

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CaCO₃, SiO₂ VE GRAFEN NANO PARTİKÜL KATKISININ
TABAKALI CAM ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAN TUNCER

DENİZLİ, HAZİRAN - 2018

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



CaCO₃, SiO₂ VE GRAFEN NANO PARTİKÜL KATKISININ
TABAKALI CAM ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAN TUNCER

DENİZLİ, HAZİRAN - 2018

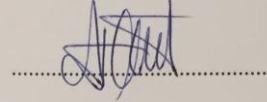
KABUL VE ONAY SAYFASI

Can Tuncer tarafından hazırlanan “CaCO₃, SiO₂ ve Grafen Nanopartikül Katkısının Tabakalı Cam Elyaf Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 28.06.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

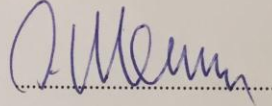
Jüri Üyeleri

İmza

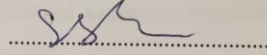
Danışman
Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT



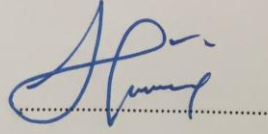
Üye
Prof. Dr. Cemal MERAN



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Salih Seçkin EROL



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
11/07/2018 tarih ve 28/06... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2017FEBE065 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Can TUNCER

imza

ÖZET

**CaCO₃, SiO₂ VE GRAFEN NANO PARTİKÜL KATKISININ TABAKALI
CAM ELYAF KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CAN TUNCER
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2018

Bu tez çalışmasında tabakalı kompozit plakalara nano boyutta katkı maddesi eklenmesi ile kompozit malzemelerde mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. İncelemelerin ışığında kompozit üretiminde katkı maddesi ilavesi ile malzemenin dayanımının nasıl değiştiği incelenmiş ve daha mukavemetli kompozit malzemelerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Kompozit malzemelerde iki farklı amaçla dolgu veya katkı malzemesi kullanılabilir. Bunlardan biri mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılan takviye edici nitelikte olan dolgu maddeleridir. Diğer ise ticari alanda yaygın olarak kullanılan ve maliyet düşürücü nitelikte olan dolgu veya katkı maddeleridir.

Bu çalışmada farklı özelliklere ve tanecik boyutlarına sahip katkı malzemeleri kullanılmıştır. Ağırlıkça farklı oranda grafen, silika ve kalsit nano partiküller reçine içerisine ilave edilerek tabakalı kompozit plakalar hazırlanmıştır. Nano partikül etkisinin incelenmesi için iki farklı oryantasyona sahip plakalar üretilmiştir. Plakalardan ASTM standardına uygun numuneler elde edilmiş ve tek eksenli mekanik çekme deneyleri yapılarak, katkı maddesinin kompozit malzemenin mukavemetine olan etkileri incelenmiştir. Tabakalı cam elyaf kompozit malzemelere nano partikül ilavesinin malzemenin dayanımında etkili bir rol oynadığı görülmüştür. İlave edilecek katkı oranlarında optimum noktaların olduğu belirlenmiştir. Özellikle optimum oranda grafen nano partikül kullanımı katkısız kompozit malzemelere göre kopma dayanımında %20 oranında artışa sebep olmuştur.

Numunelerin su emme davranışları üzerine deneyler yapılmıştır. Tabakalı cam elyaf kompozit malzemelerin suya karşı mekanik davranışta önemli bir değişime uğramadığı gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: CaCO₃, SiO₂, Grafen, Cam Elyaf, Kompozit Malzemeler

ABSTRACT

THE EFFECT OF CaCO₃, SiO₂ AND GRAPHENE NANOPARTICLE ADDITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER COMPOSITE MATERIAS

**MSc THESIS
CAN TUNCER**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)

DENİZLİ, JUNE 2018

In this thesis study, the change of mechanical properties in composite materials was investigated by adding nano size additive material to layered composite plates. In the light of the investigations, it was investigated how the strength of the material changes with the addition of the additive material in the composite production and the stronger composite materials are obtained.

It is known that filler or additive material can be used in composite materials for two different purposes. One of them is filler which can be used as a reinforcing material to improve mechanical properties. The other is a filler or additive which can be widely used in the commercial field and which is in a cost-reducing nature.

In this study, additive materials with different properties and particle sizes were used. Layered composite plates were prepared by adding graphene, silica and calcite nanoparticles to the resin in different proportions. Plates with two different orientations were produced for the examination of the nanoparticle effect. Samples prepared according to ASTM standards and uniaxial mechanical tensile tests were carried out to investigate the effects of additives on the strength of the composite material. Nanoparticle addition to layered glass fiber composite materials showed that nanoparticle addition played an effective role in the strength of the material. It has been determined that optimum point exists in the additive ratio. In particular, the optimum amount of graphene nanoparticles addition resulted in a 20% increase in fatigue strength compared to unadulterated composite materials.

Experiments have been carried out on the water absorption behavior of the samples. It has been observed that stratified glass fiber composite materials did not show significant change in mechanical behavior against water.

KEYWORDS: CaCO₃, SiO₂, Graphene, Glass Fiber, Composite Materials

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	7
2. KOMPOZİT MALZEMELER	8
2.1 Metal Matrisli Kompozitler	9
2.2 Seramik Matrisli Kompozitler	10
2.3 Elyaflı Kompozitler	11
2.3.1 Cam Elyaf	12
2.3.2 Karbon Elyaf	13
2.3.3 Aramid Elyafı	14
2.3.4 Seramik Elyaf lar	16
2.3.5 Polyester Elyaf lar	16
2.4 Polimer Matrisli Kompozitler.....	16
2.4.1 Polyester Reçine	18
2.4.2 Epoksi Reçine	18
2.4.3 Vinilester Reçine.....	19
2.4.4 Fenolik Reçine	19
2.4.5 Poliüretan Reçine	19
2.5 Cam Elyaf Kompozit Malzemeler.....	20
2.6 Katkı/ Dolgu Malzemeleri.....	25
2.6.1 Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃)	27
2.6.2 Silika (SiO ₂).....	28
2.6.3 Grafen	29
3. MATERYAL VE METOT	30
3.1 Kompozit Plaka Üretimi.....	30
3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması.....	34
3.3 Deney Numunelerinin Çekme Testinin Yapılması.....	34
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	36
4.1 Grafen Nano Partikül Katkısı	36
4.2 Silika (SiO ₂) Nano Partikül Katkısı.....	38
4.3 Kalsit (CaCO ₃) Nano Partikül Katkısı.....	41
4.4 Deney Numunelerinin Su Emme Davranışları	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	46
6. KAYNAKLAR.....	48
7. ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Cam elyaf örneği	12
Şekil 2.2: Karbon elyaf örneği.....	13
Şekil 2.3: Aramid elyaf örneği.....	15
Şekil 2.4: Katkılı plakada kullanılan CaCO_3 nano partikül tozu.....	28
Şekil 2.5: Katkılı plakada kullanılan SiO_2 nano partikül tozu.....	29
Şekil 2.6: Katkılı plakada kullanılan grafen nano partikül tozu	29
Şekil 3.1: Cam elyaf rulo	30
Şekil 3.2: Hielscher UP400S ultrasonik karıştırıcı	31
Şekil 3.3: Labo CH 750 soğutucu.....	31
Şekil 3.4: Rulolama işlemi ve elyaf yatırma.....	32
Şekil 3.5: Kompozit plakaların presleme işlemi.....	33
Şekil 3.6: Çapak temizleme işlemi	33
Şekil 3.7: Kompozit plakaların su jeti ile kesimi ve sınıflandırılması.....	34
Şekil 3.8: INSTRON 8801 çekme test cihazı	35
Şekil 4.1: Grafen nano partikül katkılı/katkısız Tip A kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı.....	37
Şekil 4.2: Grafen nano partikül katkılı/katkısız Tip B kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı.....	37
Şekil 4.3: Grafen nanopartikül katkılı Tip A ve Tip B kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırması	38
Şekil 4.4: Silika (SiO_2) nano partikül katkılı/katkısız Tip A kompozitlerin Aksel Gerilme Gerinim davranışı	39
Şekil 4.5: Silika (SiO_2) nano partikül katkılı/katkısız Tip B kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı.....	40
Şekil 4.6: Silika (SiO_2) nanopartikül katkılı Tip A ve Tip B kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırması	40
Şekil 4.7: Kalsit (CaCO_3) nano partikül katkılı/katkısız Tip A kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı.....	42
Şekil 4.8: Kalsit (CaCO_3) nano partikül katkılı/katkısız Tip B kompozitlerin aksel gerilme gerinim davranışı.....	42
Şekil 4.9: Kalsit (CaCO_3) nanopartikül katkılı Tip A ve Tip B kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırması	43
Şekil 4.10: Su emme davranışı için numunelerin hazırlanması.....	44

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Belli başlı elyafların karşılaştırılması	16
Tablo 2.2: Termoplastik matrislerin dayanım sıcaklık değerleri	20
Tablo 2.3: Cam elyaf türü ve özellikleri	21
Tablo 2.4: Kompozit malzemelerde katkı maddelerinin mekanik özelliklere etkisi	25
Tablo 3.1: Kullanılan nano parçacıkların teknik özellikleri.....	32
Tablo 4.1: Grafen katkıli kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları..	37
Tablo 4.2: Silika (SiO ₂) katkıli kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları	39
Tablo 4.3: Kalsit (CaCO ₃) katkıli kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları	41
Tablo 4.4: Su emme davranışı için kullanılan suyun kimyasal değerleri.....	43
Tablo 4.5: Grafen katkıli kompozit numunelerin nemli ve kuru ortamlarda çekme dayanımı sonuçları	44
Tablo 4.6: Silika (SiO ₂) katkıli kompozit numunelerin nemli ve kuru ortamlarda çekme dayanımı sonuçları.....	44
Tablo 4.7: Kalsit (CaCO ₃) katkıli kompozit numunelerin nemli ve kuru ortamlarda çekme dayanımı sonuçları.....	45

SEMBOL LİSTESİ

PMC	:	Polimer Matrisli Kompozit
TEM	:	Transmisyon Elektron Mikroskobu
XRD	:	X Işınları Difraktometresi
PP	:	Polipropilen
GF	:	Glass Fiber (Cam Elyaf)
PMMA	:	Poli Metil Metrakrilat
CFRP	:	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
PAN	:	Poliakrilonitril
VMK	:	Vinilester Matrisli Kompozit

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, tezin her aşamasında bana yardımcı olan ve destek veren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT'a, deney numunelerinin oluşturulması aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlanmış olduğum doktora öğrencisi Sayın Berkant DİNDAR'a, deney numunelerinin incelenmesi hususunda Pamukkale Üniversitesi bünyesindeki gerekli ekipmanların kullanımında gerekli izinleri veren ve desteklerini esirgemeyen Pamukkale Üniversitesi Ana Bilim Başkanımız Sayın Prof. Dr, Nazım USTA'ya aynı zamanda deney numunelerinin hazırlandığı ve deney için gerekli plakaların basılmasında yardımcı olan MEDUZA CARBON Ltd. Şti. yetkililerine ve elemanlarına teşekkürü borç bilirim.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemelerin kullanımı tarih olarak çok eskilere dayanmasına rağmen endüstriyel anlamda kullanımı 1940'lı yılların başında girmiştir. İlk kullanımları yapılardaki kırılganlıkları önleyebilmek için insanlar bitkisel veya hayvansal lifler kullanarak kırılganlığa engel olmayı başarmışlardır. Tarihte kullanılan ilk kompozit örneklerinden birisi olan kerpiç kullanımı killi çamur içerisine saman ilave edilerek dayanım arttırmayı başarmışlardır. Geçmişe bakıldığında zaman zaman cam liflerinin kullanımı da aslında çok yeni bir olay değildir. M.Ö. 1600'lü yıllarda Mısır bölgesinde ince cam lifleri yapılarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak günümüz teknolojisi ve bu teknolojideki ilerlemelerde göz önüne alındığında sanayi alanında 1877 yıllarında kullanılmaya başlanarak günümüzde inanılmaz gelişimler sağlanmıştır.

Teknolojik gelişmelerin temelini malzeme bilimi alanındaki gelişmeler oluşturmuştur. Günümüzde malzeme bilimi alt branşlara ayrılarak polimerler, kimyasallar, organik bileşikler, metaller vb. gibi kollara dağılmışlardır. Bu dallara ek olarak kompozit malzemeler günümüzde büyük bir kullanım alanına sahip olup otomotiv, uçak sanayii, tekstil gibi önemli alanlarda yerini benimseyerek bu gelişmelerden sektörel anlamda önemli ölçüde payını almışlardır.

Kompozit malzemeler genel olarak fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından en az farklı iki malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu yüksek mukavemetli malzemelerdir. Kompozitler çatı olarak adlandırılan ve yapının mukavemet özelliklerini sağlayan iplikçik halindeki yapı ve matris malzemesi olarak adlandırılan fiberleri bir arada tutarak yükün dağıtılmasını sağlayan yüksek mukavemet özelliklerine sahip iki ana malzemedен oluşmaktadır. Yüksek mukavemet özellikleri ile fiziksel ve kimyasal ortamlara karşın dış etkenlere karşı dayanıklı bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Kompozitlerde matris malzemesi olarak metal alaşımları kullanılabilceği gibi daha yaygın olarak reçineler tercih edilmektedir. Kompozitlerin metallere göre üstün özelliklerinden bir tanesi de %25' lere yaklaşan malzeme tasarrufu ve hafiflik sağlamasıdır. Kompozit malzemelerde kendi aralarında metal, cam, seramik ve polimerler olarak dört ana grupta incelenebilmektedir.

Kompozit malzemelerde matris malzemelerinin en önemli özelliği fiberleri bir arada tutmak, yükleri eşit olarak dağıtmak ve elyafları dış etkilerden korumaktır. Matris malzemeleri kullanıldıkları alanlara ve istenilen özelliklere göre polimerik, seramik ya da metalik olabilmektedir. Polimer matrisli kompozitler PMC olarak adlandırılmaktadır. Takviye eden faza göre lifli veya liffsiz olabilir. Eğer hayvansal veya bitkisel lifler kullanılırsa doğal lifler olarak adlandırılmaktadır.

Her geçen gün yeni malzemeler üretilmekte ve bu malzemelerin en önemli özellikleri yüksek mukavemet ağırlık oranı, yüksek gerilme mukavemeti, düşük termal genleşme gibi özelliklerdir. Bu sebeple günümüz malzemeleri, kompozit malzemeler ile yavaş yavaş yer değiştirmektedir. Tüm bunların yanı sıra kompozit malzemeler çevreye herhangi bir zararlı madde yaymamaktadır. Doğal elyaflar biyolojik olarak parçalanabildikleri için tercih sebebi olabilmektedir. Kompozitlerin bilinen en önemli özellikleri yüksek modül ve spesifik mukavemet (mukavemet/yoğunluk oranı). Ayrıca cam fiber kompozitler doğada bulunan yenilenemeyen enerji ve malzeme kaynaklarına bağımlılığı azaltarak düşük emisyon ve sera gazı etkilerini minimize ederek enerjinin geri kazanımı ve biyolojik çözünme gibi çevre kaynaklı avantajları olduğu da görülmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Literatürde incelenen ve çalışması yapılan cam elyaf kompozit malzemeler ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların bir kısmı katkı maddelerinin çeşitli oranlarda kullanımı ile mukavemet değerlerinin ölçülmesini ele alırken bir kısmı ise numunenin su emme davranışlarını inceleyerek çekme mukavemetine olan etkisini incelemiştir.

Bulut (2017) bazalt/epoksi kompozit malzemelere grafen nano katkısı eklendiğinde mekanik (darbe, eğilme, çekme) davranışlarda oluşan değişimleri araştırmıştır. Epoksi içerine ağırlıkça %0,1, 0,2 ve 0,3 oranında katkı maddesi karıştırarak numuneler oluşturulmuştur. %0,1 katkı maddesi ilave edilmesinin epoksi ve elyaf arasındaki ara fazdaki bağlanma kuvvetini arttırdığı ve mekanik özelliklerin önemli ölçüde arttığı gösterilmiştir.

Christy ve Ark. (2017) Epoksi/ nano SiO₂ polimer matris kompozitinin geliştirilmesi ve analizi üzerine yoğunlaşmıştır. Ağırlıkça %0 ila %3 arasında değişen epoksi matriste nano SiO₂'nin çeşitli ağırlık yüzdeleri eklenerek imal etmişlerdir ve daha sonra ultrasonik karıştırma yöntemi ile dağıtıp çekme mukavemeti ve darbe mukavemetini analiz etmişlerdir. Sonucunda mikro yapı çalışması yaparak yüksek ağırlıkta olan nano silika parçacıkları yüklenmesi üzerine artan bir eğilim gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Shafiur Rahman ve ark. (2016), %98 kalsiyum karbonat içeren yumurta kabuklarını nano partikül boyutunda öğüterek polyester reçineye farklı oranlarda katarak polyester film tabakası üretmişlerdir. Ticari CaCO₃ ile bunu kıyaslamışlardır. Yumurta kabuklarıyla elde edilen karışımda %10'luk bir oranda mekanik özelliklerin olumlu yönde etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Hassan ve ark. (2014), termoplastik polimerlere CaCO₃ nanopartikülleri ağırlıkça üç farklı oranda (%1, %2 ve %3) infüzyonu ile biyo-nanokompozitler hazırlamışlar ve mekanik özelliklerin önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir.

Chan ve ark. (2011), yüzeyde organik bileşenlerle değiştirilmiş nanokil-epoksi kompozitin sağlamlık ve mukavemet özelliklerini değerlendirmişlerdir. Epoksi reçine kompozit numunesinde dağıtılan ağırlıkça %5 nanokiller modül ve çekme mukavemetinde sırasıyla %34 ve %25 oranında artışlar sağladığını bulmuşlardır.

Aktas ve Altan (2010), eğilme mukavemeti, sertlik ve katlar arası kesme kuvveti için cam elyaf takviyeli, su bazlı epoksi matris laminatları incelemişlerdir. Nano killer, epoksi reçinesinde ağırlıkça %0,1 – 0,2 – 0,5 – 1,0 ve 2,0 ağırlık yüzdesi oranında dağıtılarak karışımından kaynaklanan hava kabarcıklarını gidermek için karışım gazdan arındırılmıştır. TEM ve XRD analizleri, %0,5 imal edilen numunelerde nano killer iyice dağılmış ve pul pul döküldüğünü gözlemlemişlerdir. Nano kil takviyeli epoksi- cam elyaf kompozit laminatları bir sıcak pres kullanarak imal etmişlerdir. Ağırlıkça %0,5 nanokil içerikli numunelerin mekanik testleri, eğilme mukavemetinde %8, eğilme dayanımında %12 ve katlar arası kesme mukavemetinde %5 artış görmüşlerdir.

Uysal ve arkadaşları (2008), endüstride kullanılan türbin kanat malzemelerinden seçilen cam elyaf keçe takviyeli kompozit malzemelerin gerilme / gerinme karakteristiklerinin, mikrosertlik değerlerinin ve mikroyapı incelemelerinin yapılması amacıyla el yatırması yöntemi kullanarak cam elyaf keçe ve balsa takviyeli polyester matrisli ve vinilester matrisli kompozit (VMK) malzemeler üretmişlerdir. Ayrıca profil uzunluğu 400 mm olan bir kanat modeli üretmişlerdir. Cam elyaf takviyesinin arttırılmasının, hem polyester matrisli hem de VKM malzemelerin gerilme mukavemetlerini olumlu yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir. VKM malzemenin mekanik özelliklerinin, polyester matrisli kompozit malzemelere göre daha üstün olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca cam elyaf keçe takviyeli kompozitlere göre daha düşük olmasına karşın gerinme değerinin oldukça yüksek olduğunu da gözlemlemişlerdir.

Akbari ve Bagheri (2007) yüzey modifiye nano kil epoksi kompozit üzerinde çalışmış ve karışık sonuçlar elde etmişlerdir. Sertlik artarken, kil içeriği arttıkça eğilme ve basma mukavemetleri azalmıştır. Bu durumda kil morfolojisinin kil-matris etkileşimlerini sınırladığına ve bunun sonucunda kilin epoksiyi güçlendirmede etkinli olduğunu düşünmüşlerdir. Nano kil içeriği arttıkça epoksi kompresif ve

eğilme mukavemetleri azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Mikroskopik değerlendirme, bu sistemdeki nano parçacıkların kesilme bantları için başlatma bölgeleri olarak hareket ettiğini gözlemlemişlerdir.

Zureick ve Nettles (2002) çelik, alüminyum, cam elyaf- epoksi kompozit ve güçlendirilmemiş epoksi malzemeden yapılmış kare sekmelerle numuneleri test ederek, çekme mukavemeti üzerine çıkıntı malzemesinin etkisini incelemişlerdir. Epoksi sekmeler, gerilme yığılma faktörünün minimum değerlerini verirken, metal sekmelerin sap ucundaki gerilme yığılma faktörünün maksimum değerini ve dolayısıyla gerilme mukavemetinin minimum değerini verdiğini bulmuşlardır.

Lee ve ark. (1999), %10, 20 ve 30 oranında elyaf içeriğine sahip cam elyaf keçe/ polipropilen kompozit malzemelerin çekme ve eğme dayanımlarını incelemişler, elyaf içeriği arttıkça çekme ve eğme modüllerinin lineer bir artış gösterdiğini saptamışlardır. Cam elyaf içeriği arttıkça, cam elyaf hasır / PP kompozitin gerilme ve eğilme modülü doğrusal bir artış gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, cam elyafının optimum içeriğinden daha yüksek hacim fraksiyonu, daha yüksek boşluk içeriğinden dolayı elyafların takviye edici etkinliğinde bir düşüşe neden olduğunu görmüşlerdir.

Jang ve ark. (1999), cam elyaf içeriği arttıkça eğilme modülü değerinin arttığı böylece elyaf içeriğine bağlı olarak eğilme modülü değerinin yaklaşık bir artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Cam elyaf içeriği arttıkça, karışımın kuralına göre GF / PMMA kompozitlerinin eğilme modülü neredeyse doğrusal olarak arttığını görmüşlerdir. Bununla birlikte, eğilme mukavemeti, cam elyaf içeriğine göre maksimum değeri göstermiştir. Bu davranış, yüksek boşluk içeriğinden kaynaklanmaktadır. Uygun içerik gradyanlı kompozitlerinin geleneksel izotropik kompozit ile karşılaştırıldığında üstün özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Barre ve ark. (1996), cam elyaf takviyeli fenolik ve polyester reçinelerin çekme, dinamik, mekanik özellikleri üzerindeki gerinim oranı etkisini incelemişlerdir. Elastik modülün ve mukavemetin gerinim oranına bağlı olduğunu bulmuşlardır. 8H cam saten dokuma kumaş takviyeli fenolik çözgü ve atkı yönlerinde gerilme modülünün ve gerilmenin çok benzer bir hız bağımlılığı elde edilmiştir.

Hoyo ve ark. (1994), gerilme yüklemesi için özel olarak tasarlanmış birkaç bileşik numune geometrisi ve sekme malzemesi önermişlerdir. Tek yönlü CFRP için iki tür numune, yani 10° inceltilmiş sekmeler olan numune ve kare kesilmiş sekmeler olan numuneleri önermişlerdir. Elde edilen sonuçlar çekme mukavemetinde küçük bir fark (yaklaşık %3 ila %4 arası) göstermiştir ve makroskopik kırılma davranışında anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Landel ve Nielsen (1993), bazı polimer ve kompozit malzemeler üzerine yapılan daha önceki araştırmaları gözden geçirmiştir. İzotropik malzemedan farklı olarak, cam elyaf laminatın mekanik özellikleri, liflerin dokuma yönüne bağlı olduğunu açıklamışlardır.

Venkateswaran ve ark. (2011), muz / lif takviyeli hibrid kompozitlerin mekanik ve su emme özelliklerini, lifin uzunluğunu ve ağırlık yüzdesini ana öge olarak almışlardır. Sisal lifin, ağırlıkça %50'ye kadar muz / epoksi kompozitleri ile hibridleşmesini mekanik özellikleri artırarak ve su emme özelliklerini azalttığını bildirmişlerdir. Doğal lif takviyeli polimer hibrid kompozitlerin toplam gerilme ve bükülme özellikleri, kullanılan elyafların en / boy oranına, nem emme eğilimine, morfolojisine ve boyutsal stabilitesine oldukça bağlıdır. Kimyasal olarak muamele edilen doğal elyaf bileşiklerinin gerilme ve eğilme özellikleri, muamele edilmemiş kompozitlerden biraz daha gelişmiştir.

Jawaid ve ark. (2012) jamine lif yüklemesinin, yağ palmyesi kompozitlerinin çekme ve dinamik mekanik özelliklerine etkisi üzerine bir deney yapmışlardır. Jüt yağı palmyesi hibrid kompozitlerinin çekme özelliklerinin, petrol palmyesi epoksi kompozitlerine kıyasla jüt liflerinin içeriğini artırarak önemli ölçüde arttırıldığını tespit ettiler. Doğal fiber kompozitlerin mukavemet özellikleri, daha az sert ve genelde daha az gevrek olduğundan biraz daha düşüktür. Cam elyafın sisal polipropilen kompozitler içine güçlendirilmesi ile oluşan hibrit kompozitlerin gerilme ve eğilme modülüne herhangi bir etkisi olmaksızın gerilme/eğilme özelliklerini, ısı özelliklerini ve su direncini geliştirdiği belirlenmiştir.

Panthapulakkal ve ark. (2007), su emiliminin kısa kenevir lifi ve hibrid kenevir cam takviyeli polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini araştırdı. Farklı numuneler damıtılmış suya 40, 60 ve 80 °C'de batırılmıştır. Cam ve

kenevir lifleri arasındaki kenevir lifleri arasındaki karışımın melez kompozitlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırdığını ve su alımını azalttığını belirttiler. Bununla birlikte, melez kompozitlerin denge nem içeriğinin azalmasına rağmen, cam elyaf ilavesi, yaşlanmış kenevir fiber kompozitlerin mekanik özellik kaybını azaltmadığı görülmüş bu durumun elyaflar ile matris arasındaki ara yüzey bozulmasına bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Vieira ve ark. (2009) jüt camı durumunda aynı gözlemleri rapor etmiştir. Fiber hibrit kompozit esaslı doymamış polyesterler ile ilgili durumları incelemiştir. Başka bir çalışmada Dhakal ve ark. (2013), karbon fiber hibridizasyonun su emme davranışı, keten elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirdi. 23°C'de 27 gün su içine daldırdıktan sonra sonuçlar, keten-karbon hibritlenmesinin keten fiber kompozit ile karşılaştırıldığında su emiliminin %85 oranında azalmasına neden olduğunu göstermişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, kompozit malzemelerde katkı maddesi kullanımının çekme dayanımına etkisi incelenmiştir. İncelemelerin ışığında kompozit üretiminde katkı maddesi ilavesi ile malzemenin dayanımının nasıl değiştiği incelenerek daha mukavemetli kompozit malzemelerin elde edilmesi planlanmıştır. Bu amaçla farklı tanecik boyutlarına sahip 3 farklı katkı maddesi kullanılmıştır. Grafen, silika ve kalsit nano parçacıkları kullanılarak üretilen kompozit numunelerin çekme deneyleri yapılarak dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Literatür araştırmasında grafen nano partikülünün mukavemet artırıcı etkisi olduğu belirlenmiş ve grafen kullanarak mukavemetin artışı gözlenmiştir. Ayrıca silika ve kalsit nano parçacıklarının ise maliyet düşürücü etkisi olduğu gözlenmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında silika ve kalsit nano parçacıkları reçine içerisine ilave edilerek maliyete olan etkisi incelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren teknolojinin ve üretim tekniklerinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile yeni malzemelerin kullanılmaya başlanması ve sanayi alanlarında uygulamaları ciddi derecede önem kazanmıştır. Fakat ana malzemelerin zaman içerisinde tükenmesi yüzünden bu malzemelerin de özellikleri teknolojinin ilerlemesine ayak uyduramamıştır. Bu durum bilim insanlarını yeni malzemeler bulmaya teşvik etmiştir. Uzay araçlarının yapımına geçildiği günümüz dünyasında bilimin gelişmesi ile birlikte hem ekonomik hem de imalatı teknik yönden daha kolay yeni ve istenilen özelliklere, ortam şartlarına uyumlu yeni malzemeler imal edilmeye başlanmıştır. Bu tez çalışmasında da cam elyaf kompozit malzemelere belli oranlarda nano partikül katkı malzemesinin ilavesini kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kompozit malzemeler sınıflandırılırken matris malzemelerine ve yapılarına göre sınıflandırılmaktadır. Matris fazları ürünün en son şekline ulaştığı ve takviye malzemelerini bir arada tutarak dış etkilere karşı korunduğu fazdır. Matris malzemeleri aynı zamanda tokluk, sertlik gibi özelliklerin oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Takviye malzemeleri ise gelen yükü fiberlere dağıtma özelliğine sahiptir.

Kompozit malzemeler matrislerine göre 3 ana grupta incelenir;

- Plastik Matrisli Kompozitler
- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler

Bir diğer gruplandırma yöntemi ise yapı bileşenlerine göre sınıflandırmadır.

- Partikül (Parçacık) Takviyeli Kompozitler
- Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler

- Tabaka Yapılı Kompozitler
- Dolgu Yapılı Kompozitler şeklinde sınıflandırılabilirler.

2.1 Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler istenilen mekanik özelliklere göre en az biri metal olması şartıyla iki ya da daha fazla malzemenin sistemli bir biçimde birleşmesiyle oluşan malzemelerdir.

Metal matrisli kompozitler tek bileşenli alaşımlarla elde edilmeyen özellikleri sağlamaları için sürekli, kısa fiber veya partikül şeklinde takviye fazı içerirler. Genel olarak metal matrisli kompozitlerde ağırlık olarak düşük metaller tercih edilir. Bunlardan en önemlisi alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımları düşük ergime sıcaklığı ve yoğunluğa sahip oldukları için tercih edilmektedir.

Aşınma dayanımı bakımından yüksek ve sürtünme değerleri açısından düşük özellikli malzeme isteniyorsa Al-Si alaşımları kullanılmalıdır. Örneğin düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik özelliği isteniyorsa Al- Mg ve Al- Cu alaşımları tercih edilir. Alüminyum dışında sıralama yapmak istenirse magnezyum ve titanyum alaşımları da bu listede ön plana çıkmaktadır. Örneğin elektronik devre sistemlerinde bakır ve alaşımlarından yapılan kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Metal matrisli kompozitler kullanılacağı yere göre beklenen bazı özellikler vardır. Yüksek dayanım ve modül, matris ile uyumluluk, düşük yoğunluk, yüksek sıcaklığa dayanım ve üretim kolaylıklarıdır. Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak ise Al_2O_3 , SiC, TiC, bor ve karbon kullanılmaktadır.

Metal matrisli kompozit malzemelerin avantajları;

- Yüksek mukavemet / yoğunluk oranı (spesifik mukavemet)
- Yüksek elastik modülü / yoğunluk oranı (spesifik modül)
- Yüksek yorulma direnci

- Birçok ortamda korozyon dayanımlarının yüksek oluşu
- Şekillenme kabiliyetinin iyi olması
- Kaynak ve diğer yöntemlerle kolaylıkla birleşebilmesi

Aynı zamanda avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri
- Metallere göre sünekliğin belli oranda azalması
- Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat
- Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firma ve üreticilerin deneyimsiz oluşu

2.2 Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik malzemeler hafif ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerdir. Sıklıkla yüksek sıcaklıkta çalışan makine parçalarında kullanılırlar. Aynı zamanda sert ve gevrek malzemelerdir. Bu yüzden düşük kopma uzaması özelliği gösterirler ve ani sıcaklık düşümünde kolaylıkla hasara uğrarlar. Bunu önlemek için çeşitli liflerle takviye edilerek kullanılırlar.

Seramik matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılmaktadır.

Seramik malzemeler plastik ve metallere çok farklı özelliklere sahiptir ve takviye edilerek güçlendirilmesi gerekmektedir. Metaller ve plastikler yüksek mukavemete sahip olmalarına karşın seramiklerin en önemli özelliği yüksek tokluk ve ısı dirence sahip olmalarıdır. Al_2O_3 ve SiC, seramik malzemelerde takviye elemanı olarak fiber konumuna getirilerek kullanılır.

3 tip seramik matrisli kompozit malzeme vardır;

- Sürekli fiberli kompozitler

- Süreksiz fiberli kompozitler
- Partiküllü kompozitler

Sürekli fiber: Bu kompozit malzemelerde matris zayıflasa bile fiberler uygulanan yükü taşımaya devam ederler. Fakat çentik veya çatlak durumunda seramik malzemeler ciddi hasarlar görerek geri dönüşü olmayan hasarlara sebep olabilmektedir.

Süreksiz fiber: Dayanımları yüksektir. Yaygın olarak SiC, ZrO₂ ve TiC sıklıkla kullanılmaktadır.

Partiküller: Takviye malzemesi olarak matris malzemelerinin içerisine partikül şeklinde ilave edilerek kullanılırlar.

Seramik matrisli kompozitler yaklaşık 1000°C'nin üzerinde uzun süreler kullanıldığında çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar fiber malzemesi özellikleri ile basınç altında sürekli çalışan parçalarda ortaya çıkar. Yüzeydeki fiber oksit tabakası sıcaklığa dayanıklıdır fakat sürünme davranışları iyi değildir. SiC malzemesinin sürünme özelliği iyi olmasına rağmen matris ile reaksiyona girerek kimyasal bileşimi değişebilir. Bu yüzden 1000°C üzerinde seramik matrisli kompozit malzemelerin kullanımı sınırlıdır.

2.3 Elyaflı Kompozitler

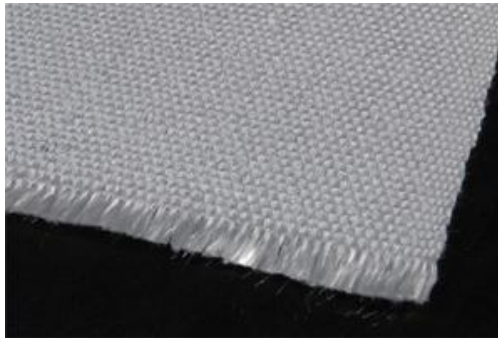
Takviye eden fazın görevi yük taşımaktır. Yükün %70-80'lik bir bölümün bu faz taşımaktadır. Kompozit malzemelerde asıl dayanımı etkileyen kısım elyaf türü ve kompozit oranıdır. Bunların yönelme ve dağılım durumuna göre özellikler değişmektedir. Elyafların asıl yükü taşıyan kısmı uç bölgeleridir. Kompozit malzemenin mukavemetinin iyi olabilmesi için yükü aynı doğrultuda yönelmesi gerekmektedir. Eğer yük elyaflara dik bir açı ile uygulanırsa istenilen mukavemet değerlerini vermez. Yük farklı oryantasyonlarda gelecek ise katlı olarak elyaf farklı açılarda yönlendirilmelidir. Böylece kompozit malzemedeki elyaflar iki veya üç boyutlu olarak yönlendirilir.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf çeşitleri;

- Cam Elyaf (Glass Fiber)
- Karbon (Graphite) Elyafı
- Aramid (Aromatic Polyamid) Elyafı
- Bor Elyafı
- Oksit Elyafı
- Yüksek Yoğunluklu Polyetilen Elyafı
- Polyester Elyafı
- Seramik Elyafı
- Doğal Organik Elyaflardır.

2.3.1 Cam Elyaf

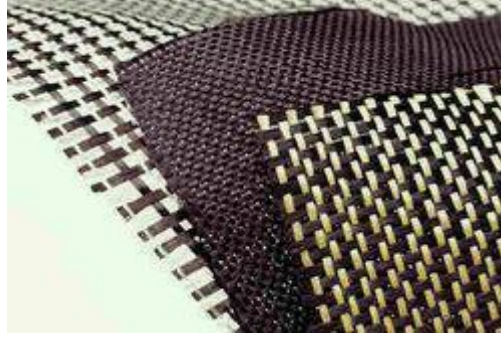
Cam elyafı piyasada gerek maliyet gerekse dayanım açısından en çok kullanılan takviye malzemesidir. Düşük yoğunluğa sahip cam elyaf malzemeler aynı zamanda yüksek mukavemet özellikleri göstererek diğer elyaf türlerine göre daha düşük maliyetle imal edilerek uzay sanayi, otomotiv sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İlerleyen bölümlerde cam elyaf konusu detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.1: Cam elyaf örneği

2.3.2 Karbon Elyaf

Karbon elyaf ipliksi bir yapıya sahip plastik bir madde olarak kullanılan ileri teknoloji ürünüdür. Akrilik elyafın belirli proseslerden geçirilmesiyle elde edilir. Hafiflik, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve sürtünme gibi üstün özellikleri sayesinde havacılık, uzay sanayisinde, spor aletleri yapımı (tenis raketi, board, motor sporları için kask), görsel amaçlı araçların göğüslük bölgelerinde ve enerji depolama alanlarında yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Karbon elyaflar yapısal olarak çelik malzeme ile kıyaslandığında 4-5 kat daha hafif ve mukavemet bakımından yaklaşık 3 kat daha dayanıklı malzemelerdir.



Şekil 2.2: Karbon elyaf örneği

Karbon elyaflar piyasada sürekli ve kırılmış olarak 2 farklı şekilde bulunmaktadır.

- 1- Sürekli elyaflar: Tek yönlü bant ve prepreglerde, dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında kullanılırlar. En büyük avantajları tüm reçineler ile kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir.
- 2- Kırılmış elyaflar: Basınçlı kaplarda, tanklarda, makine parçalarında kullanılmaktadır. Kimyasal uygulaması yapılan yerlerde tercih edilirler. İnanılmaz derecede korozyon ve yorulma dayanımları vardır. Bunun yanında yüksek mukavemet, sertlik özellikleri de göstermektedir.

Karbon elyafı poliakrilonitril (PAN) veya ziftten elde edilir. Kaynağı zift olan karbon elyaflar diğerlerine oranla daha düşük mukavemet özellikleri göstermektedir. Bu yüzden tercih edilmez. Fakat PAN tabanlı olanlar sağlam ve hafif malzemelerdir. PAN'ın karbon elyafına dönüşümü dört aşamada olmaktadır.

- 1- Oksidasyon: Bu evrede elyaf yaklaşık 300°C'de ısıtılmaktadır. Bu işlem sonunda hidrojen elyaftan ayrılarak yerine oksijenin eklenmesi sağlanır. Sonraki aşama olarak elyaflar kesilerek grafit teknesine konur ve kararlı bir yapı haline dönüşür. Bu işlemden önce beyaz olan elyaf ilk önce kahverengine dönüşür daha sonra işlem bitiminde tamamen siyah rengini alır.
- 2- Karbonizasyon: Elyaflar yanıcı olmayan atmosfer ortamında 3000°C'ye kadar ısıtılarak liflerin %100 karbonlaşması sağlanır. Burada uygulanan sıcaklık elyafın sınıfını belirler.
- 3- Yüzey iyileştirmesi: Burada elyaf elektrolitik banyoya yatırılır. Sebebi ise yüzeydeki karbonların temizlenerek reçineye daha iyi yapışabilmesidir.
- 4- Kaplama: Bu aşama aşınmayı önlemek için yapılan son işlemdir. Elyaf reçine ile kaplanmaktadır. Bu işlem için daha çok epoksi reçine tercih edilir. Kompozit malzeme üretilirken elyaf ile reçine arasında bir ara yüzey görevi görür.

Karbon elyafı diğer elyaflara göre ortaya çıkan en önemli özelliği yüksek modül özelliğidir. Diğer malzemelere oranla en sert malzemelerdir. Tüm bu iyi özelliğinin yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda oksitleşmeye yatkın ve üretim maliyetinin yüksek olması büyük dezavantajlarıdır.

2.3.3 Aramid Elyafı

Aramid kelimesinin kökü aslında bir naylon türü olan aromatik poliamid malzemesinden gelir. Ticari ismi ise kevlar'dır. Aramid elyafın diğer elyaflarına göre bilinen en önemli özellikleri; yüksek çekme dayanımı, darbe dayanımı, aşınma dayanımı, kimyasal maddelere karşı dayanım, hafiflik, yüksek basınçlara dayanımdır. Aramid elyafı doğal olarak sarı bir renge sahiptir. Dezavantajı ise ultraviyole ışınlar maruz kalması durumunda bozulmalar olur. Bu yüzden karanlık ortamlarda saklanmalıdır.

Aramid elyafı piyasada askeri sanayi alanlarında balistik uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda ince, hafif kurşun geçirmez yelekler yapımında sürekli tercih edilen kompozit malzemelerdir.

Aramid elyaf ile oluşturulan kompozit yapılarda reçine ile aramid elyafı iyi birleşmelidir. Birleşmez ise çatlakların olduğu bir yapı ortaya çıkar ve eğer bu çatlaklardan içeri su geçişi olursa yorulma çok hızlı olur ve dayanımı düşer. Bu sebepten aramid elyafı hassas ve titiz bir çalışma gerektiren son derece pahalı bir malzemedir.

Aramid elyafı uygulama alanları;

- Askeri sanayi uygulamaları; Kask, kurşun geçirmez yelekler
- Motor sporları, eldiven, güvenlik ekipmanları
- Deniz araçları sanayiinde tekne gövdeleri ve yelken direği yapımında
- Otomotiv sanayiinde hortum ve emniyet kemeri yapımında
- Yüksek ısı ve basınç bulunan alanlarda kullanılır.



Şekil 2.3: Aramid elyaf örneği

Piyasada sıklıkla kullanılan iki tip aramid elyafı vardır. Birincisi Kevlar 23 olup yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek kopma uzaması gibi özelliklere sahiptir. Zırh malzemesi, halatlar ve kablolarda kullanılır. İkincisi ise Kevlar 49 olup yüksek modül, yüksek mukavemet, düşük kopma uzaması gibi özellikleri ile denizcilik ve otomotiv uygulamalarında kullanılır.

Tablo 2.1: Belli başlı elyafların karşılaştırılması

Malzeme	Yoğunluk (kg/m³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Spesifik Dayanım (Nm/g)	Spesifik Modül (Nm/g)
Alüminyum	3280	1950	297	594	90 x10 ³
E-Camı	2480	2600	72	1048	29 x10 ³
Karbon	2000	2900	525	1450	26 x10 ³
Kevlar 29	1440	2800	64	1944	44 x10 ³
Kevlar 49	1440	3750	136	2604	94 x10 ³

2.3.4 Seramik Elyaflar

Yüksek termal dayanıma sahip olan seramik elyaflar metal oksitlerden üretilmişlerdir. Seramik elyaflar ayrıca yüksek elastiklik modülüne ve kimyasal dirence sahip malzemelerdir. Alüminyum oksit, Alüminyum bor- silikat, Alüminyum bor- kromdan üretilirler. Bez ve keçe formunda üretilmektedirler.

2.3.5 Polyester Elyaflar

Polyester esaslı elyaflar genel olarak cam elyaflar ile birlikte kullanılmaktadırlar. Amacı ise malzemeye daha yüksek sertlik, aşınma ve darbe mukavemeti kazandırmasıdır.

2.4 Polimer Matrisli Kompozitler

İlk modern plastikler 1930'lu yıllarda kullanılmaya başlanmış ve diğer malzemeler ile rekabet edebilecek duruma gelmiştir. Metaller ile kıyaslandığı zaman plastik malzemeler hem hafiflik hem de korozyon dayanımı ve üstün yüzey kalitesi plastik malzemelerin yükselmesinde büyük rol oynamıştır.

Plastik malzemelerin bu üstün özelliklerine rağmen sertlik ve dayanıklılıklarının düşük olması bu alanda bilim insanlarını farklı arayışlara sürüklemiştir. Bu eksiklikten dolayı 1950'li yıllarda polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Böylece yüksek mukavemet, termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleri ile kompozit malzemeler ön plana çıkmaya başlamıştır. Çalışmaların daha da ilerlemesi sayesinde günümüzde polimer matrisli kompozitler sertlik ve dayanıklılık açısından metaller ile yarışmaktadır. Aynı zamanda metallere oranla çok hafif malzemelerdir.

Kompozit malzemeler matris ve takviye malzemelerinden oluşur. Temel prensip reçinenin içerisine elyafların gömülmesidir. Bunlar birbirleri içerisinde çözünmez sadece birleşimleri sağlanarak bütünlük oluşturması ve elyafların sıkı bir kombinasyonu ile dış etkilerden korunmasını sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak polimerler kullanılabilceği gibi metaller veya seramiklerde kullanılabilir. Genel olarak ele alındığında matris malzemesi olarak %90 polimer matrisler tercih edilmektedir.

Seramik matrisli kompozitler kırılğan yapıya sahip malzemeler olduğundan sadece yüksek ısı uygulamalarında kullanılırken metal matrisli kompozitler küçük çaplı parçaların yapımında uygun olmaları, büyük malzemeler yapımında pahalı ve çalışılması zor olduğu için çeşitli sınırlamalar getirmektedir.

Karbon matrisliler ise üretimi zor olduğu için yarış araçları ve hava araçlarının fren balatalarında kullanılırlar. Diğer matrisler ile kıyaslandığında polimer matrisler alternatif olarak en çok kullanılan alana sahiptir. Polimerlerden ise en çok kullanılan polyester ve epoksi reçinelerdir.

Matrislerden beklenen özellik çevre şartlarına karşı dirençli olması ve yüksek sertlik, dayanıklılıktır. Malzeme sert olmalıdır fakat bunun yanında gevrek olmamalıdır. Polimer matrisler termoplastik ve termoset matrisler olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Termoset matrisler en sık kullanılanlardır. Sıvı halde bulunur ve ısıtılarak kimyasal tepkimeler ile sertleştirilir. Termoset reçineler termoplastik ile karşılaştırıldığında geri dönüşü olmayan malzemelerdir. Termoset matrislerin çoğu

ortam sıcaklığında sertleşme tehlikesi olduğu için dondurularak depolanmaktadır. Termoset matrisler oda sıcaklığında 1- 4 hafta arası bekletildiğinde kendi kendine sertleşmeye başlayarak özelliklerini kaybederler. Dondurulduğu zaman 6 ay ile 18 ay arası raf ömrü olmaktadır.

Piyasada sıklıkla kullanılan termoset reçineler aşağıda gösterilmiştir:

2.4.1 Polyester Reçine

Yoğun olarak inşaat ve denizcilik alanlarında kullanılırlar. 2 tip polyester reçine bulunmaktadır. İsoftalik polyesterler suya dayanıklı reçinelerdir. Denizcilik alanlarında tercih edilirler. Ortoftalik polyester ise diğerine göre maliyeti çok daha düşüktür. Polyester reçinelerin avantajları şu şekildedir; Kullanımı ve uygulaması son derece kolaydır, düşük maliyet ve sertleşirken yüksek oranda çekme özellikleri vardır. Dezavantajları ise insan sağlığına son derece zararlı olan stiren gazı ortaya çıkarmaktadır, diğer reçineler ile kıyaslandığı zaman orta derecede mekanik özellikler verir ve oda sıcaklığında kısa raf ömrü vardır

2.4.2 Epoksi Reçine

Gelişmiş kompozitlerde tercih edilen her elyaf türü ile uyumlu olan bir reçinedir. Epoksi grubunun polimerizasyonu ile elde edilirler. Formülleri değiştirilerek özellikleri kontrol edilebilir ve istenilen özellikler ayarlanabilir. Özellikle uçak sanayinde formülleri değiştirilerek geliştirilmiş epoksi reçineler kullanılmaktadır.

Matris olarak epoksi reçineler tercih edildiğinde yüksek bağ özellikleri ve mukavemet sağlar. Kimyasal dirençleri yüksektir. Aynı zamanda uçucu olmayan bir malzemedir. Polyester reçine ile kıyaslandığında maliyeti daha yüksektir. Genellikle cam elyaf ve karbon elyaf ile birlikte kullanımında tercih edilir. Epoksi reçinenin özellikleri:

- Yüksek mekanik özellikler

- Suya dayanım
- Islak halde 140° C, kuru halde 220° C'ye kadar ısı dayanımı
- Sertleşme sırasında düşük oranda çekme
- Yüksek maliyet
- İnsan vücuduna zararlı olmasıdır.

2.4.3 Vinilester Reçine

Vinilester reçineleri hızlı sertleşme ve kolay işleme gibi özellikleri ile ön plana çıkan bir reçine türüdür. Epoksi reçine ile akrilik ya da meta akrilik asidin reaksiyona girmesi ile elde edilir. İyi derecede korozyon dayanımı ve mekanik dayanım özellikleri sağlar. Polyester reçine ile kıyaslandığında maliyet bakımından daha pahalı ve daha yüksek mekanik özellikler göstermektedir.

2.4.4 Fenolik Reçine

Fenolik reçineler yüksek ateş dayanımı istenilen yerlerde kullanılır. Maliyeti düşük ve uçakların iç bölümü, demiryolları, deniz araçlarının motor aksamında kullanılır. Yaş hali oldukça zararlı olup kırılgan ve yüzey kalitesi çok düşüktür. Oksijen ve ışığın bulunduğu ortama maruz bırakıldığında mekanik özelliklerini korur ama renklerini kaybederler. Renkleri kırmızı, siyah ve kahverengi ile sınırlıdır. Sıklıkla uygulama için tercih edilen yöntemler el yatırması/ püskürtme, pultrüzyon ve elyaf sarma yöntemidir.

2.4.5 Poliüretan Reçine

Poliüretan ilk olarak 1937 yılında Almanya'da bulunan ve karbamat bağlantısı içeren organik üniteler zincirinden oluşan bir polimer türüdür. Günümüzde köpük olarak üretilerek ses ve ısı izolasyonu ya da mobilyaların güvenle

taşınabilmesi için koruyucu olarak kullanılmaktadır. Sert poliüretan köpükler ise uçak kanatlarının içerisinde kullanılır. Reçine olarak bakıldığında ise otomotiv yüzey uygulamaları, fırın boyamada iyi yüzey kalitesi için, farklı ve geniş sıcaklık aralıklarında iyi mekanik özellikler göstermektedir. Standart boyalar ile kolaylıkla boyanabilmektedirler.

Polimer kompozit olarak çok fazla termoplastik çeşidi olmasına rağmen matris olarak çok az sayıda kullanılan bir matris yapısıdır. Termoplastik oda sıcaklığında sert halde bulunur ve ısıtıldığı zaman yumuşarlar. Termosetler ile kıyaslandığında termoplastikler daha az kullanılır. Fakat bunlar da yüksek tokluk, raf ömrünün uzun olması, güvenli çalışma ortamı sağlamanın yanında termosetlerden en önemli farkı geri dönüşüm yapılabilmesidir. Mühendislikte kullanılan termoplastik matrislerin ergime ve işlem sıcaklıkları tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Termoplastik matrislerin dayanım sıcaklık değerleri

Malzeme	Ergime Sıcaklığı (°C)	Maksimum İşlem Sıcaklığı (°C)
PP	160- 190	110
PA	220- 270	170
PES- Polieter Sülfon	-	180
PEI- Polieterimid	-	170
PAI- Poliamidimide	-	230
PPS- Polfenilen Sulfit	290- 340	240
PEEK- Polietereterketon	350- 390	250

Termoplastik matrisler yüksek maliyetlerinden dolayı pek tercih edilmezler. Aynı zamanda üretim zorlukları da etkili olmaktadır. İşlemesi son derece sağlığa zararlıdır ve işlenebilmeleri için çeşitli çözümler ile tepkimeye girmesi gerekmektedir. Termosetlere kıyasla bu işlemler son derece maliyetli olmaktadır. Kompozit malzemelerde termoplastik reçineler elyaf takviyesi ile inanılmaz derecede avantajlar sunmaktadır. Sağlam ve darbeye dayanıklı malzemelerdir. Ayrıca termosetler gibi sertleştirme işlemi yoktur.

2.5 Cam Elyaf Kompozit Malzemeler

Cam elyaflar günümüzde uçak sanayinden otomotiv endüstrisine kadar geniş bir uygulama alanına sahip olup kompozit sektörünün yaklaşık %90'lık bölümünü oluşturmaktadır. Cam elyaflar kendi aralarında aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

Tablo 2.3: Cam elyaf türü ve özellikleri

Cam Elyaf Türü	Özellikleri
A- Camı	Yüksek alkali oranı- Düşük maliyet
C- Camı	Kimyasal dayanım
E- Camı	Elektriksel özellikler
L- Camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M- Camı	Yüksek elastik modül
S-2- Camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2- Camı	Panellerde yarı şeffaflık
AR- Camı	Alkali dayanım
R- Camı	Yüksek çekme dayanımı

Piyasada en eski kullanılan cam elyaf türü E- camıdır. İstenilen özelliklere göre cam elyaf seçimi yapılır. Örneğin yüksek mukavemet istenildiğinde S- camı tercih edilir.

Elyaf takviyesi kullanılan kompozit malzemeler takviyesizlere oranla daha sağlam bir yapıya sahip olurlar. Cam elyaf oranındaki artış doğrusal olarak kompozit malzemelerin dayanımında da artış şeklinde görünür.

Cam elyaf kompozit malzemeler normal bir çeliğe oranla 3 kat daha dayanıklı olabilir ve ağırlıkları kıyaslandığında bir çeliğe göre tokluğu daha yüksek olmaktadır.

Dokuma olmayan ve el yatırması yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler, dokuma cam elyaflardan üretilen ürünlere göre %40- 50 oranında daha az mukavemet gösterirler. Elyaf dizilişlerine göre uygun biçimde üretilen ürünler daha iyi özellikler gösterebilirler.

Kompozit malzeme üretilirken genel olarak birkaç katman halinde üretilirler. Bu katmanlar malzemenin son hal özelliklerini belirleyen katmanlardır ve birçok parametrede etkili olmaktadır. Örneğin bu parametreler katman sayısı, matris/elyaf oranı, matris cinsi, elyaf türü ve elyafın kullanıldığı açılar kompozit malzemenin mukavemet özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Mühendislik alanlarında yalnızca elyafların kullanımı sınırlıdır. Bunları bir araya getirerek sağlam bir yapı oluşturması için bir polimer matris gerekmektedir. Matris elemanı elyafları koruyarak, kopmasını engelleyerek kuvvetin aktarımını sağlayabilecek nitelikte olmalıdır. Matris tek başına zayıf, düşük yoğunluğa ve dayanıma sahip bir malzemedir. İçerisinde elyaf bulunmadığı takdirde fazla yüke dayanmaz. Matris ve elyaf bir arada kullanıldığında bütünleşir ve bağ kurarak yüksek sertlik, tokluk gibi özellikler sağlar.

Cam elyaflar düşük uzama, yüksek elastik modül ve çekme, basma mukavemetine sahiptir. Ayrıca sıcaklığa olan dayanımı ve düşük nem tutma özelliği ile ortam şartlarına uyum sağlayabilmektedir. Tabi ki tüm bu özellikleri sağlaması için matris ve elyafın uyum içerisinde olması gerekir. Aksi halde matris malzemesi içerisine nem girişi olduğunda mekanik özelliklerde ciddi bir düşüş görülür.

Cam elyaf 1940'ların sonlarına doğru geliştirilmeye başlamıştır ve günümüzde kompozit malzemelerin %85'i cam elyaf takviyelidir. Çoğunlukla otomotiv endüstrisi, deniz araçlarında tekne gövdelerinde, hafif olması sebebiyle spor araçlarının yapımında kullanılmaktadır.

Takviye olarak cam elyaf kullanımı ile geliştirilen kompozitler camın özellikleri ile plastiklerin özelliklerinin birleşmesi ile mekanik özellikleri metalleri bile geçmiştir.

Cam elyaf kompozitlerin özellikleri aşağıda detaylı bir biçimde sıralanmıştır;

- 1- Yüksek özgül mukavemet: Yüksek mukavemet/ yoğunluk olarak tanımlanan özgül mukavemet değerinde mukavemet değerinin yüksek, yoğunluğun düşük olması otomatik olarak özgül mukavemet değerinin yükselmesine neden olmaktadır.
- 2- Hafiflik: Kompozit malzemelerin temeli plastik malzemelere dayandığı için metallerle oranla hem yüksek mukavemet hem de birim alan ağırlığı bakımından avantajlar sunmaktadır.
- 3- Tasarım esnekliği: Kompozit bir modelleme yapılacağı zaman karmaşık, büyük, küçük, dekoratif parçaların yapımı çok kolaydır.

- 4- Yüksek dielektrik direnci: Çarpan elektrik yalıtımı sebebiyle tercih sebebidir.
- 5- Korozyon dayanımı: Metaller ile kıyaslandığında temel bileşenleri neticesinde nem almaya karşı dirençli yapısı sayesinde korozyon dayanımları yüksektir.
- 6- Kalıplama kolaylığı: Eski yöntemler ile birden çok malzemenin montajlanarak oluşturulduğu bir parça bu sayede tek parça olarak yapılabilmektedir.
- 7- Şeffaflık: Kompozitlerin en önemli özelliğinden biri de şeffaflık ve ışık geçirebilirlik özelliğidir. İstenildiği takdirde tam şeffaf yapılarak güneş enerji sistemlerindeki kollektör yapımında kullanılır. Reçineye özel pigmentler eklenerek bu özellik sağlanabilmektedir.
- 8- İnşaat uygulamalarında kaplama: Beton yüzeye iyi derecede yapışır ve betonun yapısından dolayı gözenekli bölgelerin içerisine sızarak sertleşir. Böylece iyi bir yapışma özelliği sağlanır.
- 9- Çelik yüzeyine uygulama: Çeliğin üzerindeki pas ve artık yağ kalıntıları temizlenerek kaplama yapıldığı zaman korozif etkilere karşı çeliğin dış yüzeyi korunmuş olur.
- 10- Kolaylıkla kesilip delinebilme: Tıpkı ahşap malzemelerde olduğu gibi kompozitlerde kesilip delinerek işlenebilmektedir. Burada tek ayrıntı kesici aletlerin uç malzemeleri sert malzemedden yapılmış olursa daha iyi sonuçlar vermektedir.

Faydalarının yanında kompozitlerin dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Bazı durumlarda kritik düzeyde ısıyla etkileşim olan yerlerde kompozit malzemeler çeliklere göre yetersiz kalabilmektedir.
- 2- Metallerin geçmişi çok daha eskilere dayandığı ve kompozit teknolojisi yeni gelişen ve hala gelişmekte olan bir teknoloji olduğu için matris ve elyaf türleri metaller kadar iyi bilinmemektedir.
- 3- Karmaşık yapılar her zaman ekonomik bir şekilde üretilmeyebilirler.

- 4- Kompozit malzeme üretim yöntemlerinde bazen stiren gazı adı verilen kimyasal ortaya çıkmaktadır. Bu gaz insan sağlığı için son derece tehlikelidir. Bu nedenle özel tedbirler ve önlemler alınması gerekir.
- 5- Kg ağırlığı göz önüne alındığında kompozit malzemeler metallere göre daha pahalıdır.
- 6- Üretim yöntemi süresince içerisinde bulunan hava kabarcığı alınmaz ise malzemenin yorulma davranışını olumsuz yönde etkiler.
- 7- Doğru yönlerine göre farklı mekanik özellikler gösterebilir.
- 8- Malzemenin kalitesi tamamen üretim yöntemine bağlıdır. Örneğin el yatırması yönteminde ürün kalitesi doğrudan işçinin el becerisine bağlıdır.

Cam elyaf kompozit malzemelerin uygulama alanları aşağıda gösterilmiştir:

- 1- Deniz araçları: Yat, tekne gövdesi, yelken direği, dekoratif amaçlı iç dizayn, kontrol panelleri
- 2- Su sporları: Sörf tahtası ve aquapark su kaydırakları
- 3- Hava araçları: Pervaneler, koltuk ekipmanları, pencere çerçeveleri, kanatlar
- 4- Korozyona dayanıklılık: Sıvı depolama tankları, alt yapı boruları, ilan panoları
- 5- Sağlık ekipmanları: Tıbbi cihazların dış koruyucuları
- 6- Ev aletleri: Dondurucu, mikrodalga fırınları, motorlu aletler, hesap makineleri, servis tepsileri, abajurlar
- 7- Otomotiv endüstrisi: Araç tamponları, spor araç gövdeleri, şaftlar, kaporta parçaları, araç kapıları
- 8- Askeri uygulama: Kurşun geçirmez yelekler (aramid elyafı), balistik koruyucu paneller, roket ve silah parçaları, askeri deniz araçları, helikopter kanat ve iç dizayn elemanları
- 9- Gıda / tarım sektörü: Gıda depolama tankları, silo, balık çiftlikleri, taşıma kapları

2.6 Katkı/ Dolgu Malzemeleri

Katkı malzemeleri matris yapısından tamamen farklı olan ve ağırlıkça çok düşük miktarlarda ilave edilerek kompozit malzemelerin mukavemetini arttıran katı parçacıklardır. Uygulama alanlarına göre mikron ya da nano boyutlarda olabilmektedir. Bu ürünlerin maliyetleri kompozit malzeme temel elemanlarından daha düşük olduğu için maliyet düşürücü olarak da kullanılmaktadır. %40- 60 arasında kullanıldığı zaman dolgu maddesi olarak isimlendirilirler. Katkı malzemeleri genelde inorganik yapıdadır. Fakat organik olanları da mevcuttur. Kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerine önemli katkılar sağlamaktadır. Katkı malzemesi cinsi özellikle polimer matrislerde belirgin farklar ortaya çıkarmaktadır. Temel amaç bileşenlerin maliyetini düşürmektir.

Tablo 2.4: Kompozit malzemelerde katkı maddelerinin mekanik özelliklere etkisi

Katkı/ Dolgu Maddelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi
Kompozit malzemelerin alev karşı dayanımlarını arttırmaları.
Üretim maliyetini düşürürler.
Takviye katkı maddeleri kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirirler.
Kompozit malzemede matris ve reçine arasına bağlanarak yükün dağılımını sağlar, fiziksel ve mekanik dayanımlarını artırır.
Üretim esnasında ultrasonik karıştırıcılar ile homojen bir şekilde karıştığı için daha düzenli bir yapı oluşturur.
Nem ve hava direnci, ısıya karşı dayanım, düzgün yüzey kalitesi sağlar, malzeme sertliğini artırır.
Hafif nano boyuttaki partiküller kompozit malzemede ağırlık artışında bulunmadığı gibi dayanımı olumlu yönde etkileyerek en düşük maliyetle üretimi sağlar.

Katkı maddelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Uygun kullanılmaması durumunda yukarıda anlatılan özellikleri sağlayamazlar. Bu hususlar aşağıda belirtilmiştir;

- Parçacık boyutunun uygun olarak seçilmesi
- Katkı maddesi ilavesi ile ortaya çıkacak kimyasal reaksiyonlar bilinmeli
- Yapı içerisinde homojen dağılarak bağlanabilmeli

- Hassas üretim ve ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmalı
- Üretimde güvenlik üst düzeyde olmalı
- Parçacıkların maliyeti hesaplanmalıdır.

Burada en önemli faktör maliyettir. Çünkü organik ve inorganik olarak çok fazla katkı malzemesi bulunmaktadır. Her biri farklı özellikler sağladığı için kaynak durumuna, belirtilen boyutlara getirilme maliyeti doğal olarak nanopartikül maliyetin de etkilemektedir.

Katkı maddelerinin mekanik özelliklere etkisinden kısmen söz edilmişti. Örneğin kompozit malzemenin çekme dayanımı yüksek olması istenen bir kompozit için katkı malzemesinin matris malzemesine göre daha dayanıklı bir malzemenin seçilmesi gerekmektedir. Basma dayanımı isteniyorsa nano boyutta küresel yapıdaki katkı maddeleri kullanmak gerekir. Tokluk için ise elastik modülü yüksek maddeler tercih edilir.

Kompozitlerin sertlikleri arttırılmak isteniyorsa sert katkı/ dolgu maddeleri eklenir. Ayrıca yoğunluk kontrolü sayesinde daha sağlam ve birbiri içine kenetlenen sıkı bir yapı oluşturulabilir. Eğer yumuşak bir malzeme yapılmak isteniyorsa bu da düşük aşınmaya sebep olur.

Günümüzde kompozitlerde sık kullanılan katkı malzemeleri aşağıdaki gibidir;

- Karbonatlar
- Silikatlar; Talk, Asbest, Kaolen, Mika
- Silikon dioksit
- Çeşitli mineraller
- Al(OH)₃
- Karbon karası
- Organik katkı malzemeleri; Fındık kabuğu, Talaş, Mısır koçanı vb.
- Cam fiberler
- Karbon fiberler, Aramid fiberler, Tüy vb.

Tez çalışmamızda 3 adet katkı malzemesi kullanılmıştır. İlk olarak CaCO₃ kullanılmıştır ve katkı oranları %3, %5 ve %10 olarak belirlenmiştir. İkinci katkı malzememiz SiO₂ kullanılmıştır ve oranları %1, %3 ve %5 kullanılacaktır. Son

olarak tercih edilen katkı maddesi grafen olarak belirlenmiştir ve düşük miktarlarda kullanımı bile mukavemeti arttırmıştırdan dolayı %0.1, %0.3 ve %0.5 olarak belirlenmiştir. Tüm bunların yanında 1 adet katkı maddesi bulunmayan cam elyaf plaka üretilerek katkı maddesi ve katkı oranlarının numunelerin çekme dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Katkı maddelerinin özellikleri aşağıda anlatılmıştır.

2.6.1 Kalsiyum Karbonat (CaCO₃)

Kalsiyum karbonat doğada kayalardan elde edilen bir kimyasal bileşiktir. Ülkemiz bu mineral bakımından oldukça zengin bir coğrafi konuma sahiptir. Bu bileşik aşırı derecede kimyasal tepkime yanlısıdır. Sanayi alanında oldukça fazla kullanılmaktadır. Çeşitli şekillerde kristalleşir ve cam gibi parlak ve saydam yapıdadır. Nanopartikül boyutlarına getirildiğinde beyaz renkli bir toz elde edilir.

Karbonat plastıklere ilave edilen ve daha çok maliyeti düşürmek için dolgu maddesi olarak kullanılan bir bileşiktir. Çok ince olanları genellikle PVC’de kullanılmaktadır.

Kalsiyum karbonatın özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- İçerisinde metal iyonu bulunmaz ve yüksek saflığa sahiptir.
- Kolay işlenebilirlik özelliği vardır ve aşındırıcı etkisi yoktur.
- Saydamlığından dolayı geçirgendir. Son üründe mekanik ve elektrik özelliğinde etkisi vardır.
- Tokluk sağlar.
- Düzgün yüzey kalitesi verir.
- Isı direnci yaklaşık 650°C civarındadır.
- Maliyeti çok düşüktür.



Şekil 2.4: Katkılı plakada kullanılan CaCO_3 nano partikül tozu

2.6.2 Silika (SiO_2)

Silika renk bakımından çok çeşitlidir. Genellikle beyaz renklidir fakat demir oksit miktarı çok olursa kahverengi veya pembe renge yakın olabilmektedir. Düşük özgül ağırlık ve yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. Oksit bakımından zengin magmatik kayaçların ayrışması ile oluşan ince tanecikli yapıda bir bileşiktir. Silika, cam, döküm, kimya sanayiinde, cam suyu üretimi, inşaat, metalürji, boya, kauçuk & lastik sanayiinde sıklıkla kullanılır. Daha önceden silika nanopartiküllerinin kompozit malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde gerilme mukavemeti, darbe mukavemetinde artışlar görülmüştür. Kompozit malzeme için gerekli olan ana malzemeler sınırlı olduğu için silika gibi nanopartiküller ana malzemeler ile aynı özellikleri sağlarken maliyeti de düşürmeyi hedeflemektedir. Bu malzemelerden sıklıkla kullanılan silika malzemenin mekanik, termal ve elektriksel özelliklerin iyileşmeye sebep olmaktadır. Epoksi matrise silika eklenmesi durumunda termal genleşme katsayısında azalma, ısı iletkenlikte artış ve diğer mekanik özelliklerde de artışa sebep olmaktadır. Bu sebeple silika kompozit malzeme üretiminde sıklıkla tercih edilen bir katkı malzemesi haline gelmiştir.



Şekil 2.5: Katkılı plakada kullanılan SiO₂ nano partikül tozu

2.6.3 Grafen

Karbonun doğada bulunan allotropları grafit ve elmadır. Grafit levha biçiminde iki boyutlu olarak üst üste yığılmasıyla katman şeklinde oluşan yapıdır. Grafen ise bunların bal peteği örgüsünde olanlardan bir tanesine verilen isimdir. Bunun yanında kompozit malzemelerde grafen ailesinden olan karbon nanotüp aynı sınıflandırma içerisinde. Karbonun sert bir atom olmasından dolayı bu elemanların nanopartikül boyutlarında kompozit malzemelerde katkı malzemesi olarak kullanımı mukavemette artışlar sağlamaktadır. Grafen ve karbon nanotüp az miktarda kullanıldığında bile gözle görülür bir artış sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki grafen bileşeni eklenmesi burkulma önleminin yanı sıra titreşim sönümlenme, elektriksel ve termal özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Grafen tek eksenli kompozit malzemelerde katmanlar arası kayma mukavemetini de önemli ölçüde arttırmaktadır.



Şekil 2.6: Katkılı plakada kullanılan grafen nano partikül tozu

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Kompozit Plaka Üretimi

Bu tez çalışmasında cam elyaf kompozit plakalar el yatırması yöntemi ile üretilmiştir. Kullanılan kumaş tek eksenli cam elyaf olarak belirlenmiştir. Epoksi / sertleştirici oranı 1,0 / 0,8 olarak karıştırılmıştır. Kullanılan epoksi reçine Polires 840 ve sertleştirici olarak Polidur 875 karıştırılarak matris malzemesi oluşturulmuştur. Şekil 3.1’ de gösterildiği gibi cam elyaflar rulodan 400 x 500 mm boyutlarında kesilmiştir. Her bir plaka 9 katmandan oluştuğu için istenilen açı ve doğrultularda kumaş kesimi yapılmıştır.



Şekil 3.1: Cam elyaf rulo

Kumaş kesimi sonrası epoksi reçine hazırlanmıştır. Fırın içerisinde yaklaşık 80° C sıcaklıkta fırında ısıtılan epoksi reçine, sertleştirici ile karıştırılmıştır. Sonraki aşamada katkısız plakalar için uygulamaya geçilmiştir. Katkılı plakalar için Şekil 3.2’de gösterildiği gibi Hielscher UP400S marka ultrasonik karıştırıcı ile yapılmıştır.



Şekil 3.2: Hielscher UP400S ultrasonik karıştırıcı

Katkı oranları ağırlıkça;

Grafen için %0,1 – 0,3– 0,5

CaCO₃ için %3 – 5 – 10

SiO₂ için %1 – 3 – 5 olarak belirlenmiştir ve epoksi reçine içerisine karıştırılmıştır.

Karışım esnasında ısınmayı önlemek ve karıştırma esnasında sertleşmeyi önlemesi için Şekil 3.3’de gösterilen Labo CH750 markalı soğutucu kullanılmıştır. Beher içerisinde bulunan epoksi reçine ve nano parçacıkların karıştırılması esnasında ısınma meydana gelmektedir. Sıcaklığın 45° C’yi geçmemesi için soğutucu kontrollü olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Labo CH 750 soğutucu

Tablo 3.1: Kullanılan nano parçacıkların teknik özellikleri

Katkı Malzemesi	Tane Boyutu (nm)	Safılık (%)	Renk
Grafen Tozu	<20	99	Siyah
SiO ₂ Tozu	15-20	99	Beyaz
CaCO ₃ Tozu	50-80	99	Beyaz

Kompozit plaka üretiminde kullanılan nano parçacıklar Ege Nanotek Kimya Sanayi Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Plaka üretimi Meduza Carbon Products/ İzmir imkanları kullanılarak yapılmıştır.

Nano parçacık, reçine ve sertleştirici karışımından sonra ilk olarak daha önceden ısıtılmış mermer yüzeyine sıcaklıktan etkilenmeyen şeffaf naylon serilmiştir. İlk kat için Şekil 3.4’de gösterildiği gibi naylon üzerine rulo ile karışım sürülerek kumaş yerleştirilerek birinci kat oluşturulmuştur. Sonrasında her kumaş üzerine tekrar reçine uygulaması yapılarak yeni bir kat oluşturuldu.



Şekil 3.4: Rulolama işlemi ve elyaf yatırma

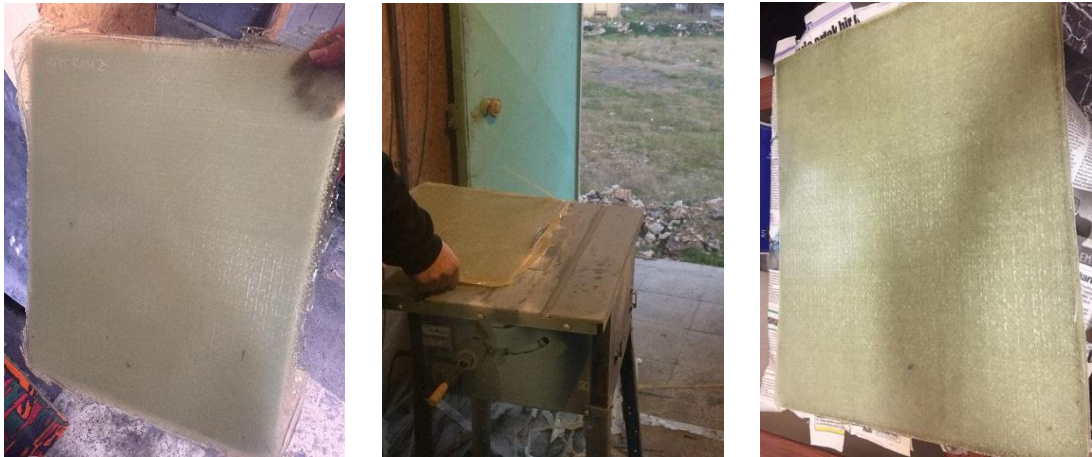
Kompozit plaka üretilirken kullanılan her kat farklı açıda uygulanmıştır. Kumaş açıları 0° / -45° / +45° / 90° / 0° / 90° / +45° / -45° / 0° olarak belirlenmiş olup katkılı ve katkısız toplam 10 adet plaka üretilmiştir.

Rulolama ve kumaş yatırma işleminden sonra üzeri yanmaz naylon ile kapatılmış ve sert bir cisim ile bastırılarak hava kabarcığı ve fazlalık reçine dışarı atılmıştır. Sonraki basamakta hazırlanan plakalar sıcak prese gönderilir. Şekil 3.5’de gösterildiği gibi yerleştirilmeden önce presin altında 400 x 500 mm’lik metal sac konulmuştur. Üzerine yanmaz bir kumaş yerleştirilerek üretilen plaka yerleştirilmiştir. Daha sonra tekrar yanmaz kumaş ve üzerine aynı boyutta metal sac yerleştirilerek sıcak preste 0,6 MPa (6 bar) basınçta ve 135° C sıcaklıkta 2 saat boyunca bekletilmiştir.



Şekil 3.5: Kompozit plakaların presleme işlemi

2 saatlik sürenin sonunda plaka çıkarıldığında kumaş dışındaki bölgelerde reçine artıkları kalır. Bu artıklar Şekil 3.6’da gösterildiği gibi temizlenerek kesim payı bırakılacak ve kumaşlara değmeyecek şekilde çapak temizleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.6: Çapak temizleme işlemi

3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması

Deney numuneleri ASTM D3039/ D/ D3039M standardına göre 25 x 250 mm boyutlarında su jeti ile kesilmiştir. Her bir numune kalınlığı standartta verilen tolerans ölçüleri dahilinde $\sim 2,5 \pm 0,2$ mm olarak uygun biçimde çekme testine tabi tutulmuştur. Su jeti ile kesim işleminde iki farklı kesim yapılmıştır. Tip A için plakalar 0° açı ile kesilerek elyaf açıları $0^\circ / -45^\circ / +45^\circ / 90^\circ / 0^\circ / 90^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 0^\circ$ olarak kesilmiştir. Tip B için ise plakalar 90° açı ile kesilerek elyaf açıları $90^\circ / -45^\circ / +45^\circ / 0^\circ / 90^\circ / 0^\circ / +45^\circ / -45^\circ / 90^\circ$ açılarında numuneler oluşturularak deney parametreleri arttırılmıştır. Burada tip A ve tip B arasında 90° ve 0° elyaf açılarının miktarının mukavemete etkisi incelenmiştir. Kompozit plakaların su jeti ile kesimi Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Numuneler su jetiyle kesildikten sonra kuru ve temiz bir bez ile iyice temizlenerek kategorize edilmiştir.

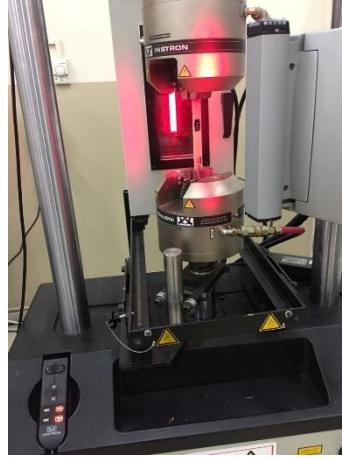


Şekil 3.7: Kompozit plakaların su jeti ile kesimi ve sınıflandırılması

3.3 Deney Numunelerinin Çekme Testinin Yapılması

Su jetiyle standarda göre kesilen çekme numuneleri INSTRON 8801 servo hidrolik çekme cihazı kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. INSTRON 8801 test cihazı 207 bar hidrolik basınca sahip olup ± 50 kN çekme kapasitesine sahip standartlar doğrultusunda kabul gören optimum çalışma koşullarına uyum sağlayan test cihazıdır. Şekil 3.8’de test numunesi sabitlenmiştir. Çene genişliği 50 mm ve

yüksekliği 55 mm'dir. Numune bir takım sabitleme işlemleri vasıtası ile tam olarak kenarlardan 12,5 mm kalacak şekilde orta noktasından düz bir biçimde bağlanmıştır.



Şekil 3.8: INSTRON 8801 çekme test cihazı

Test numuneleri için kompozit plakalardan özel olarak 25 x 55 mm ölçülerinde pabuçlar kestirilmiştir. Test çubuklarına yapıştırılan pabuçlar test cihazının çenelerinin rahat bir şekilde kavrayabilmesi için özel yapıştırıcılar kullanılarak sabitlenmiştir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 4 farklı numune üretilip karşılaştırılmıştır. İlk numune katkısız cam elyaf kompozit numuneler olup diğer numunelerde farklı oranlarda nano seviyede kalınlıkları bulunan partiküller epoksi reçine içerisine karıştırılarak kompozit yapının çekme dayanımı incelenmiştir. Grafen ağırlıkça 0,1- 0,3-0,5 % oranında, SiO₂ ağırlıkça 1- 3- 5 % oranında ve CaCO₃ ise ağırlıkça 3- 5- 10 % oranında kullanılmıştır. Aynı zamanda elyaf açıları 0°/ -45° / +45° / 90° / 0° / 90° / +45° / -45° / 0° olan Tip A ve 90°/ -45° / +45° / 0° / 90° / 0° / +45° / -45° / 90° olan Tip B şeklinde iki farklı oryantasyona sahip kompozit plaka elde edilerek, iki farklı yapının mekanik dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Aynı özelliklere sahip en az üç numune üzerine monotonik artan aksenal çekme deneyleri yapılmış olup, bulunan sonuçların ortalama değerleri alınarak tablolarda gösterilmiştir. Aynı özelliklere sahip numunenin çok farklı değer verdiği durumlarda, hatalı olduğu düşünülen deney sonucu yerine dördüncü deney yapılmış ve en iyi üç deney sonucuna göre ortalama değerlerin alınması ile daha düzgün sonuçlar elde edilmiştir. Katkı maddeleri olarak grafenin ağırlıkça 0,1- 0,3 ve 0,5% gibi düşük oranlarda kullanılmasının sebebi tanecik boyutunun çok küçük olması ve epoksi reçine ile daha kolay yapışabilme özelliğine sahip olmasından dolayıdır. Düşük miktarlarda kullanımı bile mukavemeti arttırabilmektedir. Silika tanecik boyutları grafene oranla daha büyük olduğu için 1- 3- 5% oranlarında tercih edilmiştir. Kalsit malzemesinin diğerlerine oranla tanecik boyutu çok büyük olduğu için kalsit daha çok takviye malzemesi olarak kullanılmasına rağmen burada minimum değerleri kullanılarak 3- 5- 10% oranlarında tercih edilmiştir.

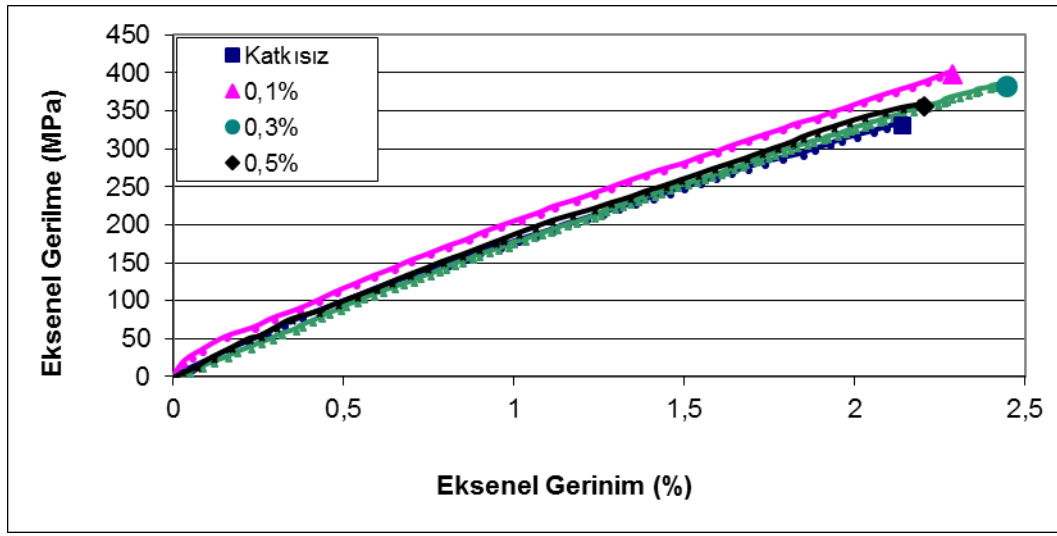
4.1 Grafen Nano Partikül Katkısı

Cam elyaf kompozit malzemesi üretim sürecinde epoksi reçinesine ağırlıkça %0,1, % 0,3 ve %0,5 oranlarında ilave edilen grafen partikülünün çekme dayanımına etkisi Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Aynı zamanda grafiksel olarak Tip A (0°/ -45° / +45° / 90° / 0° / 90° / +45° / -45° / 0°) ve Tip B (90°/ -45° / +45° / 0° / 90° / 0° / +45° / -45° / 90°) sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

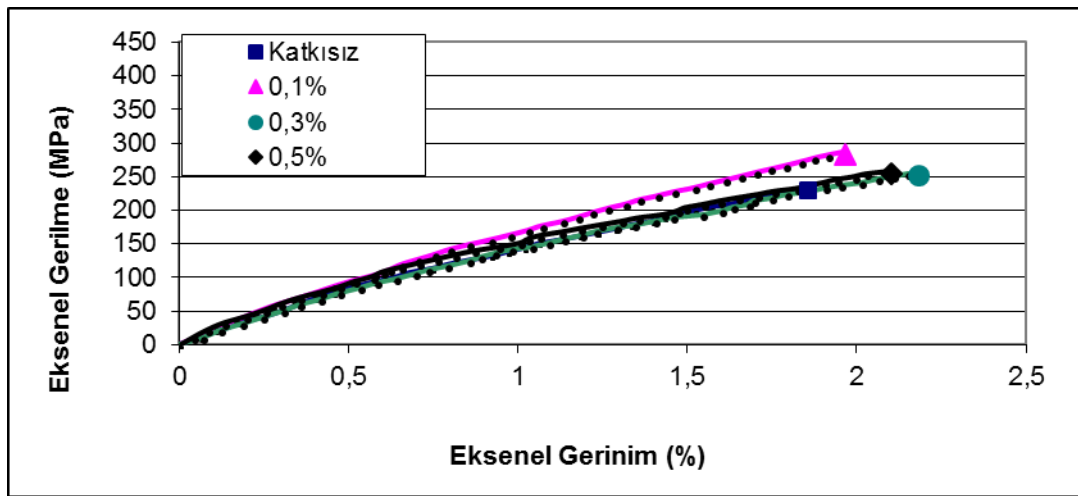
Tablo 4.1: Grafen katkıli kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

Grafen Katkı Oranları (%)	Tip A Çekme Dayanımı (MPa)	Tip B Çekme Dayanımı (MPa)
0	330	234
0,1	398	285
0,3	389	256
0,5	372	240

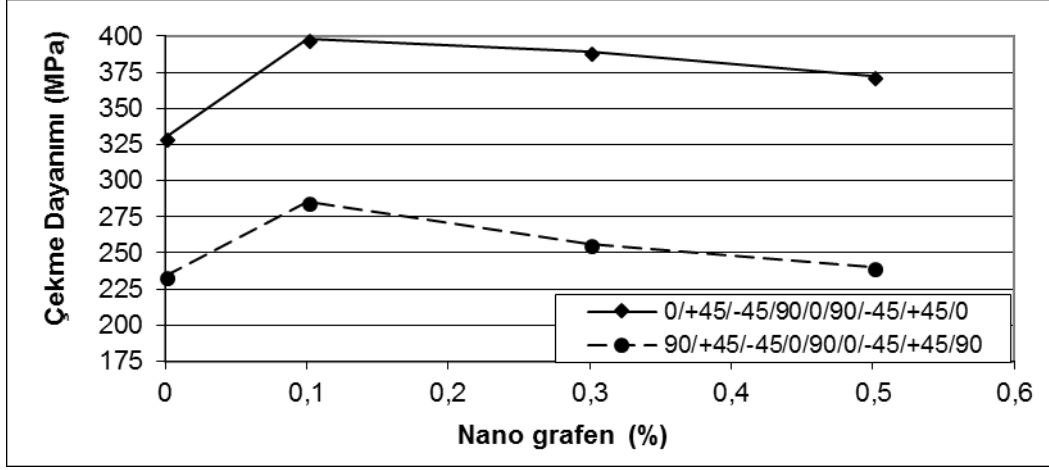
Tip A: 0° / -45° / +45° / 90° / 0° / 90° / +45° / -45° / 0°
Tip B: 90° / -45° / +45° / 0° / 90° / 0° / +45° / -45° / 90°



Şekil 4.1: Grafen nano partikül katkıli/katkısız Tip A kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı



Şekil 4.2: Grafen nano partikül katkıli/katkısız Tip B kompozitlerin aksenal gerilme gerinim davranışı



Şekil 4.3: Grafen nanopartikül katkı Tip A ve Tip B kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırması

Yapılan deney sonucunda grafen katkı malzemesinin düşük oranlarda mukavemeti arttırdığı gözlenmiştir. Optimum kullanım miktarı %0,1 olup maksimum değere bu oranda ulaşmıştır. Katkı oranı arttıkça mukavemet oranında düşüş gözlenmektedir. %0,1 oranında grafen kullanımı epoksi reçine ile etkileşime girerek yapışma özelliklerini arttırmış ve çekme dayanımında olumlu sonuçlar göstermiştir. Tip A'da %20 ve %18'lik artışa ve Tip B'de %22 ve %9'luk bir artışa neden olmuştur. Ayrıca Tip A'da görüldüğü gibi elyaf oryantasyonunda 0°'lik açılardan Tip B'ye göre sayıca fazla oluşu mukavemetin arttığını ve yükün önemli bir kısmının 0°'lik açının taşıdığını göstermektedir. Farklı oryantasyona sahip kompozit malzemelerin nano partikül ilavesi durumunda benzer eğilim göstermesi, deney sonuçlarında ortalama değer kullanmanın önemini ve deney sonuçlarının doğruluğunu göstermektedir.

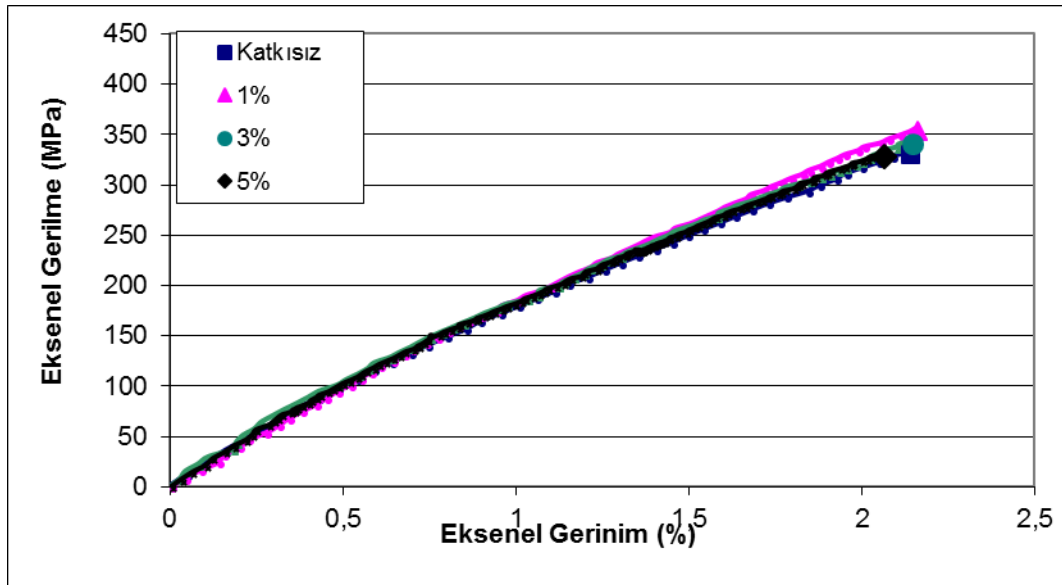
4.2 Silika (SiO₂) Nano Partikül Katkısı

Cam elyaf kompozit malzemesi üretim sürecinde epoksi reçinesine ilave edilen ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranlarında ilave edilen silika nano partikülünün çekme dayanımına etkisi Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

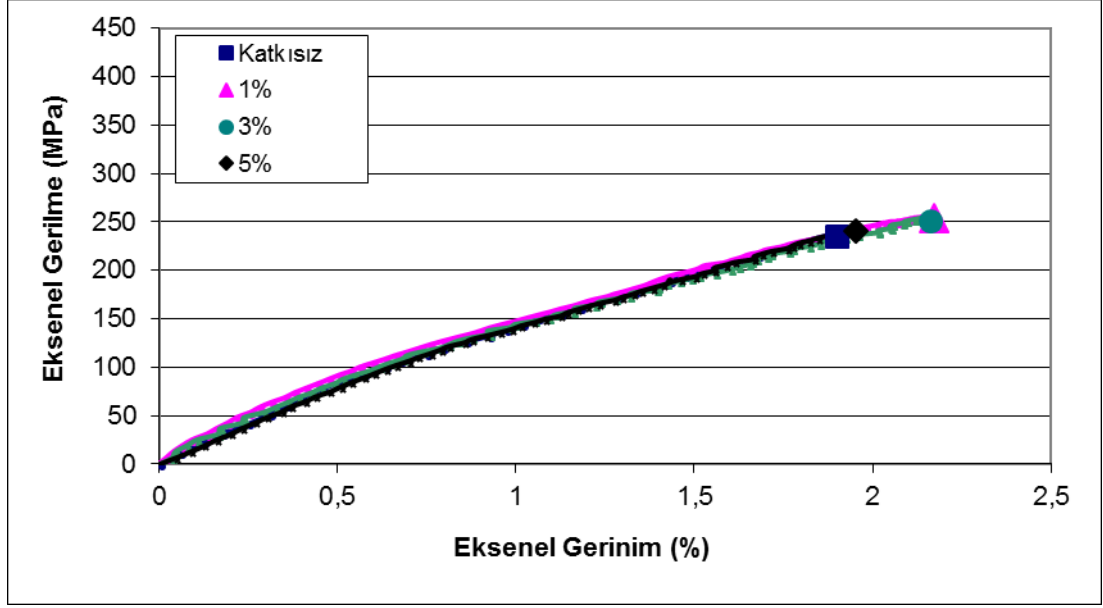
Tablo 4.2: Silika (SiO₂) katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

Silika (SiO ₂) Katkı Oranları (%)	Tip A Çekme Dayanımı (MPa)	Tip B Çekme Dayanımı (MPa)
0	330	234
1	355	256
3	345	255
5	331	244
Tip A: 0° / -45° / +45° / 90° / 0° / 90° / +45° / -45° / 0°		
Tip B: 90° / -45° / +45° / 0° / 90° / 0° / +45° / -45° / 90°		

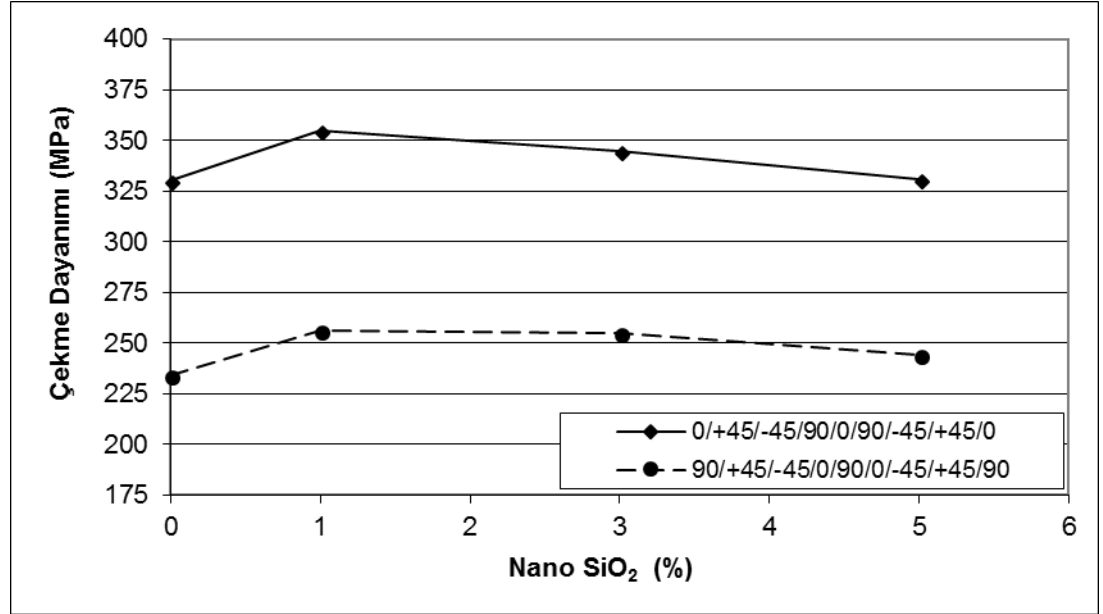
Tablo 4.2’de görüldüğü gibi katkısız numuneye oranla %1 silika katkısı kullanımı çekme mukavemetini Tip A için %8 oranında Tip B için %10 oranında arttırmıştır. Optimum değere %1 katkı oranında ulaşılmış ve daha sonraki katkı oranlarında orantılı bir biçimde dayanımı düştüğü görülmüştür. Tabloda verilen değerler %5 silika oranının üzerinde silika nano partikül kullanımı katkısız cam elyaf kompozit numunelerinin çekme dayanımından daha düşük bir seviyede devam edeceğini göstermektedir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de Tip A ve Tip B için çekme dayanımı sonuçları grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 4.6’da ise Tip A ve Tip B’nin birbiri ile kıyaslaması görülmektedir. Grafende olduğu gibi burada da elyaf açılarının değişimi çekme dayanımında değişikliklere sebep olmaktadır. Partikül takviyesi ile kopma gerinim değerlerinin arttığı ayrıca deney sonuçlarında Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.4: Silika (SiO₂) nano partikül katkılı/katkısız Tip A kompozitlerin Eksenel Gerilme Gerinim davranışı



Şekil 4.5: Silika (SiO₂) nano partikül katkılı/katkısız Tip B kompozitlerin eksenel gerilme gerinim davranışı



Şekil 4.6: Silika (SiO₂) nanopartikül katkılı Tip A ve Tip B kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırması

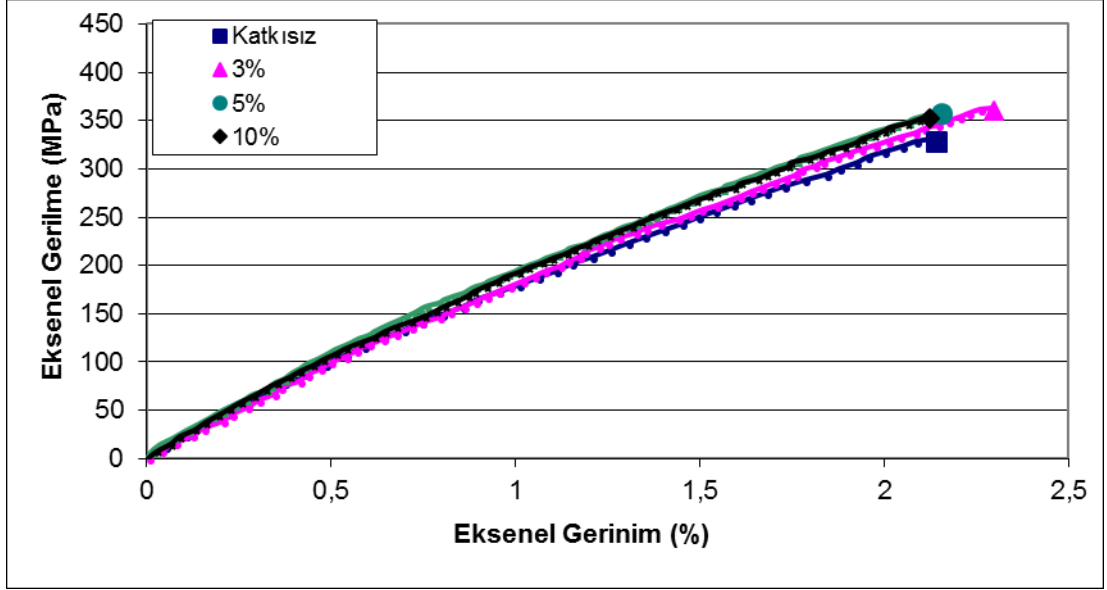
4.3 Kalsit (CaCO₃) Nano Partikül Katkısı

Bu çalışmada kalsit nano partikülleri %3- 5 ve 10 oranlarında kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda kalsit malzemesi katkı maddesinden ziyade dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Fakat yapılan çalışmada düşük oranlarda kalsit nano partikülünün cam elyaf kompozit malzemelerin çekme mukavemetindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma neticesinde elde edilen dayanım değerleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

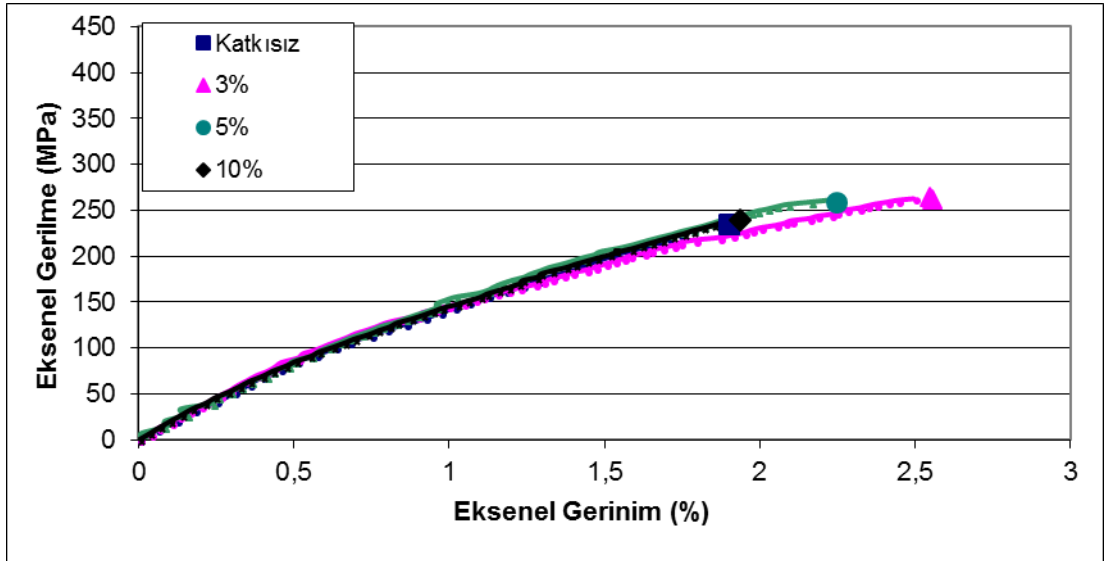
Tablo 4.3: Kalsit (CaCO₃) katkılı kompozit numunelerin çekme dayanımı sonuçları

Kalsit (CaCO ₃) Katkı Oranları (%)	Tip A Çekme Dayanımı (MPa)	Tip B Çekme Dayanımı (MPa)
0	330	234
3	362	264
5	360	262
10	355	242
Tip A: 0° / -45° / +45° / 90° / 0° / 90° / +45° / -45° / 0°		
Tip B: 90° / -45° / +45° / 0° / 90° / 0° / +45° / -45° / 90°		

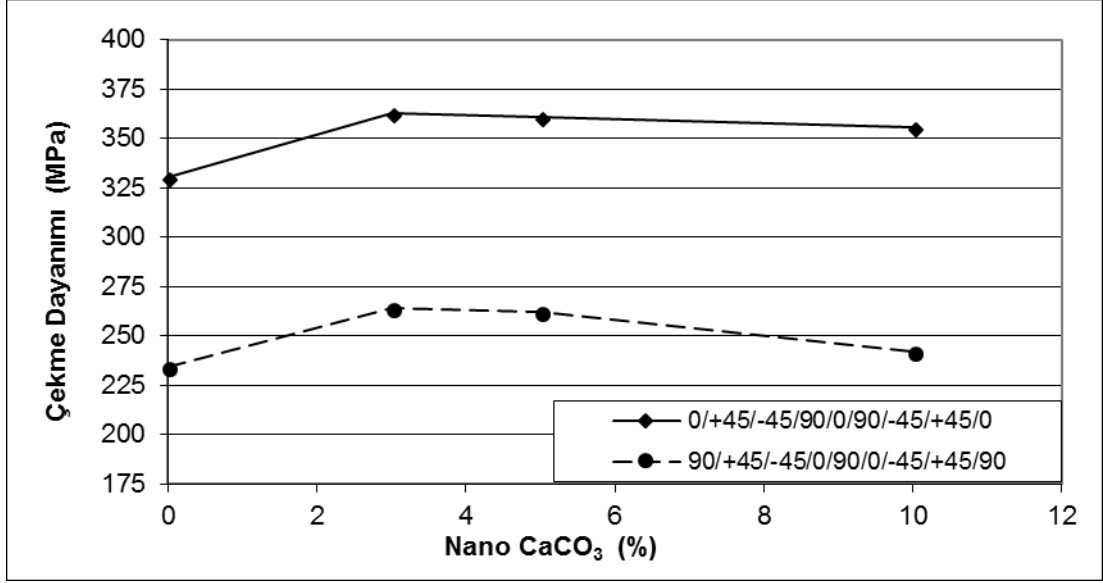
Tablo 4.3’de görüldüğü gibi kalsit nano partikülü maksimum değerine %3 oranında ulaşmıştır. Çekme Dayanımı Tip A için %10, Tip B için %13 oranında artışa sebep olmuştur. Genel olarak dolgu maddesi gibi görev almasına karşılık katkı maddesi olarak düşük oranlarda kullanımı bile çekme dayanımında artışa sebep olmuştur. Reçine ile etkileşiminin iyi olması neticesinde maliyeti düşürmektedir. Kalsit katkı maddesinin farklı oranlarda cam elyaf kompozit malzemelere ilavesi ile gösterdiği davranış Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 4.9’da ise 90° kesim açısı ile mukavemetin değişimini gösteren grafik belirtilmiştir.



Şekil 4.7: Kalsit (CaCO_3) nano partikül katkıli/katkısız Tip A kompozitlerin eksenel gerilme gerinim davranışı



Şekil 4.8: Kalsit (CaCO_3) nano partikül katkıli/katkısız Tip B kompozitlerin eksenel gerilme gerinim davranışı



Şekil 4.9: Kalsit (CaCO₃) nanopartikül katkılı Tip A ve Tip B kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin karşılaştırması

4.4 DeneY Numunelerinin Su Emme Davranışları

Tüm katkı malzemeleri ve oranları için deney numuneleri 14 gün boyunca Tablo 4.4’de özellikleri verilen temiz su içerisinde bekletilmiştir.

Tablo 4.4: Su emme davranışı için kullanılan suyun kimyasal değerleri

Su Özellikleri	Değerler
Klorür (mg/l)	5,9
İletkenlik (µS/cm)	77,2
pH	6,9
Oksitlenebilirlik (mg/l)	0,5
Sülfat (mg/l)	4,5
Sodyum (mg/l)	6,9

Şekil 4.10’da gösterildiği gibi temiz bir bez yardımıyla kurutularak içerisindeki nemi tamamen dışarı atması açısından her bir deney numunesi 1 gün süre ile beze sarılı bir şekilde bekletilmiştir.



Şekil 4.10: Su emme davranışı için numunelerin hazırlanması

Sonrasında çekme deneyi yapılarak suyun etkisi incelenmiştir. Tablo 4.5, 4.6 ve 4.7’de gösterildiği gibi cam elyaf kompozit deney numunelerinin çekme dayanımında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Yukarıda belirtilen kuru numuneler ile aynı davranışı sergilemiştir.

Tablo 4.5: Grafen katkılı kompozit numunelerin nemli ve kuru ortamlarda çekme dayanımı sonuçları

Grafen Katkı Oranları (%)	Kuru Ortam Çekme Dayanımı (MPa)	Nemli Ortam Çekme Dayanımı (MPa)
0	330	331
0,1	398	397
0,3	389	389
0,5	372	374

Tablo 4.6: Silika (SiO₂) katkılı kompozit numunelerin nemli ve kuru ortamlarda çekme dayanımı sonuçları

Silika (SiO ₂) Katkı Oranları (%)	Kuru Ortam Çekme Dayanımı (MPa)	Nemli Ortam Çekme Dayanımı (MPa)
0	330	331
1	355	356
3	345	347
5	331	330

Tablo 4.7: Kalsit (CaCO₃) katkılı kompozit numunelerin nemli ve kuru ortamlarda çekme dayanımı sonuçları

Kalsit (CaCO ₃) Katkı Oranları (%)	Kuru Ortam Çekme Dayanımı (MPa)	Nemli Ortam Çekme Dayanımı (MPa)
0	330	331
3	362	362
5	360	358
10	355	356

Tablo 4.5, 4.6 ve 4.7’de görüldüğü gibi katkısız numunede %0,3’lük bir artış görülmektedir. Fakat genel tablo göz önüne alındığında diğer katkı oranlarında bu küçük artış ya da azalmaların standart toleranslar dahilinde olduğu ve mukavemet değerlerini etkilemediği görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Cam elyaf kompozit malzemelerde nanopartikül katkılarının çekme mukavemetine etkisi incelenmiştir. Grafen, silika ve kalsit maddelerinin kullanımı ile elde edilen sonuçlar ayrı başlık altında deneysel sonuçlar ve değerlendirme bölümünde belirtilmiştir. Katkısız numune ile karşılaştırıldığında üç nanopartikül katkısından grafenin diğer katılara oranla kompozit kopma dayanımında önemli bir derecede artışa yol açtığı görülmüştür. Bu artışlar Silika için %7.57, Kalsit için %9,69 ve grafen için %20 oranında gerçekleşmiştir. Her katkı malzemesi için yüksek kopma mukavemeti grafen için %0,1'de, silika için %1'de ve kalsit için %3 oranlarında kullanımı ile ulaşılmıştır. Bu oranların üzerinde/altında kullanıldığı zaman mukavemet değerlerinde düşüşler görülmektedir.

Tez kapsamında incelenen katkı maddelerinin etkileri incelendiğinde grafen katkı maddesinin diğer katılara oranla mukavemeti daha yüksek oranda arttırdığı görülmektedir. Grafen malzemesinin epoksi reçine ile etkileşiminin diğerlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Reçine içerisinde ağırlıkça %0,1 oranında grafen kullanımı ile katkısız kompozit malzemeye göre Tip A plakada %20 Tip B plakada %18 oranında çekme dayanımında artış sağlanmıştır. Buna sebep olan en büyük etmen ise grafen taneciklerinin boyutunun çok düşük olması ve homojen biçimde epoksi reçinede dağılımının etkisi olduğu değerlendirilmiştir.

Kalsit katkı maddesi genel olarak dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Kalsit kullanımı ile mukavemetin katkısız duruma göre bir miktar artış olduğu görülmüştür. Ancak, deneysel sonuçlardan görüleceği üzere partikül katkı oranının ilavesinin doğru miktarlarda yapılması gerekmektedir çok fazla ilave edilmesi durumunda katkısız durumdan daha zayıf kompozit malzemelerin oluşacağı görülmektedir. Yanlış oranda katkı ile mukavemet artışı yerine düşüşü görülebilecektir.

Silika nanopartikül kullanımı ile mukavemet katkısız duruma göre önemli bir artış oluşmadığı görülmüştür. Diğer katkı malzemeleri ile karşılaştırıldığında, en düşük değerlere silika katkısı kullanımında ulaşılmıştır. Silika katkısının grafen gibi

reçine içerisine homojen biçimde dağılmadığı ve bu durumun malzeme mukavemetinde fazla bir değişim yapmadığını göstermektedir. Silika katkısının belli oranın üzerinde konulması durumunda, reçinenin yapışma/tutunma özelliğini bozacağı ve bu durumda mukavemeti düşüreceği değerlendirilmiştir.

Nano partikül takviyeli cam kompozit malzemelerin su emme davranışı incelemesinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Genel kullanım alanlarında bahsedildiği gibi nemli ortamlarda cam elyaf kompozit malzemelerinin kullanımının uygun olduğu görülmektedir.

Cam elyaf malzemeler nem, akışkan bulunan ortamlara karşı dayanım gösteren malzemelerdir. Elde edilen malzemelerin daha korrosif ortamda ve daha uzun süre bekletilmeleri durumunda malzeme dayanımı ve gerilme gerinim grafikleri incelenerek mevcut duruma göre karşılaştırılması ileriye yönelik yapılabilecek çalışma olarak görülmektedir. Ayrıca nano partikül etkisinin yorulma dayanımı üzerine araştırılmasının iyi bir çalışma olacağı değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

Akbari B, Bagheri R., “Deformation mechanism of epoxy/clay nanocomposite”, *Eur Polym J*, 43,782–8, (2007).

Aktas L, Altan MC., “Effect of nanoclay content on properties of glass–waterborne epoxy laminates at low clay loading”, *Mat Sci Technol*, 26, 5, 626–9, (2010).

Aricasoy, O., “Kompozit Sektör Raporu”, *İstanbul Ticaret Odası*, (2006).

Barre, S., Chotard, T., Benzeggagh, M., “Comparative study of strain rate effects on mechanical properties of glass fibre-reinforced thermoset matrix composite, Compos”, *A Appl. Sci. Manuf.* 27, 12, 1169–1181, (1996).

Boopalan, M., Niranjana, M., Umopathy, M.J., “Study on the mechanical properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites” *Composites: Part B*, 51, 54–57, (2013).

Bulut, M., “Mechanical characterization of Basalt/ Epoxy composite laminates containing graphene nanopellets”, *Composites: Part B*, 122,71-78 (2017).

Chan, M., Lau, K., Wong, T., Ho M., Hui D., “Mechanism of reinforcement in a nanoclay/polymer composite”, *Composites: Part B*, 42, 1708–12, (2011).

Christy, A., Purohit, R., Rana, R., “Development and analysis of epoxy/nano SiO₂ polymer matrix composite fabricated by ultrasonic vibration assisted processing”, *Materials Today: Proceedings*, 4, 2, 2748-2754 (2017).

Ensici A., “Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları raporu”, (2004).

Gächter, Müller, H, “Plastics Additives 2nd. Edition”, *Hanser Publishers*, Munich, (1987).

Hancox, Neil L.- Mayer, Rayner M., “Design Data for Reinforced Plastics” *Chapman & Hall, London* (1994).

Hassan, T. A., Rangari, V. K. and Jeelani, S., ACS Sustain, *Chem. Eng.*, 2, 706, (2014).

Hojo, M., Sawada, Y., Miyairi, H., “Influence of clamping method on tensile properties of unidirectional CFRP in 0° and 90° directions round robin activity for international standardization in Japan”, *Composites; Part B.*, 25, 8, 786- 796, (1994).

Jang J., Han S., "Mechanical properties of glass-fibre mat/PMMA functionally gradient composite", *Composites; Part A*, 1045-1053, (1999).

Jawaid, M., Abdul Khalil, H.P., Abu Bakar, A., Noorunnisa Khanam, P., “Chemical resistance, void content and tensile properties of oil palm/jute fiber reinforced polymer hybrid composites”, *Materilas and Design*, 12, 1014-1019, (2011).

Joshi S.V., Drzal L.T., Mohanty A.K., Arora S., “Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites”, *Composites: Part A* 35, 371–376, (2004).

Landel, R.F., Nielsen, L.E., “Mechanical Properties of Polymers and Composites”, *CRC Press*, (1993).

Lee N. J., Jang J., “The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibremat/polypropylene composites”, *Composites Part A*, 815-822, (1999).

Majhi S.K., Nayak S.K., Mohanty S., Unnikrishnan L., “Mechanical and fracture behavior of banana fiber reinforced Polylactic acid biocomposites”, *Int J Plast Technol*, 14 ,57–75, (2010).

Novoselov K.S., Geim A.K., Monozov S.V., Jiang D., “Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films”, *Science*, 306, 666- 669 (2004).

Panthapulakkal S, Sain M., “Studies on the water absorption properties of short hemp-glass fiber hybrid polypropylene composites”, *J Compos Mater*, 41, 15, 1871–83, (2007).

Ramesh M., Palanikumar K., Hemachandra Reddy K., “Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites”, *Composites: Part B*, 48, 1–9, (2013).

Rosato, Donald- Rosato, Dominick, “Reinforced Plastics Handbook 3nd. Edition”, *Elsevier Science & Technology*, (2004).

Shafiur Rahman, Aftab, G. M., Islam, H., M. Muhammad Zobayer Bin Mukhlis and Ali, F., “Enhanced Physico-mechanical Properties of Polyester Resin Film Using CaCO₃ Filler”, *Fibers and Polymers*, 1, 59-65, (2016).

Smith, William F., “Material Science and Engineering”, çev. Kınıkoğlu, Nihat G., *Mc Graw- Hill*, (2012).

Uysal A., “Rüzgar Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, İstanbul, (2008).

Venkateshwaran, N., ElayaPerumal, A., Alavudeen, A., Thiruchitrambalam, M., “Mechanical and water absorption behaviour of banana/sisal reinforced hybrid composites”, *Materials and Design*, 32,4017-4021, (2011).

Vieira CAB, Susin SB, Freire E, Amico SC, Zattera AJ., “Characterization of hybrid composites produced with mats made using different methods”, *Mater Res*, 12, 4, 433–436, (2009).

Yavari F., Rafiee MA., Rafieej, Yu ZZ., Korotker N. “Dramatic increase in fatigue life in hierarchical graphene composites”, *ACS Appl Mater Interfaces*, 2, 10, 2738-43, (2010).

Zureick, A., Nettles, A. T., “Composite Materials: Testing, Design, and Acceptance Criteria”, ASTM International 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, *West Conshohocken*, PA 19428-2959, (2002).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Can TUNCER

Doğum Yeri ve Tarihi : Konak / 18.12.1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : cantuncer35@hotmail.com

İletişim Adresi : Kervansaray Mh. Yeniyol Bul. No:80 K.4 D.7
Pamukkale/ DENİZLİ