yönleri $[0^0, 90^0/0^0, 90^0-90^0, 0^0/90^0, 0^0]$ veya $(0^0, 90^0/0^0, 90^0)_s$ (Darkazali vd, 2018) (G: genişlik, U: uzunluk, K: kalınlık)

Bu yerleşim, ilk iki kat kumaş ön yüzü yukarı gelecek şekilde, sonraki iki kat ise kumaş ön yüzü alta gelecek şekilde simetrik olarak yapıldı. Böylece tüm atkı elyafı 0^0 derece ki bu ayrıca akış yönü olmaktadır, tüm çözgü elyafı ise 90^0 derece yönlenmedir. Yerleşim yapısına göre sınıflandırma yapıldığında kompozitler;

Simetrik Yapı: Bir yapının(elyaf katmanı) simetrik olabilmesi için o yapının her iki kenarının orta noktaya olan uzunluklarının aynı boyutta olması gerekir(Günel, 2007). Ör; $[90/0/90/0/0/90/0/90]$ veya $[90/0/90/0]_s$ şeklinde gösterilebilir.

Balans (Denge): Bir yapının balans durumunda olabilmesi için belirli bir kalınlığa, malzeme özelliğine ve fiber yönüne sahip plaka ile, o kompozit tabaka içerisinde kalınlık ve malzeme özellikleri aynı, fakat fiber yönü ters başka bir plakanın bulunması

gerekir. $\theta=0$ ve $\theta=90$ fiber açılarının ters açıları sırasıyla $\theta=90$ ve $\theta=0$ derecelerdir. Ör; [0/45/90/-45] ve [0/-30/60/30/90/-60] (Günel, 2007).

Açı Kat: Eğer bir kompozit tabakanın her katındaki fiberler θ ve $-\theta$ açılarında yerleşmiş ise bu kompozit tabaka açılı kat olarak adlandırılır. Örneğin; [30/-30/30/-30] veya basitçe [30/-30]₂ (Günel, 2007).

Çapraz Kat: Eğer bir kompozit tabakanın her katmanı $\theta=0$ ve $\theta=90$ ise bu kompozit tabaka çapraz kat olarak adlandırılır. Örneğin; [0/90/0/90] veya basitçe [0/90]₂ (Günel, 2007).

Yarı İzotropik: Bir kompozit tabaka simetrik ve kendisini oluşturan katmanların fiber açıları $\theta=0, +45, -45, 90$ açılarında ise bu kompozit tabakaya yarı izotropik denir. Yarı izotropik tabakalar aynı zamanda simetrik ve balanstır. Örneğin; (+45/-45/0/90)_s, (+45/0/-45/90)_s ve (+45/90/-45/0)_s (Günel, 2007).

Bu şartlar altında üretilen kompozit simetrik yapıda olmaktadır ve her yönden gelen yüke veya etkiye direnç gösterebilecek, böylece elyafların her iki yönde de (0^0 ve 90^0) kompozitte bulunması sayesinde yük taşıma kapasitesinin artması planlanmaktadır.

4.3.Reçine Hazırlanması

Kalıp ölçülerinde (75x35cm) kesilen elyaflar yaklaşık olarak 315gr gelmektedir;

$$75 \times 35 = 2625\text{cm}^2$$

$$100 \times 100 = 10000\text{cm}^2$$

$$1200 \times 2625 = 3150000$$

$$3150000 \div 10000 = 315\text{gr Yaklaşık bir kat elyaf ağırlığı}$$

$$315 \times 4 = 1260\text{gr Yaklaşık dört kat elyaf ağırlığı}$$

Kalıp kapasitesi ölçölme amaçlı bir kez dört kat elyaf ve reçine takviyesiyle üretim yapıldı ve üretilen kompozit plakanın ağırlığı ölçüldü. Yaklaşık olarak 2500gr gelen kalıp ağırlığı üzerinden değerler hesaplanarak diğer üretimler gerçekleştirildi. Bu durumda dört kat elyaf kullanılarak üretilen bir kompozit kalıpta yaklaşık 1250gr reçine mevcuttur. Üretim sırasında oluşabilecek kaçak, transfer araçlarında birikme, üretim hatası gibi durumlardan dolayı reçine her üretim için yaklaşık 2500gr hazırlandı.

Elyaflar kalıp ölçüsünde kesilip karbon nanotüp püskürtüldükten sonra kompozit üretimi için hazır hale gelmiş oldu. Kompozit üretiminde kullanacağımız reçine için ise epoksi ve sertleştirici karışımını oda şartlarında hazırlandı.

Epoksi ve sertleştiricisi 21/100 oranında oda sıcaklığında karıştırıldı. Her 100gr epoksi için 21gr sertleştirici ilavesi yapıldı. Reçine;

21/100 oranından $21 + 100 = 121$ gr reçine

1.Plaka(%0KNT);

2038gr epoksi 428gr sertleştirici

2.Plaka(%0,2KNT);

2087 epoksi 442gr sertleştirici.

Buradan da anlaşılabacağı gibi toplam kompozit ağırlığı 2500gr olurken, sadece epoksi ve sertleştiricisi kompozitte yaklaşık olarak 1250gr olmaktadır. Burdan arta kalan 1250gr kadar epoksi ve sertleştiricisi karışımı fire olmaktadır. Bu fire kullanılan kaplarda ve borularda kalan kısımlarla beraber sisteme yeterli epoksinin verilmesi için gereklidir.

Her iki plaka için hazırlanan reçine için oda şartlarında önce karışım kabına epoksi verilip daha sonra sertleştirici ilave edildi ve elle ahşap çubuk yardımıyla 5dk boyunca karıştırıldı. Tamamen karışan reçine içinde bulunduğu kapla beraber reçine transfer bölümüne yerleştirildi.

4.4.Kompozit Üretim Yöntemi

Kompozit malzeme üretim yöntemi seçilirken kullanılacak malzeme çeşidi, üretim miktarı ve ürün boyutu, üretim hızı, malzemenin üretim şartlarına uyum sağlaması ve maliyet kriterleri başlıca belirleyici olmaktadır(Solak, 2012).

Diğer malzemelerden kompoziti üstün kılaacak özelliklerin elde edilmesinde üretim yönteminin doğru seçilmesi büyük rol üstlenmektedir. Başlıca kompozit üretim yöntemleri;

1. Termoset Kompozit Üretim

- Parçalı(kesikli) Lifli Kompozitler

- SMC Kalıplama

- SRIM

- BMC Kalıplama

- Spreyleme

- Enjeksiyon Kalıplama

- Sürekli(filament) Lifli Kompozitler

- Filament Sarım

- Çekimli Ekstrüzyon

- RTM (reçine transfer metodu)

- Elle Yatırma

- Otoklav Prosesi

- Silindir Sarım

- SCRIMP (Yaldızcı, 2016)

2. Termoplastik Kompozit Üretim

- Parçalı(kesikli) Lifli Kompozitler

- Enjeksiyon Kalıplama

- Blow Kalıplama
- Sürekli(filament) Lifli Kompozitler
 - Termofom
 - Şerit Sarım
 - Baskı Kalıplama
 - Otoklav
- Diyafram Şekillendirme(Yaldızcı, 2016)(Şahin, 2015)

Bu projede, hem kullanılan cam elyaf, epoksi matriks gereği hemde laboratuvar imkanları doğrultusunda, termoset matriksli ve filament lif takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemlerinden olan RTM(reçine transfer metodu) yöntemi kullanıldı.

4.4.1.Reçine transfer metodu(RTM)

Kompozit malzemeler için farklı üretim yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan biri, özellikle havacılık endüstrisindeki yüksek standartlara uygun kompozit parça üretimi sağlayan termoplastik kompozit üretim yöntemlerinden RTM yöntemidir.

Bu yöntemde, ısıtılabilen iki kalıp arasına (alt ve üst kalıp) yerleştirilen tek katmanlı veya çok katmanlı takviye malzemesi (elyaf, keçe vb.) kalıplar tarafından sıkıştırılır, ortama vakum yardımıyla reçine transferi yapılır ve daha sonra takviye malzemesi ve reçine belirli sıcaklıkta belirli süre ile bekletilerek kompozit malzeme elde edilir.



Şekil 4.7. Reçine Transfer Metodu cihazı

RTM üretim prosesinin aşamaları şu şekildedir;

1. Prosedür, kompozit üretimi için kullanılacak olan cam fiber katmanların kumaş topundan kesilmesiyle başlar. Elde edilmek istenilen kompozit plakanın ölçülerinde cam fiberler tabaka tabaka kesilir.
2. Kullanılacak kalıbın yüzeyi AXEL release ile temizlenir. Temizleme işlemi, üzerine AXEL release dökülmüş bir mendil ile kalıbın her iki yüzeyi için de gerçekleştirilir. Kalıp toplamda beş altı defa silinerek temizlenir ve her bir silme işlemi ardından 15 dakika beklenir. (AXEL release: AXEL firmasına ait kalıp ayırıcıdır. Üretilen kompozit plakanın kalıptan kolayca ayrılmasını sağlamak için kullanılır.)
3. RTM yüzeyleri hazırlandıktan sonra kalıbı vakum için hazır hale getirmek gerekir. Öncelikle uçları sivri hale getirilmiş ve yağ ile kayganlaştırılmış olan polietilen hortumlar kalıbın çıkış portlarına yerleştirilir. Hortumların iyice sıkılması çok önemlidir.
4. Hortumlar takıldıktan sonra, enjeksiyon pompası monte edilir. Öncelikle test amaçlı olarak hava çıkışı 5 bara ayarlanır ve enjeksiyon pompasına yerleştirilir. Laboratuardaki su filtreli hava çıkışı da ayrıca takılır. Sonrasında pompa, hava ile test edilir.

5. Çıkış portlarına takılan hortumlar uzun vakum tankına bağlanır, kablo tankın içerisinde beyaz bir kaba bırakılmıştır. Bu, sisteme epoksi enjekte edildiğinde çıkıştan akan fazla epoksiyi almak içindir. Bu uzun tank sistemi de ayrıca vakum pompasına bağlanır. Sisteme verilecek epoksiyi ayarlamak için iki ayrı tank kullanılır. Önce enjeksiyon pompasından gelen bağlantı ilk tanka bağlanır. Ayrıca 5 barlık hava borusu da bu tanka bağlanır. Birinci tank, ikinciye bağlanır ve en son da ikinci tank vakum pompasına takılır. Direkt olarak ilk tankla vakum pompasının bağlanmamasının nedeni, olası bir durumda epoksinin vakum pompasına yönelmesini önlemek içindir.
6. İlk tankın içine konacak olan kapta epoksi ve sertleştirici karıştırılır. Bu kap ilk tanka yerleştirilir ve kapta küçük bir delik açılır. Sonra bütün sistem kapatılarak vakuma bağlanır. Sistemde kaçak olup olmadığı dikkatlice kontrol edilmelidir.
7. Elyaf lar şematik çizimleri belirtildiği gibi kalıba yerleştirilir (Bir sonraki bölümde detaylı anlatılmıştır.)
8. Elyaf ların kenarlarında bulunan iplikler temizlenir ve vakum için gereken o-ring'ler kalıpta yer alan bölmelere yerleştirilir.
9. Kalıp kapatıldığında her tarafın eşit miktarda sıkılması çok önemlidir. Sıkma işlemi klamplar çapraz kapatılarak yapılır, en son kalıbın ortasındaki klamplar kapatılır.
10. Çıkış portlarına takılan iki hortum, somun kullanılarak kapatılır. Vakum çalıştırılır ve çıkış portlarının bağlandığı tank vakuma alınır. Sonra epoksi enjekte sistemindeki ikinci tank vakuma alınır ve her seferinde vakum basıncı kontrol edilir.
11. Sonra ikinci tankın vakumla olan bağlantısının kapalı olduğuna emin olduktan sonra, birinci tanka bağlanan hava borusunun yardımıyla epoksi enjeksiyon pompası sistemine aktarılır. Aktarma işlemi 10 dakika boyunca sürdürülür. Bu işlem sırasında epoksinin kalıpla olan bağlantısının kapalı olduğuna dikkat edilir. Bu sayede enjeksiyon sistemindeki bütün hava dışarı atılır.
12. Bu işlemden sonra, reçine tankının vakum bağlantısı ve ikinci tanka giden vakum portu kapatılır.
13. Epoksi enjeksiyonu için basınçlı reçine kabındaki kuru hava basıncı 0.2-0.4 bar civarında başlatılabilir. Eğer elyaf türü çok sıkı değilse, 1 barın altındaki bir basınçta reçine yavaşça ilerleyecektir. Basınç ayarlanır ve enjeksiyon pompasının kalıpla olan bağlantısı açılır ve epoksi kalıba verilir.

14. Epoksi kalıbı doldurur ve çıkış portlarında somunun kapattığı kısma gelir. Burada somunlar çıkarılarak epoksinin borulardan yavaş yavaş akması sağlanır. Bu işlem kalıba gelen epoksideki baloncuklar yok olana dek yapılır ve sonra borular somunlarla tekrar kapatılır. Epoksi aktarım işlemi kalıpta baloncuk kalmaması için çok yavaş yapılmalıdır. Somunlarla kapattıktan 30 saniye sonra da enjeksiyon pompası kapatılır.
15. Bu işlemlerden sonra paneller 65°C kür sıcaklığında 24 saat bırakılır ve sonra 80°C’de post kür için bir 24 saat daha bırakılır.

Bu yöntemde reçine viskozitesi elyafı ıslatacak kadar düşük olmalı, uygun şartlarda sertleşebilmeli, malzeme kalıptan kolay çıkmalı, kalıp her köşesinden eşit şekilde sıkıştırılmalı ve boşluk kalmamalı, tüm bağlantı borularındaki hava dışarı alınmalı ve kaçak olmamalı, her üretimden sonra tekrar kullanılacak borular aseton ile iyi derecede temizlenmeli. Bunların haricinde fiber oranı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon ve havalandırma yollukları, kalıp sıcaklığı, vakum, reçine sıcaklığı faktörleri de üretilen kompozitin kalitesini etkilemektedir(Gülner, 2016).

Genellikle epoksi, polyester ve vinylester reçineler kullanılır. Elyaf olarak her çeşit elyaf kullanılabilir. Özellikle dokunmuş elyaflar reçine ilerlemesinde avantaj sağlamaktadır.

RTM yöntemi avantajları;

- Üretim hızı kısmen yüksek
- Fiber reçine oranı ayarlanabilir
- Kapalı üretim olduğu için insan kaynaklı hatalar az ve sağlık açısından güvenli
- Bazı yöntemlere göre düşük iş gücü
- Son ürünün iki yüzeyi de aynı kalitededir
- Küçük karmaşık malzemeler üretilebilir

Dezavantajları;

- Kalıplar pahalıdır. Basınca dayanıklı olmalı ve bu nedenle de ağırdır.
- Üretim küçük parçalar halinde gerçekleşir. Bu da maliyeti artırır.

- Reçine transferinin bazı noktalara geçmemesi(hava boşluğu) ihtimali vardır. Artık malzeme maliyeti artar.

Bu yöntemle üretilen kompozit malzemeler çoğunlukla uçak gövdelerinde ve otomobillerde kullanılır(Yaldızcı, 2016).





5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada üretilen kompozitlere uygulanılacak test yöntemi Charpy darbe ve Darbe sonrası basma testi(iki aşamada uygulanmaktadır) daha sonra detaylı olarak anlatılacaktır.

5.1.Elyaf Hacim Oranları

Kompozit malzemede birim alana düşen elyaf miktarı mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Bu oran yakma testi yardımıyla hesaplanmaktadır.

5.1.1.Yakma testi

Bu testin temel prensibi üretilen kompozitlerden alınan numunelerin, kompozit üzerindeki reçineyi eritip buharlaştıracak kadar yüksek sıcaklıklara çıkabilen kül fırınında bekletilerek, test öncesi ve sonrası ağırlık farkının hesaplanmasıyla elyaf hacim oranının hesaplanmasıdır.

Bu test ASTM D3171-99 standartlarına göre, üç aşamada yapıldı,

- Öncelikle numunenin yoğunluğu (ρ_c), kütlesi (M_i) ve kullanılan numune kaplarının ağırlıkları ölçüldü.
- Matris malzemesi 620⁰C'lik kül fırınında numunenin 5saat bekletilmesiyle buharlaştırıldı.
- Kül fırınından alınan kaplarda kalan takviye elmanı liflerin kütlesi (M_f) tartıldı, ve bazı formüller kullanılarak elyaf hacim oranı (V_r), ağırlık oranı (W_r) hesaplandı.

Formüller;

$$V_r = M_f/M_i \times 100 \times \rho_c / \rho_r$$

$$W_r = M_f/M_i \times 100$$

ρ_r : Elyaf yoğunluğu 2,60

ρ_c : Teorik Yoğunluk

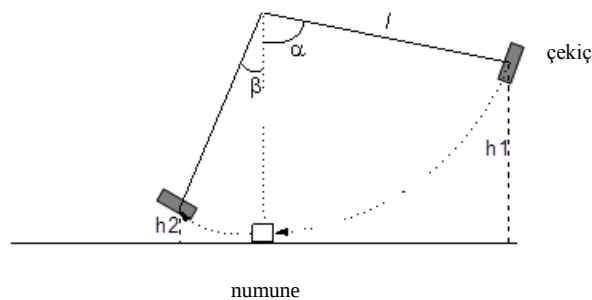
$$\rho_c = \frac{100}{\frac{R}{D} + \frac{r}{d}}$$

5.2.Charpy Darbe Testi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir. Bu deneyin temel prensibi Şekil 5.1.'de şematik olarak gösterildiği gibi, bir 'l' uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir G ağırlığına sahip çekiç belli bir h1 yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılır. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi G.h1 iken numune kırıldıktan sonra belli bir h2 yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi G.h2 olur. Bu durumda Kırılma Enerjisi (K.E.) =G.h1-G.h2 olarak ifade edilir. Buna göre

K.E.=G(h1-h2)=G.l.(Cos β -Cos α) olarak ifade edilir. Burada l sarkaç boyudur. Buradan, β salınım açısı ve h2 yüksekli ne kadar az gerçekleşirse kırılan o malzemenin ne kadar çok darbe direnci yada yüksek tokluk gösterdiği anlaşılır. Burada numen ölçüsü 80mmX10mm'dir.

Burada numune çekme deney numunesi standartlarına göre hazırlanır. Charpy deneyinde numune yatık konumdadır. (www.gazi.edu.tr)



Şekil 5.1. Darbe testi (www.gazi.edu.tr)

5.3.Darbe Sonrası Basma Testi(CAI)

Kompozit malzemelere çok sayıda mekanik test uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları; çekme testi, eğme testi, basma testi, çarpma(darbe) testi, kısa kiriş kayma testi gibi. Bu yapılan testler kompozitin kullanılacağı alana ve kompozitten beklenen özelliklere göre değişebilmektedir.

Kompozit malzemeler otomotiv, uzay ve havacılık sanayinde yüksek oranda kullanılmaktadırlar. Bu durumda otomobil veya uçak gövdesinde kullanılan kompozit malzeme darbe, çarpma ve basma gibi dış etkenlere maruz kalmaktadır. Bu durumlara uçakların maruz kalabileceği kuş veya cisim çarpması ve sonrasında çarpma alanının maruz kalacağı basınç, otomobillerin yaya, otomobil veya herhangi bir cisme çarpması gibi durumlar örnek verilebilir.

Bu durumların karakterizasyonu için kullanılan testlerden birisi de bizim kendi ürettiğimiz kompozitlere uyguladığımız Darbe Sonrası Basma Testi (Compression After Impact Test)dir. Bu test ayrıca uçak üretici firmalarından Boeing ve Airbus tarafından kullanılmakta ve bu teste ait kendi standartları bulunmaktadır. (<https://www.zwick.com/>)

Bu test iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle düşen bir ağırlık ile kompozit darbeye maruz bırakılır ön hasar oluşturulur, daha sonra darbeye maruz bırakılan numune basma testine sokularak hasarlı numunenin basınç direnci ölçülür.

Bu testin iki aşamada yapılmasının sebebi;

- Düşen ağırlık testi ile numuneye önce darbe (çarpma) uygulanması,
- Daha sonra statik test makinesi ile darbe uygulanmış numunenin basınç direnci ölçülmesi gerekliliğidir.

5.3.1.Düşen ağırlıkla darbe testi

Burada 6.72cm yükseklikten, 6,6kg ağırlığında, 3,63 m/sn hızında ve 43,3 joule enerjiye sahip numune üzerine, belli bir enerjiye sahip ağırlık düşürülmektedir. İki

yatay mesnete yaslanan numunenin çentik tabanına, bir sarkacın ucundaki ağırlıklı darbe yapılarak numunenin tabanındaki gerilmeler ve kırılma için harcanan enerji tespit edilir. Bu test cihazında ağırlığın numuneye çarpma hızı ve çarpma sonrası geri dönüş hızı, ağırlığın düşme süreci, numunede meydana gelen hasar boyutu (derinlik) ölçülebilmektedir.

Teste giren numunenin malzeme özellikleri uygulanan testin sonuçlarını etkileyen parametredir. Numunede kullanılan epoksi, elyaf katmanları, elyafların yönü kullanılan takviye elemanları (karbon nanotüp gibi) yapıyı oluşturmakta ve test sonuçlarını ortaya çıkarmaktadır.

Bu testte kullanılacak olan numuneler 150mm X 100mm boyutlarındadır.



Şekil 5.2. Darbe test cihazı (düşen ağırlıklı test) (<https://www.zwick.com/>)



Şekil 5.3. Darbe testi numune yerleştirme bölgesi (numune tutucular) (<https://www.zwick.com/>)

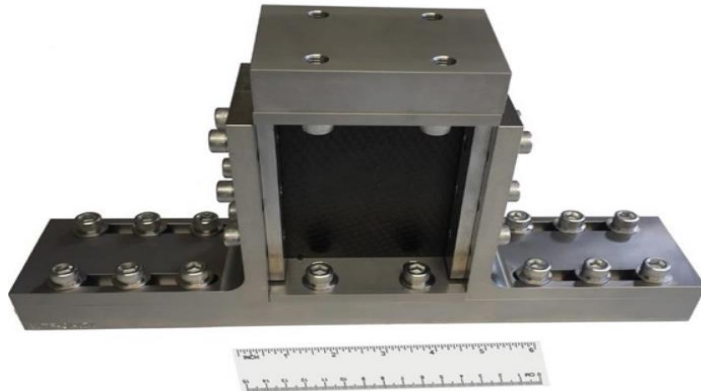
5.3.2.Darbe sonrası basma testi

Burada, önceden fiziksel karakterizasyonu yapılmış ve darbe uygulanmış numunenin daha sonra maruz kalacağı basınca göstereceği direnci ölçmek için test uygulanır. Bu testte ortaya çok yüksek sıkıştırma kuvveti çıkmaktadır.

Bu test yönteminde numuneleri tutmak için özel tasarlanmış aparatlar kullanılır. Genel olarak kullanılan dört farklı markaya ait (ASTM, Boeing, SACMA, DIN) aparat vardır. Test için kullanılan ISO, EN ve Airbus standartları numuneyi alt ve üst uçlarından sıkıştırarak tutarlar. ASTM, DIN ve Boeing standartlarında ise numune dört kenarından da klavuzlanmış pozisyonudadır.(<https://www.zwick.com/>)



Şekil 5.4. ISO, EN ve Airbus standartlarına ait basma aparatı <https://www.zwick.com/>



Şekil 5.5. ASTM, DIN ve Boeing standartlarına ait basma aparatı (<https://www.zwick.com/>)

Burada kullanılan numunenin boyutları ASTM standartlarına göre; 150mm X 100mm ve kalınlığı da en az 3mm (bizim numunelerimiz yaklaşık olarak, karbon nanotüpsüz olanlarda 6mm, karbon nanotüplü olanlarda 5mm kalınlıkta) olacak şekilde hazırlanmıştır. Burada cihaz yaklaşık olarak 88,5kN yük ve 1mm/dk hız ile testi uygulamıştır. Bu test sonucunu, ilk aşamada yapılan darbe testinin numunede meydana getirdiği hasar miktarı doğrudan etkilemektedir.



6.DENEYSEL SONUÇLAR

6.1.Yakma Testi Sonuçları

Bu test ile elde edilen elyaf ağırlık oranından, kompozit malzemede birim alana düşen elyaf miktarını hesaplanmaktadır. Birim alana düşen elyaf oranı arttıkça kompozit malzemenin mekanik özellikleri iyileşirken, belli bir seviyeden sonra mekanik özellikler bozulmaya başlamaktadır.

Çizelge 6.1. Yakma testi numune değerleri ve hacim oranları

	Numune	Kalınlık (mm)	En (mm)	Boy (mm)	Hacim (mm ³)	Kap ağırlığı (gr)	Yakma öncesi ağırlık (gr)	Yakma sonrası ağırlık (gr)	Numune yoğunluğu (gr/cm ³)	Elyaf ağırlığı (gr)	Cam Elyafının Yoğunluğu (gr/cm ³)	Hacim oranı (%)	Ortalama
%0CNT	A	5,14	14,7	23,9	1,81	23,5	26,5	25,1	1,64	1,61	2,60	34,3	35,6
	B	4,89	13,2	22,7	1,46	19,1	21,6	20,5	1,69	1,39	2,60	36,4	
	C	4,97	13,9	19,4	1,34	17,9	20,2	19,2	1,69	1,26	2,60	36,1	
%0,2CNT	A	4,63	21,2	21,4	2,11	19,7	23,4	21,9	1,74	2,21	2,60	40,2	38,3
	B	4,87	20,5	17,5	1,75	22,6	25,6	24,3	1,69	1,72	2,60	37,7	
	C	4,84	17,3	14,0	1,17	19,8	21,8	21,0	1,68	1,13	2,60	37,0	

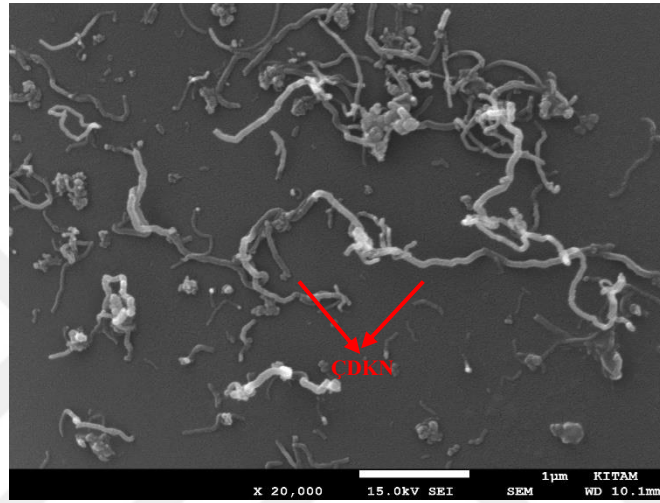
Yapılan testler sonucunda her iki numuneden de (%0CNT ve %0,2CNT) örneklerin elyaf hacim oranının yaklaşık olarak %35-%40 aralığında olduğu gözlemlenmiştir.



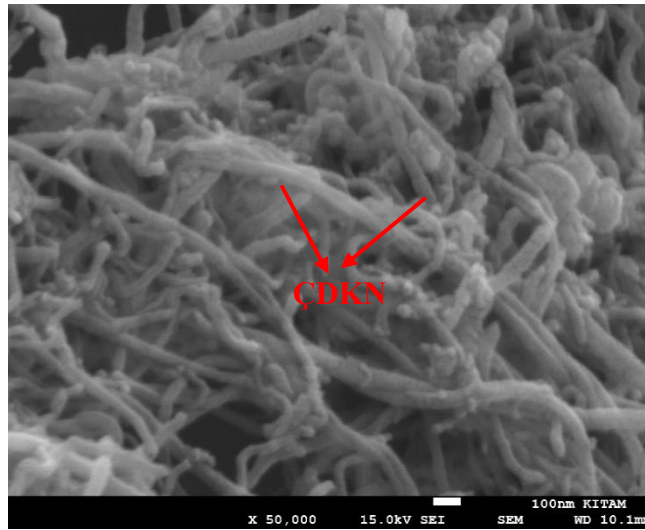
Şekil 6.1. Kül fırını ayar ekranı(620⁰C'de), numune kapları fırın içi pozisyonu, reçinesi uzaklaştırılmış elyaflar (soldan sağa)

6.2.Taramalı Elektron Mikroskopi(SEM) Analizi

Ürettiğimiz karbon nanotüp takviyeli(%0,2) kompozit numunelerin yüzey analizi SEM ile gerçekleştirildi. SEM ile görüntüleri alınan numuneler üzerindeki karbon nanotüplerin bağlanma pozisyonları incelendi.



Şekil 6.2. Cam elyaf yüzeyindeki karbon nanotüp görüntüsü (Taramalı elektron mikroskopi x20.000 büyütme oranı)



Şekil 6.3. Cam elyaf yüzeyindeki karbon nanotüp görüntüsü (Taramalı elektron mikroskopi x50.000 büyütme oranı)

6.3.Charpy Darbe Testi Sonuçları

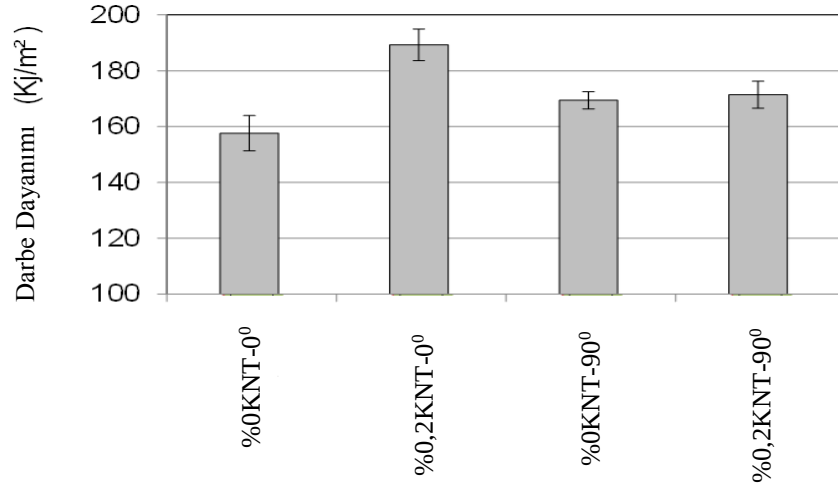
Bölüm 5.2.'de uygulaması ve elde edilebilecek değerleri anlatılan Charpy darbe testi sonuçları aşağıdaki gibidir.

Test, dört kat elyaf kullanılarak (bkz. Şekil 4.6.) üretilen kompozit plakalardan, 3 adet 0°(atkı yönü) karbon nanotüp takviyeli, 3 adet 90°(çözgü yönü) karbon nanotüp takviyeli, 3 adet 0°(atkı yönü) takviyesiz, 2 adet 90°(çözgü yönü) takviyesiz numunelere uygulandı. Burada yönden kasıt darbenin geliş yönü ile numunede çarpacağı elyafların yönü kastedilmektedir. Darbe 0° derece yönünde kesilen numuneye atkı yönünde çarparken, 90° yönünde kesilen numuneye çözgü yönünde çarpmaktadır. Numune boyutları 80mm X 10mm iken, numune kalınlıkları 5-6mm civarlarında değişmektedir.

Çizelge 6.2. Charpy darbe testi sonuçları

Numune	Enerji (Joule)	Darbe Dayanımı(Kj/m ²)	Kalınlık (mm)
90°-Hunt-0-KNT-1	15,6	166,2	5,75
90°-Hunt-0-KNT-2	15,6	172,5	5,55
0°-Hunt-0-KNT-1	15,4	164,3	5,91
0°-Hunt-0-KNT-2	15,6	149,2	6,41
0°-Hunt-0-KNT-3	15,4	159,2	6,11
90°-Hunt-0,2-KNT-1	13,8	166,6	5,26
90°-Hunt-0,2-KNT-2	14,9	176,1	5,33
90°-Hunt-0,2-KNT-3	13,1	156,5	5,24
0°-Hunt-0,2-KNT-1	14,9	197,2	5,00
0°-Hunt-0,2-KNT-2	14,9	186,7	5,15
0°-Hunt-0,2-KNT-3	14,9	184,0	5,28

Çizelge 6.2.'den anlaşılacağı gibi karbon nanotüp takviyesi kompozit numunenin Charpy darbe testinde darbe dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek değeri ise 0° yönündeki %0,2KNT takviyeli KNT-1 numunesi elde etmiştir. Bu da gösteriyor ki KNT takviyesi ile artan darbe dayanımına numune yönünün de etkisi vardır. Kompozit malzeme içinde bulunan elyafların yönü, yükün temas yönüyle daha yakın olduğunda, yükü elyafların taşıması sebebiyle mekanik sonuçları doğrudan değiştirmektedir.

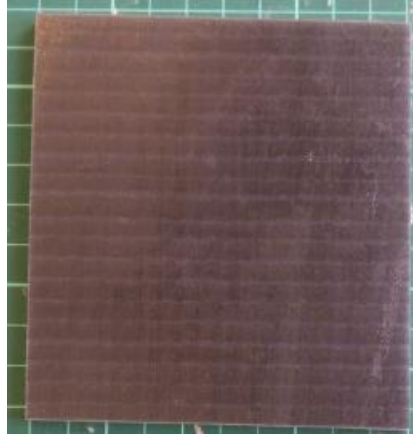


Şekil 6.4. Charpy darbe testi grafik sonuçları

Çizelge 6.2.'deki ve Şekil 6.4.'deki grafikte bulunan tüm numuneler değerlendirmeye alındığında 0^0 yönündeki numunelerin darbe dayanımının karbon nanotüp takviyesiyle yaklaşık olarak %20 oranında arttığı gözlemlenirken, 90^0 yönündeki numunelerde ise karbon nanotüp takviyesi ile az da olsa artış olduğu gözlemlenmiştir. Kompozit malzemede yük taşıma görevini takviye elemanı olan elyaflar üstlendiği için, malzemeye uygulanan darbe ne kadar çok elyafla aynı doğrultuda olursa yük o kadar fazla taşınabilmektedir. Buda elyaf yöneliminin ve elyaf yoğunluğunun önemini göstermektedir. Bu nedenle, kullanım alanında kompozite etki edecek yükün yönünü çoğu zaman önceden bilmek mümkün olamayacağı için(değişken yönlerde olacaktır) üretilen kompozitlerde dört kat elyafı farklı yönlerde simetrik olarak yerleştirildi. Bu konu bölüm 4.2.2.'de detaylı olarak anlatıldı.

6.4.Düşen Ağırlık Darbe Testi Değerlendirmesi

Darbe sonrası basma testinin ilk basamağı olan bu testte bölüm 5.3.1'deki düşen ağırlık darbe testi uygulandı ve aşağıdaki sonuçlar elde edildi. Şekil 6.5. ve Şekil 6.6. darbe testi öncesi numuneleri göstermektedir.



Şekil 6.5. Darbe testi öncesi %0,2KNT takviyeli numune



Şekil 6.6. Darbe testi öncesi KNT takviyesiz numune

Bu test, üniversitemiz bünyesinde imkanları bulunmadığından Mir AR-GE A.Ş. firması ile çalışılarak, numunelerin gönderilmesiyle firmanın kendi laboratuvarlarında uygulanmış ve test sonuçları elde edildi.

Çizelge 6.3. Düşen ağırlık darbe testi derinlik sonuçları

Düşen Ağırlık Darbe Testi Sonuçları									
Numune Adı	Enerji (J)	Hız (m/sn)	Düşme Yüksekliği (mm)	Ağırlık (kg)	V (hız)	V _r	Ort. V _r	Derinlik (mm)	Ort. Derinlik (mm)
Hunt-0-KNT-1	43,3	3,63	672	6,6	3,66	2,66	2,64	0,24	0,21
Hunt-0-KNT-2	43,3	3,63	672	6,6	3,66	2,63		0,24	
Hunt-0-KNT-3	43,3	3,63	672	6,6	3,66	2,64		0,16	
Hunt-0,2-KNT-1	43,3	3,63	672	6,6	3,66	2,70	2,74	0,10	0,28
Hunt-0,2-KNT-2	43,3	3,63	672	6,6	3,66	2,80		0,39	
Hunt-0,2-KNT-3	43,3	3,63	672	6,6	3,66	2,73		0,35	

Bu testte ‘V’ değeri numuneye ağırlığın çarpma anındaki hızını, ‘V_r’ değeri ise ağırlığın numuneye çarpıp geri dönüş hızını m/sn cinsinden temsil etmektedir. Derinlik değerleri ise ağırlığın kompozit numuneye çarpma etkisiyle numune üzerinde oluşturduğu hasarın derinliği olmaktadır.

Ağırlığın numuneye çarpma öncesi ve çarpma sonrası hız değerleri karşılaştırıldığında, karbon nanotüplü numunelere çarpıp geri dönen ağırlığın hızının daha yüksek olduğu görülmektedir. Karbon nanatüp katkılı numunelerin darbe dayanımı daha yüksektir. Bu da numenin ağırlığa verdiği tepkiyle alakalı bir durumdur. Karbon nanotüp takviyeli numuneler ağırlığa daha tok tepki vermiş ve ağırlığın hızını bir miktar daha fazla korumasını sağlayarak geri yansıtmıştır. Darbe derinliğinin artmasına ise artan yüzey alanı ve toklukla ters orantılı olması sebep olmuştur.

6.5.Darbe Sonrası Basma Testi Değerlendirmesi

Testin ikinci basamağı ve asıl amacı olan, darbeye uğramış ve fiziksel karakterizasyonu, değerlendirilmesi yapılmış numuneye bölüm 5.3.2.’de detaylı olarak anlatılan basma testi uygulandı.

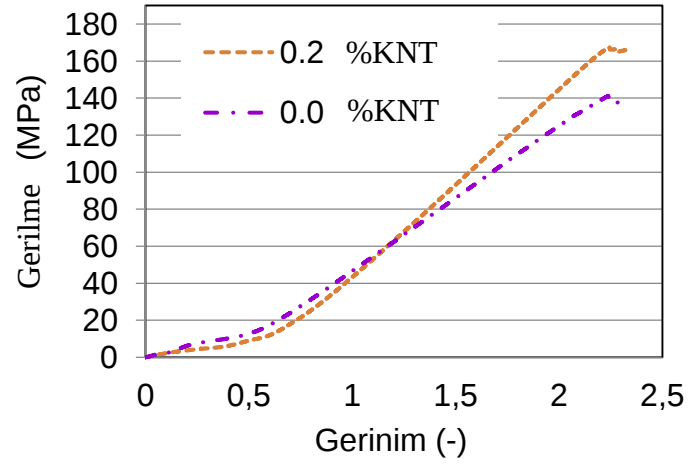
Bu testte 3 adet %0,2KNT takviyeli numune ile 2 adet %0KNT takviyesiz numunenin sonuçlarını verimli olarak karşılaştırma imkanı bulundu. Çizelge 6.4., 6.5.,

6.6., 6.7. ve 6.8. uygulanan test sonucunda farklı numunelerin sonuçlarını göstermektedir.

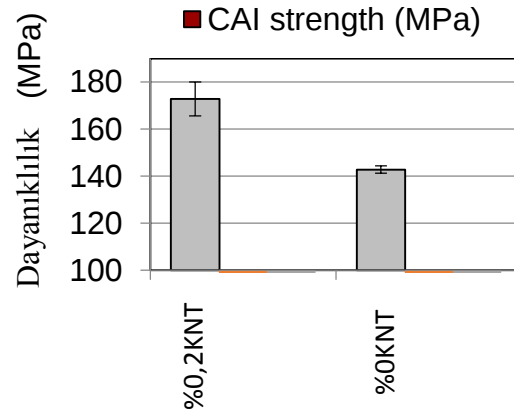
Çizelge 6.4. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0KNT takviyesiz ve %0,2KNT takviyeli numunelerin sonuçları(1)

Darbe Sonrası Basma Testi Sonuçları			
Numune	Dayanım σ_0 (MPa)	Modülüs E_0 (GPa)	Uygulanan Kuvvet (N)
Hunt-0-KNT-1	141,18	4,14	88466
Hunt-0-KNT-2	144,42	1,59	89880
Hunt-0,2-KNT-1	169,22	0,71	82299
Hunt-0,2-KNT-2	180,99	3,33	88643
Hunt-0,2-KNT-3	168,31	1,52	81860

Şekil 6.7. ve 6.8. ise iki farklı numunenin (%0 ve %0,2) karşılaştırması olarak;



Şekil 6.7. Darbe sonrası basma testi %0,2KNT(1) numunesi ve %0KNT(1) numunesi grafiksel karşılaştırma(1)



Şekil 6.8. Darbe sonrası basma testi %0,2KNT(1) numunesi ve %0KNT(1) numunesi grafiksel karşılaştırma(2)

Grafiksel sonuçlardan ve çizelgelerden elde edilen değerler incelendiğinde görülmektedir ki; %0,2KNT takviyeli numunenin darbe dayanımını %0KNT takviyesiz numuneden %21 daha yüksektir.

6.6.Kırılma Analizi

Numunelerin CAI testi sonrası enine kesitlerinde meydana gelen kırılmalar ise Şekil 6.9., 6.10., 6.11. ve 6.12.'de gösterilmiştir.



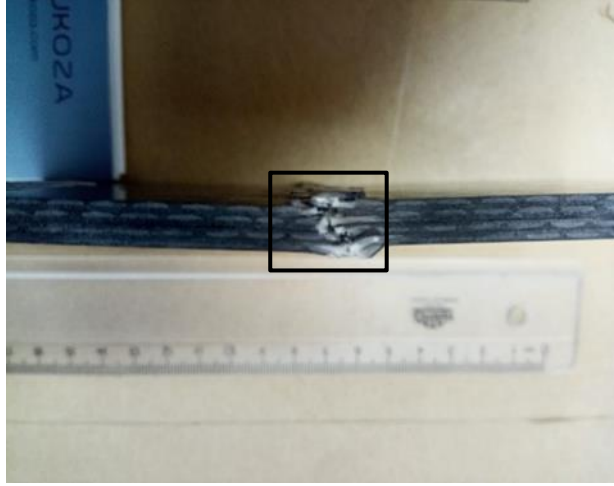
Şekil 6.9. Darbe sonrası KNT'siz numune(1)



Şekil 6.10. Darbe sonrası %0,2KNT takviyeli numune(1)

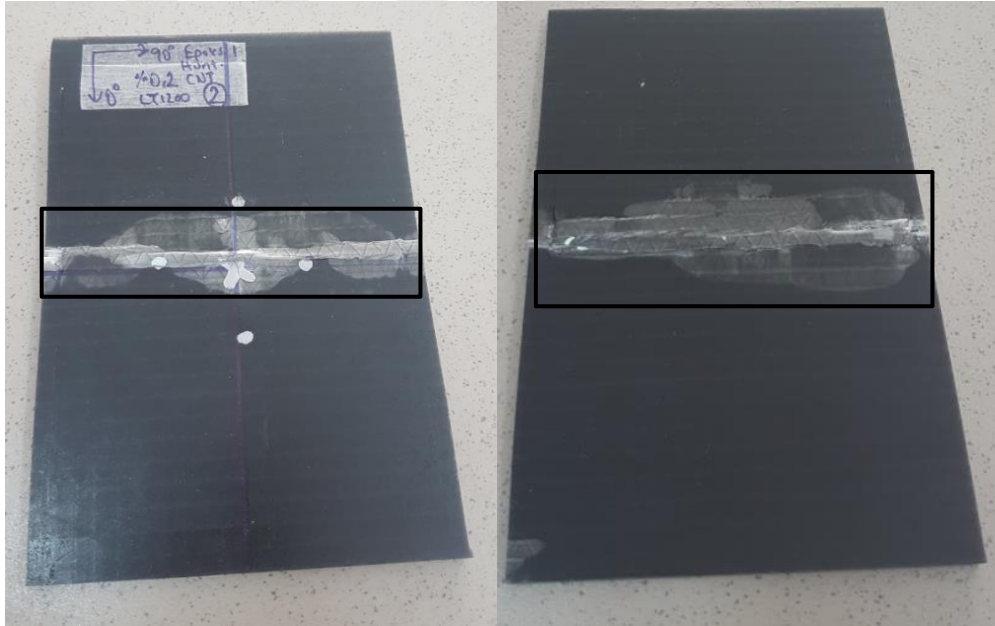


Şekil 6.11. Darbe sonrası KNT'siz numune(2)

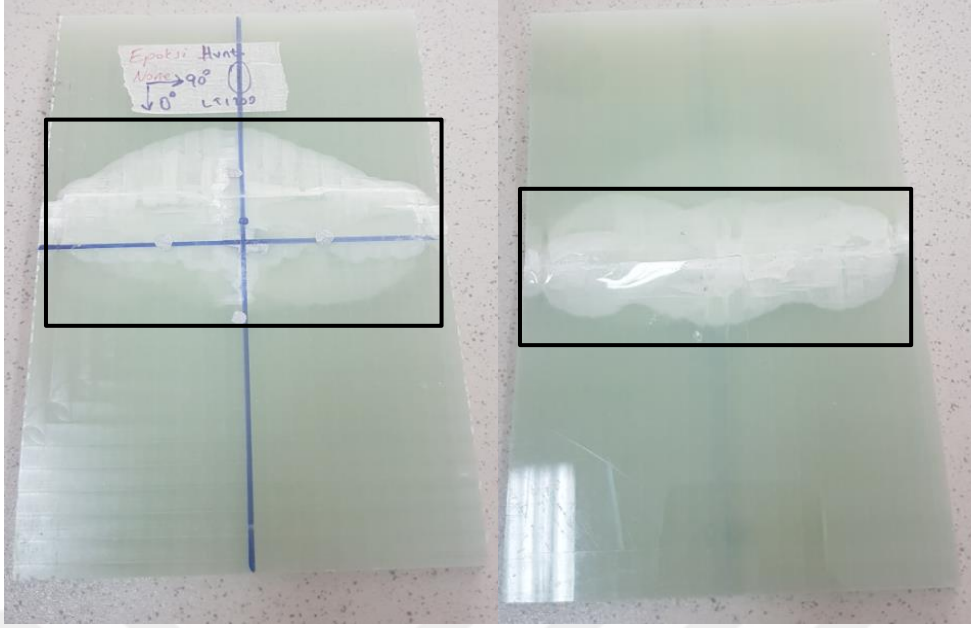


Şekil 6.12. Darbe sonrası %0,2KNT takviyeli numune(2)

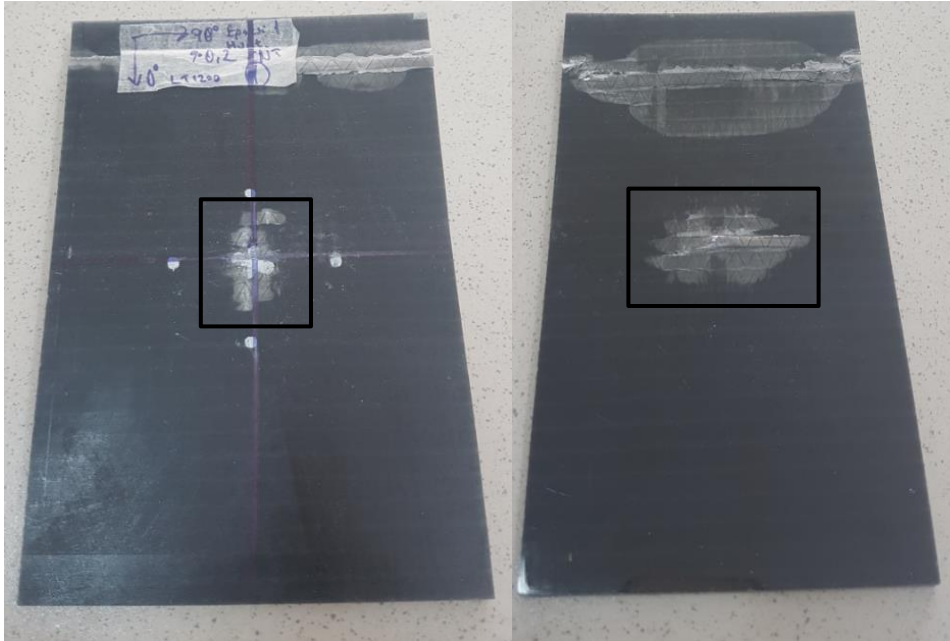
Bu kırılma analizlerine göre kompozitlerde elyaf, matriks kat ayrılma kırıkları ve aynı zamanda kat ayrılma diye tabir edilen delaminasyonlar gözlemlenmiştir. Şekil 6.13., 6.14., 6.15. ve 6.16. bu delaminasyonları göstermektedir.



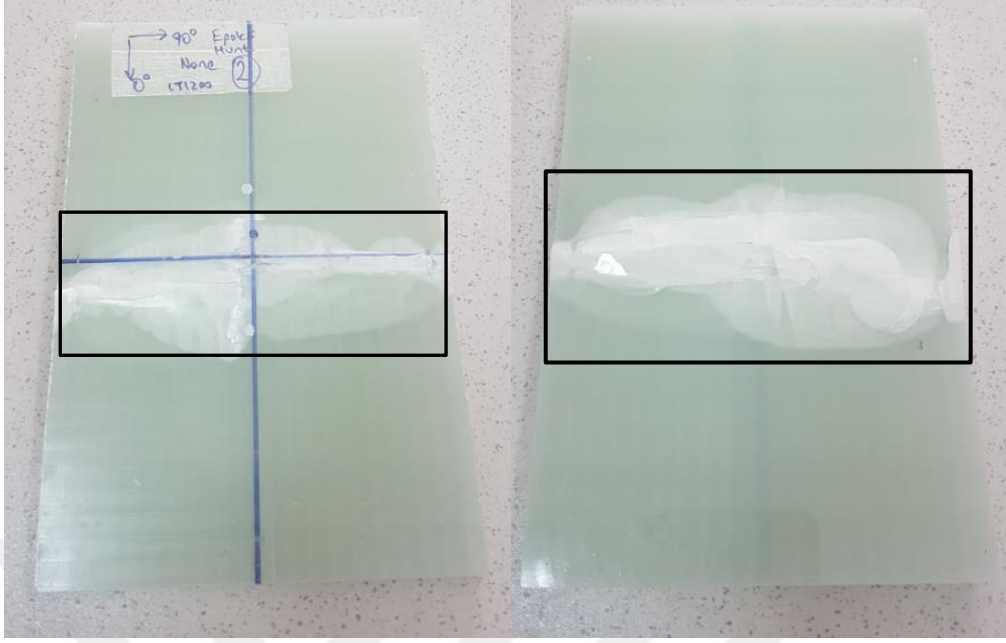
Şekil 6.13. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0,2KNT takviyeli numune önden ve arkadan görüntüsü(1)



Şekil 6.14. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0KNT takviyesiz numune önden ve arkadan görüntüsü(1)



Şekil 6.15. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0,2KNT takviyeli numune önden ve arkadan görüntüsü(2)

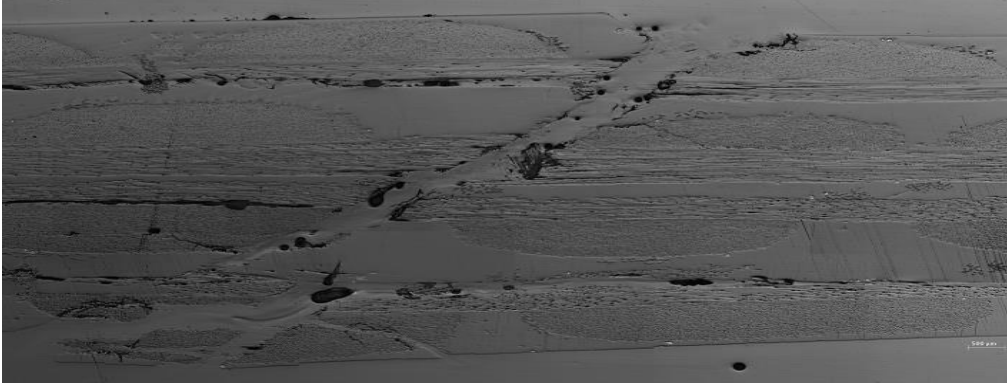


Şekil 6.16. Darbe sonrası basma testi uygulanmış %0KNT takviyesiz numune önden ve arkadan görüntüsü(2)

Optik mikroskopla alınan enine kesit görüntülerini incelemek gerekirse;



Şekil 6.17. %0 takviyesiz numune optik mikroskop enine kesit görüntüsü



Şekil 6.18. %0,2 takviyeli numune optik mikroskop enine kesit görüntüsü

Darbe sonrası basma testine girmiş numunelerin görüntüleri incelendiğinde, %0,2KNT takviyeli numunelerin üzerindeki kırılmaların, çatlakların ve hasarın, %0KNT takviyesiz numunelere göre daha az yayıldığı, daha küçük çatlaklar ve kırılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu da karbon nanotüp takviyesinin kompozitlerde hasar oluşumunu azalttığının göstergesidir.



7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1.Sonuçlar

Üretimin ve testlerin sonuçlarını değerlendirecek olursak; üzerlerine kompozit plakanın toplam ağırlığınca %0,2 oranında karbon nanotüp püskürtülmüş ve püskürtülmemiş(%0) olarak (iki farklı kompozit plaka) dört kat kumaş simetrik şekilde üst üste yerleştirilmesiyle, epoksi ve sertleştiricisinin bir arada matriks olarak kullanılmasıyla, karbon nanotüp takviyeli ve takviyesiz olarak kompozit plakalar üretildi. Elde edilen kompozit plakalar Charpy darbe ve darbe sonrası basma Testi' ile test edildikten sonra sonuçlar değerlendirildiğinde, %0,2 karbon nanotüp takviyeli kompozit numunelerin darbe dayanımının, karbon nanotübün yüzey alanı arttırması, elyaf-epoksi arası bağları güçlendirmesi sebebiyle karbon nanotüp takviyesiz numuneye göre daha yüksek olduğu, darbe sonrası hasar büyüklüğünün ve/veya derinliğinin ise karbon nanotüp takviyeli numunelerde daha az olduğu gözlemlenmiştir. Charpy darbe testinin sonuçlarına göre karbon nanotüplü numuneler nanotüpsüz numunelere oranla %20 daha iyi değerler verirken, darbe sonrası basma testinde ise yine sonuçların paralellik gösterdiği ve karbon nanotüp takviyeli numunelerin maruz kaldıkları basınca nanotüpsüz numunelere oranla %21 daha iyi (yüksek dayanım) sonuçlar gösterdiği ve numune üzerindeki hasarın basınç sonrası yayılmasının daha az olduğu görülmüştür.

7.2.Öneriler

Kullanılan elyaf çeşidinin test sonuçlarında etkisi yüksek olduğundan, farklı tür elyafların(Ör: karbon veya kevlar) denenmesi farklı sonuçlar elde edilmesine imkan sağlayacaktır. Bu da kullanım alanına göre kompozitlerde hangi tür elyaf kullanılması gerektiği hakkında bilgi verecektir.

Elyafların üzerine püskürtülen karbon nanotüplerin ve elyaf yüzeylerinin fonksiyonelleştirilmesi ile buna ilaveten epoksi içine de karbon nanotüp ilavesi,

karbon nanotüp-elyaf, elyaf-epoksi arası bağları güçlendirecek ve test sonuçlarında iyileşmeye sebep olacaktır.

Kullanılan elyafların örgü yapısının değiştirilmesi mekanik özelliklerde farklılıklara yol açacaktır. Örneğin çözümlü örgülü yapıdaki elyaflara atkı yönünde yapılacak ikinci bir elyaf takviyesi ile üretilen kompozitin mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlamak mümkün olacaktır.

Kompozit içinde kullanılan elyaf yönlerinin farklı açılarda kullanılmasıyla farklı test sonuçları elde etmek mümkün olmaktadır. Buna istinaden 90^0 ve 0^0 açılık çalışmalardan farklı olarak 45^0 açıda yapılacak üretimler farklı sonuçlar verecek ve son ürün kullanım alanı farklı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Advani, S.G., Zhihang, F. and Michael, H. S., (2008), 'Interlaminar shear strength glass fiber reinforced epoxy composites enhanced with multi-walled carbon nanotubes' Composites: Part A 39,540–554 USA.
- Akın, C., (2008) 'Epoksi Cam Elyaf Kompozit Levhanın Darbe Etkisinin İncelenmesi' Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi, 84 sayfa, Kütahya.
- Darkazali, A.A., Günaydın, E., Çolak, P., Kadioğlu, K., İnanç, İ. and Demircan, Ö., (2018) 'Mechanical Properties of Thermoplastic and Thermoset Composites Reinforced with 3D Biaxial Warp-knitted Fabrics' (unpublished), Ondokuz Mayıs University, Samsun, TURKEY.
- Demirel, A., (2007) 'Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu' Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, 135 sayfa, Ankara.
- Evcin, A., (2017) 'Polimer Malzemeler' Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Fogel, M., Patricia, P., Philippe, O. and Éric, D., (2017) 'Manufacturing of conductive structural composites through spraying of CNTs/epoxy dispersions on dry carbon fiber plies' Composites: Part A 100, 40–47, Fransa.
- Gachter, R. and Müller, H.,(1987) Plastics Additives 2nd Edition, Hanser Publishers, Munich, Almanya.
- Godara, A., Ashish ,W., Olivier R., Luca, M., Frederic, L., Larissa, G., Stepan, V. L., Aart, W.V.V. and Ignaas, V., (2010) 'The effect of adding carbon nanotubes to glass/epoxy composites in the fibre sizing and/or the matrix' Composites: Part A 41, 532–538, Belçika.
- Guo, Z., Min Z., Linghui, M., Lichun, M., Lina, M., Xiaobing, Y., Yudong, H., Jong Eun, R., Akash, S., Tingxi, L. and Chao, Y., (2017) 'Layer-by-layer grafting CNTs onto carbon fibers surface for enhancing the interfacial properties of epoxy resin composites' Composites Science and Technology, doi: 10.1016/j.compscitech.2017.11.002, Çin.
- Gülнар, M., (2016) 'Kompozit Plaka Üretim Prosesi Üzerine Çalışmalar ve Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi' Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir Üniversitesi, 92sayfa, Balıkesir.
- Günel, H., (2007) 'Kompozit Çerçeveslerin Doğal Frekanslarının Yapı Boyutlarına ve Fiber Açılına Göre Değişiminin İncelenmesi' Bitirme Projesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, 73sayfa, İzmir.

- Kaya, A.İ., (2016) ‘Kompozit Malzemeler ve Özellikleri’, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur.
- Koç, M.B., (2003) ‘Nanotüpler’ Bitirme Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği, 25sayfa, 96051272, Ankara.
- Küçükyıldırım, B.O. ve Eker A.A., (2012) ‘Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları’ TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 630, s. 34-44., İstanbul.
- MEB., (2012) ‘Reçineler’ Kimya Teknolojisi, 54KI0334, 46sayfa, Ankara.
- Ömür, T., (2017) ‘Karbon Nanotüp/Metilen Mavisi Kompozit Kağıt Elektrotların Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Nitritin Amperometrik Tayininde Kullanılması’ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Analitik Kimya Bilim Dalı, Atatürk Üniversitesi, 133sayfa, Erzurum.
- Prusty, K.P., Dinesh, K.R. and Bankim, C.R., (2017) ‘Mechanical performance of CNT-filled glass fiber/epoxy composite in in-situ elevated temperature environments emphasizing the role of CNT content’ Composites: Part A 84 (2016) 364–376, Hindistan.
- Rathore, D.K., Rajesh, K.P., Devalingam, S.K. and Bankim, C.R., (2016) ‘Mechanical performance of CNT-filled glass fiber/epoxy composite in in-situ elevated temperature environments emphasizing the role of CNT content’ Composites: Part A 84 (2016) 364–376, Hindistan.
- Wichmann, M.H.G., Jan, S., Florian, H.G., Marino, Q., Bodo, F. and Karl, S., (2005) ‘Glass-fibre-reinforced composites with enhanced mechanical and electrical properties – Benefits and limitations of a nanoparticle modified matrix’ Engineering Fracture Mechanics 73, 2346–2359, Almany.
- Solak, H.H., (2012) ‘Lif ve Mineral Takviyeli Melamin Matrisli Kompozit Malzemelerin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 79sayfa, Kahramanmaraş.
- Şahin, E., (2015) ‘Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama Yöntemiyle Kompozit Malzeme Üretimi’ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Tunceli Üniversitesi, 157sayfa, Tunceli.
- Şahin, Y., (2000). “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, 44-48, Ankara.
- Yaldızcı, E.Ş., (2016) ‘Kumaş Atıklarının Polyester Esaslı Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi’ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstrisi Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 51sayfa, Kahramanmaraş.

Yıldırım, M., (2016) ‘Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile AA7075-Karbon Nanotüp Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Üretimi Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi’ Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi, 116sayfa, Karabük.

Zwick Roell Testing Systems, USA, <https://www.zwick.com/>.

Wang, S., and Qiu, J., (2010) ‘Enhancing thermal conductivity of glass fiber/polymer composites through carbon nanotubes incorporation’ Composites: Part B 41, 533–536, Birleşik Devletler.

www.gazi.edu.tr



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Erdinç GÜNAYDIN
Doğum Yeri	SAMSUN
Doğum Tarihi	22.05.1990
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu

Lise	Mareşal Fevzi Çakmak Lisesi (2007)
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Tekstil Mühendisliği(2012) Kaunas University of Technology-Design Of Technology-(2012) Anadolu Üniversitesi-İ.B.B. Fakültesi-İşletme-(devam ediyor)
Yüksek Lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Metalurji ve Malzeme Bilimi Mühendisliği(2018)

YAYINLAR

Günaydın E.,Kadioğlu K. ve Demircan Ö.(2017). Polimer matriksli elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf dizilim yönünün arayüz özelliklerine etkisinin mekanik testlerle incelenmesi. 2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu. 6-8-Nisan. Bildiri Özetleri Kitabı, 128. Kırıkkale. Türkiye.

Çolak, P. Kadioğlu, K. Günaydın, E. ve Demircan Ö. (2018). Effect of Integration of Carbon Nanotubes (CNTs) on Flexural Properties of Thermoset Composites. 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, 22-24 Mart. Bildiri Özetleri Kitabı, 157-158. Karabük University, Karabük, Türkiye

Günaydın, E. Kadioğlu, K. Çolak, P. ve Demircan Ö. (2018). Effect of Integration of Carbon Nanotubes (CNTs) on Compression after Impact Properties of Thermoset Composites. 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, 22-24 Mart. Bildiri Özetleri Kitabı, 171-172. Karabük University, Karabük, Türkiye