

Burak POLAT



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**CAM TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ
TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Burak POLAT

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MAYIS 2019

MAYIS 2019



**CAM TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ TERMOPLASTİK
KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Burak POLAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Burak POLAT tarafından hazırlanan “CAM TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Memduh KARA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

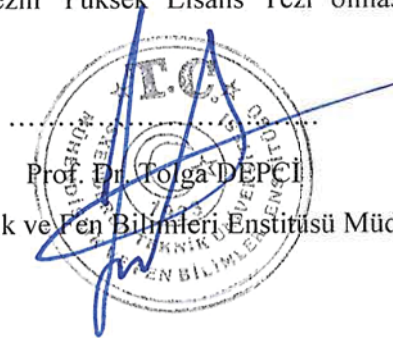
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 27/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEPCI
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

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



İmza

Burak POLAT

27.05.2019

CAM TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Burak POLAT

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAYIS 2019

ÖZET

Her gün yeni teknolojilerin ortaya çıktığı günümüz dünyasında kompozit malzemelerin kullanıldığı alanlar (Savunma sanayii, uzay teknolojisi, havacılık, inşaat, ulaşım, otomotiv, sağlık, spor) günden güne artmaktadır. Bunun getirisi olarak, daha yüksek mukavemetli, daha hafif, düşük radar izi bırakan, düşük veya yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, nanokompozit gibi çok çeşitlilik gösteren konular üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada Cam elyaf malzemesinin takviye elemanı olarak polimer matrisli termoplastik kompozit yapı içerisinde kullanılması araştırılmıştır. Cam elyaf malzemesinin çekme mukavemeti ve aşınma dayanımı çok yüksek olması sebebiyle plastik malzemelerde güçlendirici olarak çok sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada polimer matris olarak, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Düşük Yoğunluklu Polietilen (DYPE), Polipropilen ko-polimer (PPC), Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS) kullanılmıştır. Granül haldeki termoplastik polimer malzemelere, takviye elemanı olarak cam elyaf kullanılarak, sıcak pres makinası yardımıyla kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen kompozit plakalar kesilerek deney numuneleri elde edilmiş ve numunelerin testleri yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan testler neticesinde cam elyaf takviyesinin mukavemette artma ve darbe sonucu oluşan deformasyonda azalma görülmüştür. Bu takviye ile malzemelerde iyi bir dayanım artışı sağlanmıştır. Cam elyaf takviyeli ABS kompozit malzeme, üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme mukavemetine sahip malzeme olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kompozit, Cam elyaf, Termoplastik, Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Düşük Yoğunluklu Polietilen, Polipropilen ko-polimer, Akrilonitril Bütadiyen Stiren.

Sayfa Adedi : 44

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBRE
REINFORCED THERMOPLASTIC COMPOSITES
(M. Sc. Thesis)

Burak POLAT

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE
May 2019

ABSTRACT

The areas where composite materials are used today (Defense industry, space technology, aviation, construction, transportation, automotive, health, sports) are increasing day by day. As a result of this, researches are carried out on subjects that exhibit a variety of higher strength, lighter, low radar traces, low or high thermal and electrical conductivity, and nanocomposites. In this study, the use of glass fiber material as a reinforcing element in thermoplastic composite structure with polymer matrix was investigated. Glass fiber is used as a strengthener in plastic based materials due to its high tensile and abrasion resistance. High Density Polyethylene (HDPE), Low Density Polyethylene (LDPE), Polypropylene Co-polymer (PPC), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) were used as polymer matrix. In the granular thermoplastic polymer materials, composite plates were produced by using hot press machine by glass fiber reinforcement. The composite plates were cut and the test specimens were obtained. As a result of the tests performed, glass fiber reinforcement has been shown to increase in strength and decrease in deformation due to impact. With this reinforcement, a good strength increase is achieved in the materials. Glass fiber reinforced ABS composite material was obtained as the material with the highest tensile strength among the produced composite materials.

Key Words : Composite, Glass fibre, Thermoplastic, High Density Polyethylene, Low Density Polyethylene, Polypropylene Co-polymer, Acrylonitrile Butadiene Styrene.

Page Number : 44

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasında yüksek lisans eğitimine başladığım günden itibaren çok değerli desteklerini eksik etmeyen, hayatı başarılarla dolu danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet YAPICI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında değerli katkı, görüş ve bilgi paylaşımlarından dolayı İskenderun Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Öğretim elemanı Sayın Öğr. Gör. Göksel SARAÇOĞLU' na ve Gaziantep Üniversitesi'nden Seda ADANIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen Konya Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN'e ve Ar. Gör. Dr. Sayın Ahmet Caner Tatar'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında göstermiş olduğu iyi niyet ve desteklerinden dolayı Teknik Bakım Direktörümüz Sayın Ufuk Şafak'a ve çalışma arkadaşlarım Cihan Genç ve Tarık Özer'e teşekkür ederim.

Son olarak lisansüstü çalışmalarım sırasında zaman zaman ihmal ettiğim fakat hiçbir zaman fedakârlık ve desteklerini esirgemeyen, yılmadıklarında beni kendime getiren sevgili nişanlım Eda ADANIR'a eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi her zaman destek veren kıymetli annem ve babam Nalan-Süleyman POLAT ve kardeşim Büşra POLAT'a sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLoların LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1.GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	2
2.1. Kompozit Malzemenin Tarihi	2
2.2. Kompozitlerin Tanımlanması ve Özellikleri.....	3
2.3. Kompozit Malzemelerin Uygulamadaki Yerleri.....	5
2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması	6
2.4.1. Kompozit Malzemelerin Matris Elamanına Göre Sınıflandırılması.....	6
2.4.2. Takviye malzemesine göre kompozitler.....	13
2.5. Nanokompozitler.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. MATERYAL	17
3.1.1 Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE).....	17
3.1.2 Düşük Yoğunluklu Polietilen (DYPE)	19
3.1.3 Polipropilen Ko-Polimer (PPC).....	20
3.1.4 Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS).....	21
3.1.5 Cam Elyaf.....	22
4.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	32

	Sayfa
4.1 Çekme Deneyi Sonuçları	32
4.2 Charpy Darbe Deneyi.....	33
4.3 Düşük Hızlı Darbe Deneyi.....	34
5.SONUÇLAR VE ÖNERİ	37



TABLULARIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. PP homopolimer ve PP kopolimer dizilimleri	21
Tablo 3.2. Kompozisyonlarına göre cam elyaf türleri	23
Tablo 3.3. Elyaf türlerinin mekanik özellikleri	24



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sektörlere göre kompozit kullanım durumu.....	5
Şekil 2.2. Matris malzemesine göre kompozitler.....	7
Şekil 2.3. Seramik matrisli kompozitlerin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.4. Polimer malzemelerin sınıflandırılması	11
Şekil 2.5. Termosetlerin sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.6. Termoplastiklerin sınıflandırılması.....	13
Şekil 3.1. YYPE üretim şeması.....	18
Şekil 4.1. Çekme testi sonuçları.....	32
Şekil 4.2 Charpy darbe deneyi sonuçları.....	33
Şekil 4.3. Absorbe edilen enerji.....	34
Şekil 4.4. Tepe deplasman değeri.....	36

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Takviye elamanının geometrik yapısına göre kompozitler.....	8
Resim 2.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemeler.....	13
Resim 2.3 Elyaf takviyeli kompozit malzemenin oluşumu.....	14
Resim 2.4. Nano boyutlu dolgu malzemelerinin şematik gösterimi.....	16
Resim 3.1 YYPE ve DYPE zincir yapısı.....	20
Resim 3.2. Cam elyaf.....	25
Resim 3.3. YYPE ve cam elyafın kalıba yerleştirilmesi.....	26
Resim 3.4. Saf YYPE ve cam elyaf takviyeli YYPE plakalar.....	27
Resim 3.5. Saf DYPE ve cam elyaf takviyeli DYPE plakalar.....	28
Resim 3.6. Saf PPC ve cam elyaf takviyeli PPC plakalar.....	29
Resim 3.7. Saf ABS ve cam elyaf takviyeli ABS plakalar.....	30
Resim 3.8. Cam elyaf takviyeli PPC deney numuneleri.....	31

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler Açıklamalar

m³	Metreküp
m²	Metrekare
kJ	Kilojoule
N	Newton
g	Gram
°C	Santigrat derece
nm	Nanometre
µm	Mikrometre
MPa	Megapascal
Gpa	Gigapascal
mm	Milimetre

Kısaltmalar Açıklamalar

ASTM	American society for testing and materials
ABS	Akrilonitril Bütadiyen Stiren
AYPE	Alçak yoğunluklu polietilen
PPC	Polipropilen kopolimer
YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen

1. GİRİŞ

Teknolojinin ülkemiz de ve dünya genelinde günden güne her alanda hızla gelişmesinin getirmiş olduğu yenilikler, beraberinde malzeme bilimlerinde de araştırma ve geliştirmeleri yaygınlaştırmıştır. Malzeme konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları sürerken her geçen gün ilerleyen teknoloji ile birlikte kompozit malzemeler üzerinde çalışmalarda ki sayı hızla artmıştır. Kompozit malzeme üretimleri sonrasında yapılan çalışmalar neticesinde bu malzemelerin kullanım alanları da artış göstermiştir [1, 2]. Mukavemet değerlerinin kullanım alanlarına göre kabul edilir olması, kullanılacak diğer malzemelere kıyasla hafif olması birçok sektörde kompozit malzeme kullanılmasında önemli bir artış olmasında en büyük etkendir. Birçok sektörün farklı mekanik özellikteki malzeme ihtiyaçlarını karşılamak adına, kullanım alanları hızla artan çeşitli türden kompozit malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların artmasına kompozitlerin kullanımını takviye elemanları geliştirmeleri yapılarak daha dayanıklı kompozit üretimi ve geliştirme çalışmalarını da beraberinde getirmiştir [3, 4]. Cam elyaf kompozit malzeme üretiminde en fazla tercih edilen takviye elemanı malzemelerinden biridir. Yanmaz, mukavemetli ve darbelere karşı iyi direnç göstermektedir. Cam elyafın, plastik esaslı malzemelerle birlikte kullanılarak kompozit malzeme üretilmesi, plastik esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin gelişmesine olanak sağlamıştır [5, 6]. Bu çalışmada da takviye malzemesi olarak cam elyaf katkısı yapılarak matris malzemesi ayrı ayrı kullanılmak üzere yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), polipropilen ko-polimer (PPC), Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS) malzemeleri ile kompozit malzemeler üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada YYPE, DYPE, PPC, ABS malzemelere cam elyaf takviye ederek, oluşturulan kompozit malzemelerin saf haldeki durumlarına göre mukavemet değerlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Malzemenin Tarihi

Kompozitler diğer malzeme dallarına nazaran yeni bir malzeme dalı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kompozit malzemenin kullanımı 20. yüzyılın öncesine asfalt, kerpiç ve betonarme vb. kısıtlı oranda ve oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. Fakat, kompozit malzemeler üzerindeki çalışmaların ilerletilmesi ve ticari alanda ortaya çıkması 1930-1940'lı yıllardan sonra başlayabilmiştir [1, 6].

İkinci Dünya Savaşı esnasında dönemin teknolojik imkânları çerçevesinde üretilen konvansiyonel malzemeler yalnızca temel ihtiyaçları karşılayabilir duruma gelmiş ve bu sebeple farklı bir malzeme araştırma ihtiyacı doğmuştur. Savaş dönemi ve sonrasında günümüze dek kompozit malzemeler üzerindeki araştırma, geliştirme ve dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi adına yapılan çalışmalar çoğalarak devam etmiştir [1, 3].

Kompozitin ilk kullanıldığı uygulamadan bugüne dek birçok farklı çalışmada hem matris malzemelerde hem de takviye malzemelerinde değişik kombinasyonlar denenmiş olup, oldukça yüksek performanslı çeşitli kompozitler üretilmiştir. Yeni kompozit üretimi için yapılan bu tarz çalışmalar da kompozitlerin daha da geliştirilmesi ve kullanıldığı yerlerin genişletilmesini sağlamıştır [1, 3].

Kerpiç, kompozit malzemelerin ilk örneklerinden biridir ve neredeyse ilk çağlardan beri kullanılmıştır. Kerpicingin üretimi, killi çamurun içine saman ya da bitkisel liflerin katılıp harmanlanmasıyla yapılmıştır. Tek başına oldukça yumuşak formda olan çamur, bu katkı malzemeleri ile daha dayanıklı bir hal almıştır. Eski zamanlarda kerpiç çoğunlukla barınma amacıyla ev ya da sığınak yapmak amacı ile kullanılmıştır [5, 6].

Eski çağlarda temel gereksinimleri karşılamak amacıyla üretilen, kompozit diyebileceğimiz malzemelerin ardından dünyanın birçok yerinde metal alaşımları, ahşap malzemeler, karbon, cam, plastikler, beton vb. gibi malzemeler çalışmaların yoğunlaştığı alanlar olmuştur. Günümüzde de devam etmekte olan birçok çalışma sayesinde bu örneklerin kompozit malzeme olarak kullanılması ya da kendi aralarında takviye edilerek kullanılması sayesinde birbirinden değişik sektör ve fazla miktarda uygulama alanlarında yüksek mukavemetli, yapılar, makineler ve araçlar üretilmiştir [6, 7].

2.2. Kompozitlerin Tanımlanması ve Özellikleri

Kompozit malzemeler; iki ya da ikiden fazla malzemenin özelliklerini yeni ve sadece bir malzemede toplayarak farklı özellikli malzeme elde etmek için, makro düzeyde (birbirleri içerisinde çözünmeyecek şekilde) birleştirilmesi neticesinde oluşan malzemelerdir. Kompozit malzemelerin en az iki çeşit malzemenin birleştirilip üretilmesindeki asıl gaye, malzemenin kompozit hale getirilmeden önceki durumda yeterli gelmeyen bir takım özelliklerin iyileştirilmesidir [6, 7].

Kompozitlerden, çok fazlı malzeme, donatılı malzeme, çok bileşenli malzeme ve pekiştirilmiş malzeme olarak da bahsedilebilir [7].

Kompozit malzemeler, elde edilmeye çalışılan yeni malzemenin özelliğine göre, en az iki malzemenin oluşacak şekilde, metal, plastik, organik ya da inorganik bileşen ve katkılardan oluşturulabilmektedir. Bu durumda önemli husus üretilecek malzemenin hangi özellikte olacağı ve ona uygun bileşenlerin seçilerek bir araya getirilmesidir [7, 8].

Kompozitlerde malzeme kombinasyonunun olabildiğince fazla olması, bu malzemeleri klasik metal malzemelerden üstün kılar. Diğer malzemelerde değiştirilme imkânı yok iken, kompozitler farklı kombinasyonlar denenerek istenilen özelliği elde etmek amacıyla birçok şekilde değiştirilebilir. Yapıda var olması istenilen iletkenlik, esneklik, estetik görünüm, düşük ağırlık, yüksek mukavemet, rijitlik vb. özellikler doğrultusunda üretim yapılır [2, 8].

Kompozit malzemenin içeriğini, çekirdek şeklinde isimlendirilen takviye bileşeni ve çekirdeğin etrafını çevreleyen matris malzemesi oluşturur. Takviye bileşeni olarak farklı biçimlerde elyaflar, seramikler vb. materyaller kullanılmaktadır. Saydığımız takviye bileşenlerinin asıl işlevi, kompozite gelen yükü kaldırmak ve matrisin mukavemetini ve rijit özelliğini yükseltmektir. Matrisin görevi ise takviye bileşenlerine gerilim ve yük iletimini gerçekleştirebilmek için elyaf ile matrisin birbirinden ayrılmasını önlemektir. Takviye elamanlarının yüzeyini dış etkilere karşı korumak, matris malzemenin bir diğer özelliğidir. Bunun nedeni, takviye bileşenlerinin gevrek ve kırılabilir yapıda olmalarıdır. Bunun yanı sıra plastiklik ve süneklik konusundaki avantajı sayesinde de takviye elyafında kırılabilir çatlak oluşumunu ve bu çatlağın gelişmesini önleyici etkiye sahiptir. Plastik deformasyon veya çatlak meydana gelmiş olsa dahi elyafa paralel biçimde doğrultularını değiştirir. Bunların

dışında bir kompozitte yapısında var olacak diğer destekleyici bileşenler fiber, partikül, pulcuk, lamine ya da dolgu olarak sıralanabilir [7, 8].

Kompozit malzemelerin üretim ve kullanım avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek mukavemet (yorulma ve aşınma direnci, eğilme ve çekme dayanıklılığı)
- Rijitlik
- Hafiflik
- Korozyona karşı direnç ve kimyasal etkilere dayanım
- Kırılmada tokluk
- Yüksek ısıya dayanım
- Kolay şekil alabilen yapı
- Estetik görüntü

Yukardaki özelliklerin ortaya çıkabilmesi için önemli faktörler, matris-takviye elemanlarının uygunluğu, üretim yöntemi, bileşenlerin mukavemetlerinin uyumu şeklinde sayılabilir. Üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli adım, uygun matris ve takviye elemanı seçimidir. Çünkü kompozit malzemenin içerisinde yükün matris aracılığı ile takviye elemanına iletimi için takviye ile matris arasında çok güçlü bir bağ olması gerekmektedir. Bunun dışında üretim esnasında takviye elemanının matris malzeme içerisinde eşit bir şekilde dağılması da mekanik özellikler açısından büyük önem taşır. Malzemelerin homojen dağılımı ise malzeme ikililerinin birbirlerine uyumlu seçimine bağlıdır [1, 2].

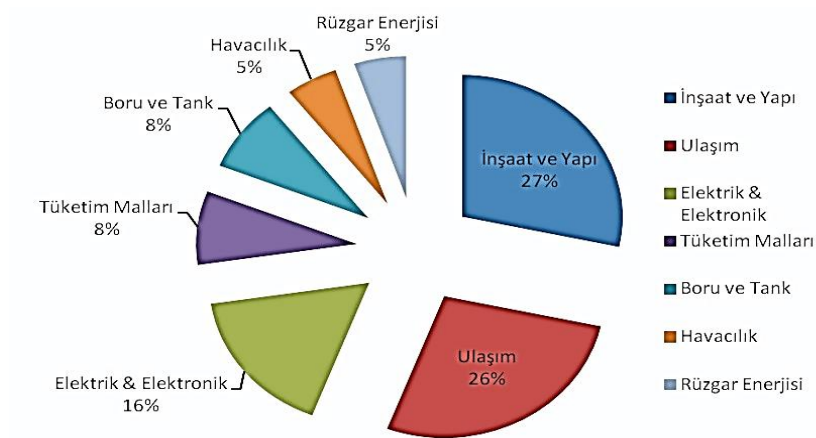
Kompozit malzemelerin şimdiye kadar bahsedilen üstün özelliklerinin dışında bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir [1, 2, 6].

- Üretimlerinin zor olması
- Yüksek maliyetli olmaları
- İşlemedeki güçlük ve bununla ilgili olarak ihtiyaç duyulan yüzey kalitesine ulaşamaması
- Geri dönüştürülemez olmaları
- Düşük kırılma uzaması
- Kırılgan yapıları

2.3. Kompozit Malzemelerin Uygulamadaki Yerleri

Kompozitler, yapıları ve sahip oldukları özellikleri sayesinde birbirinden farklı alanlarda geniş kullanıma sahiptirler. Günümüz teknolojisi sayesinde neredeyse her alanda değişik ihtiyaçları karşılamak üzere kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemelerin sektörlere göre kullanım oranı Şekil 2.1'deki grafikte gösterilmektedir. Kompozitlerin bazı kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir [9]:

- İnşaat ve yapı sektörü (İç ve dış cephe kaplamaları, dekoratif malzemeler, yağmur ve gider suyu taşıma sistemleri, izolasyon malzemeleri, beton ve beton kalıbı vs.)
- Otomotiv sektörü (otomobil kaportaları ve ön panelleri, cam silecekleri vs.)
- Savunma sanayi ve havacılık sektörü (Uçak ve helikopter gövde parçaları, uçak burun ve kanat parçaları, kurşun geçirmez paneller, miğferler vs.)
- Gıda ve tarım sektörü (Gıda depolama tankları, seralar, tahıl depoları vs.)
- Denizcilik sektörü (Tekneler, şamandıralar, kanolar, dubalar vs.)
- Enerji sektörü (Rüzgâr türbinleri, izolatörler, antenler, sigorta-panel kutuları, aydınlatma gövdeleri, elektrik ve aydınlatma direkleri, kablo taşıyıcıları vs.)
- Uzay teknolojisi
- Robot teknolojisi
- Tıbbi sektörler (Tıbbi cihazlar ve medikal ürünlerin imalatı)
- Elektrik-elektronik teknolojisi
- Spor araçları
- Müzik aletleri



Şekil 2.1. Sektörlere göre kompozit kullanım durumu [9]

2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin üretim şekillerinin çok olması, bu malzemelerin sınıflandırılmasını da genişletmiştir. Kompozit malzeme temel olarak bileşen matris ve mukavemeti yüksek olan bir takviye elemanından oluşmaktadır. Genelde iki temel başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan sınıflandırma biçimi de yapısında bulundurduğu takviye ve matris malzemeye baz alınarak yapılmaktadır [6, 8].

1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler
2. Takviye elemanına göre kompozit malzemeler

2.4.1. Kompozit malzemelerin matris elemanına göre sınıflandırılması

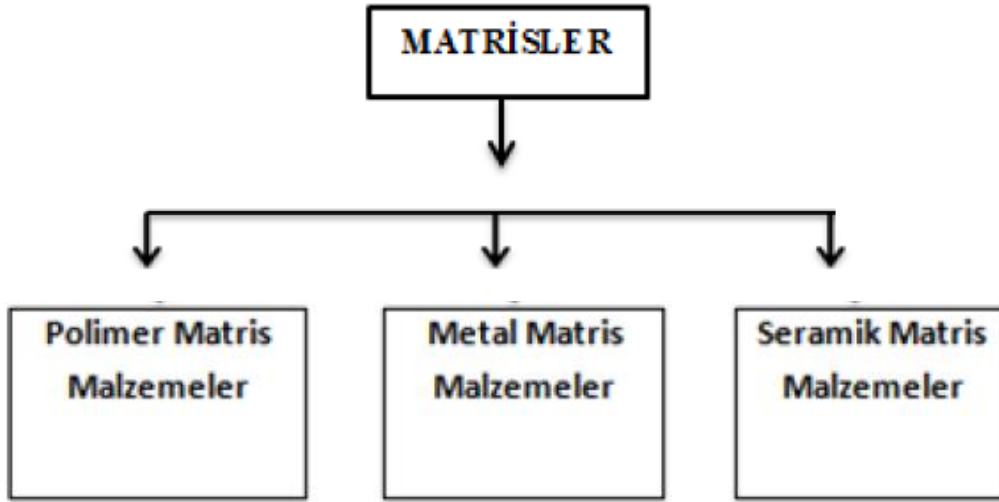
Matris bileşeninin kompozit yapılarda elyafları birlikte tutma, yükün elyaflara transferi ve elyafları dış etkilere korumak gibi önemli işlevleri bulunmaktadır. En uygun bir matris bileşeni kendi başına iken düşük viskoziteye sahip, elyaf takviyesinin ile birlikte elyafları sıkı bir biçimde tutup sarmalayabilmesi için olabildiğince hızlı bir biçimde katı yapıya geçebilmelidir. Üretim sırasında ve akabinde matris malzeme ve elyaflar arasında başka etkileşimler olmamalı ve matris zaman geçse bile kararlı kalabilmelidir [6, 8].

Kompozit malzemelerin nem, sıcaklık ve kimyasal etkenlere karşı dayanım özelliklerini belirleyen ilk yapı matris malzemedir. Buna ek olarak yükü taşımakta olan elyafların istenildiği ölçüde işlevsel olmaları açısından matris malzemesinin mekanik özellikleri büyük rol oynamaktadır [1,6].

Matrisin kompozit yapıdaki temel görevleri aşağıdaki gibi sayılabilir:

1. Elyafları birlikte tutmak ve yükün transferini elyaflara aktarmak,
2. Yapısal şekli muhafaza etmek ve tek başına rijit olmayan cam elyafa rijitlik sağlamak,
3. Yüzey kalitesinin iyi olmasını sağlamak,
4. Elyafları zararlı dış etkilere karşı korumak,
5. Elyafları dış ortamlardan ayırarak yüzey üzerinde bulunan bir lifin çatlaması veya kırılmasında neticesinde kompozitin kırılma durumunu yavaşlatmak veya tamamen bitirmek

Matris malzemeleri, kompozit malzemenin üretim yöntemi ve kullanılma alanına göre metal, seramik ve polimer şeklinde üç grupta inceleyebiliriz. Şekil 2.2’de gösterilmiştir [2].

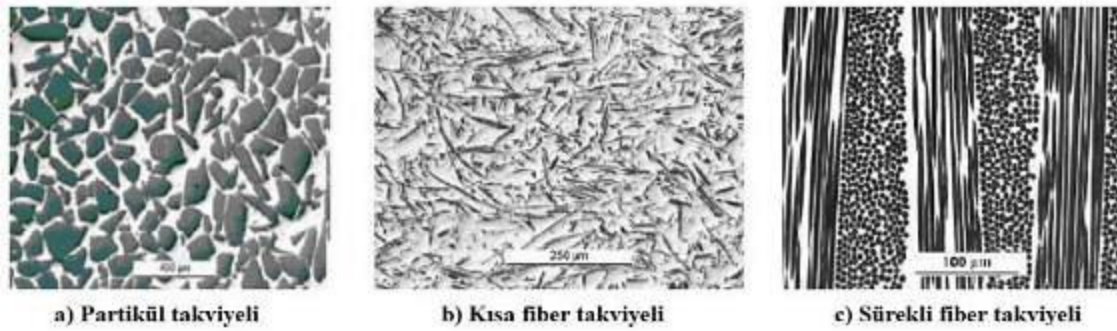


Şekil 2.2. Matris malzemesine göre kompozitler [6]

Metal Matris Yapılı Kompozitler

Metal matris yapıdaki kompozit malzemeler, esas malzemesi bakır, alüminyum, titanyum, magnezyum gibi hafif metaller veya alaşımlarından meydana gelen matris faz ile birlikte takviye fazının bir araya gelmesiyle meydana gelir. Kompozit malzemeler için diğerlerine oranla hafif metaller daha iyi matris görevini üstlenebilirler. Metaller plastiklerden daha dayanıklı ve tokluk değeri daha yüksek olduklarından bir çok açıdan plastik malzemelere göre daha kullanışlıdır. Ancak üretim aşamasına gelindiğinde metal matrisli kompozit malzemelerin yapımı plastiklere nazaran daha zorlu bir süreç gerektirir. Örneğin metaller her çeşit elyaf ile yüzey bağı oluşturamadıkları için birleşmeleri neticesinde kompozit bir malzeme meydana gelememektedir. Ek olarak kompozitlerin süneklikleri metallere göre daha düşüktür [10, 11, 12].

Aliminyum doğada çokça bulunan, hafif ve işleme kolaylığı olan bir metal olduğundan, metal matrisli kompozitlerin üretiminde de Al ve Al alaşımları yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca yüksek dayanıklılığı ve korozyon direncine ek olarak düşük maliyetli olması bu metali, kompozit üretiminde ön plana çıkarmaktadır [13]. Takviye elamanın geometrik yapısına göre metal matrisli kompozitler üç grupta sınıflandırılır. Bunlar kısa fiber takviyeli, partikül takviyeli ve sürekli fiber takviyeli kompozitlerdir (Resim 2.1).



Resim 2.1. Takviye elamanının geometrik yapısına göre metal matrisli kompozitler [11]

Metal matrisli kompozitlerde yaygın bir şekilde kullanılan takviye bileşenleri, bor, karbon alümina (Al_2O_3), silisyum karbür (SiC), fiber, titanyum karbür (TiC) olarak sıralanabilir. Bu kompozitler genel olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayiinde kullanılmaktadır [11, 12].

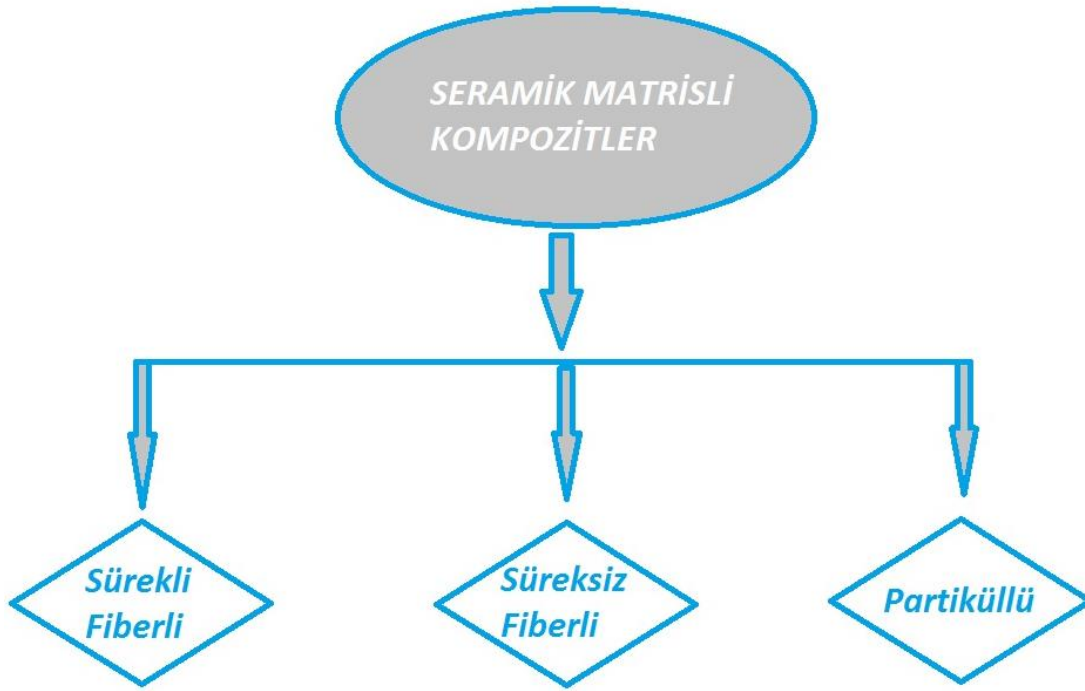
Seramik Matris Yapılı Kompozitler

Seramikler, bir ya da birden çok metal yapıdaki malzemenin metal yapıda bulunmayan diğer elementlerle birleşmesi neticesinde meydana gelen inorganik yapıda bulunan bileşiklerdir. Genelde doğada bulunan kayaların dış etmenler sonucunda parçalanmasıyla meydana gelen kila, kil gibi maddelerin çok yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile oluşturulurlar. Seramikler güçlü bağ yapıları sayesinde çok kararlı yapıda bulunurlar. Bu sebeple aşırı derecede sert ve gevrek bir malzeme olarak karşımıza çıkar. Kırılgan olmaları dolayısıyla kopma uzamaları çok düşüktür, düşük tokluklu yapıda ve termal şoklara karşı iyi direnç gösteremezler. Seramiklerin bu özelliklerinden dolayı, kompozit yapımında kullanıldıklarında genelde liflerle takviye edilirler. Basma dayanımları oldukça yüksek olan seramikler, yüksek sıcaklıklardaki dayanıklılığı ve hafif olmaları da kompozit üretimi açısından fazlasıyla bu malzemeyi kullanışlı hale getirmiştir. Seramik malzemelerin matris elemanı olarak kullanıldığı kompozitler genellikle yüksek sıcaklıkta faaliyet gösteren işler için kullanılmaktadır [14, 15].

Matris elemanı seramik olan kompozit malzemelerde genel olarak kullanılan malzemeler; Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , B_4C olarak sıralanabilir. Takviye bileşeni tercihi de yaygın olarak Al_2O_3 ve SiC seramikleri fiber formuna getirildikten sonra kullanılabilir. Al_2O_3 ve SiC gibi seramik malzemeler sert yapılarından dolayı sanayide aşındırıcı elemanlar olarak

kullanılmaktadır. Bu seramikler kullanılarak üretilen kompozit malzemeler yaklaşık 1200 °C sıcaklığa kadar dayanım sağlayabilmektedirler [14].

Seramik matrisli kompozitler kendi içlerinde partiküllü, süreksiz fiberli, sürekli fiberli kompozitler olmak üzere 3 grupta incelenir (Şekil 2.3) [14].



Şekil 2.3. Seramik matrisli kompozitlerin sınıflandırılması

Takviye olarak sürekli fiberler tercih edilmiş seramik matrisli kompozitte, seramik matrisle zayıflama durumu olsa dahi fiberler, mevcut uygulamaya yükü taşımaya devam ederler. Fakat çatlak ya da çentik olma durumu için bu türdeki matrisli kompozit malzeme özelliklerini yitirir. Sürekli fiberler en yaygın tercih edilen takviye malzemeleridir. Sürekli fiberlerin tokluk değerleri diğerlerine kıyasla daha iyi olması onların tercih edilme sebepleri arasındadır. Ayrıca sürekli fiber kompozitler ileri teknoloji kompozitler olarak son derece gelişmiş malzemelerdir. Yüksek sıcaklıklarda bu kompozitlerin gösterdiği kararlılığın yanı sıra yüksek korozyon direnci uzay ve havacılık sanayiinde de kullanım için elverişli olmalarını sağlamıştır. Bunlarla birlikte sürekli fiber kompozitler çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Zırhlar, sıcak gaz filtreleri, Türbin motorlarında bazı parçalar, ısı değiştirici tüpleri, petrol ve gaz tesislerinde korozyon problemi ile karşı karşıya gelen parçalar, ısı işlem fırınları, dizel motorlarda egzoz valflerinde, fren disklerinde, motor ısı yalıtımında seperatörlerde bunlardan

bazılarıdır [14, 15].

Polimer Matris Yapılı Kompozitler

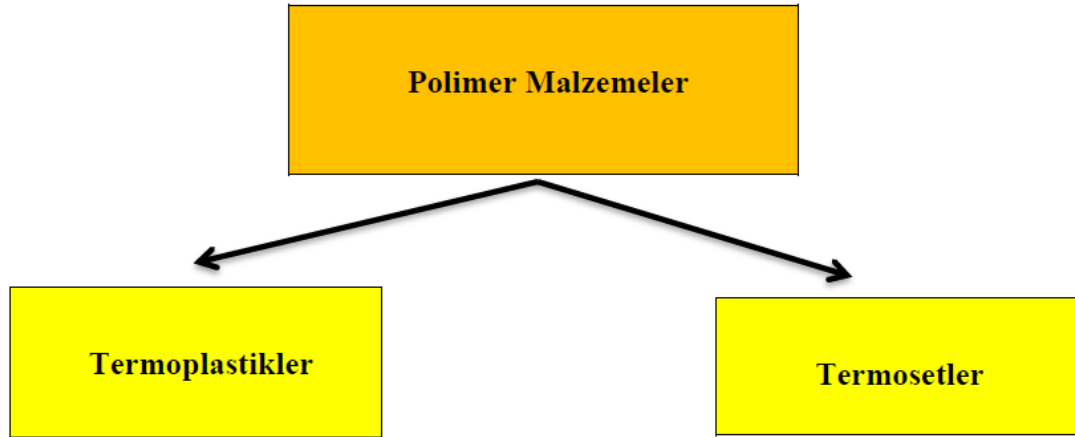
Polimer malzemeler özellikle son dönemlerde endüstrinin neredeyse her noktasında yaygın bir biçimde kullanımda olan malzemelerdir. Polimer matrisli kompozit malzemeler genel olarak petrokimya tabanlı malzemeler olup zamanımızda en çok kullanılan kompozit tiplerinin başında gelmektedir [4, 7].

Polimer matrisli kompozitler matris malzemesini polimerlerin oluşturduğu plastik özellik gösteren kompozit malzemeler olarak tanımlanabilir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin başlıca özellikleri hafif olmaları, korozyona karşı yüksek dirence sahip olmaları, kimyasal etkilere karşı dayanımları ve yalıtkan olmalarıdır. Bu saydığımız özellikler birçok alanda polimer kompozit kullanımını diğer malzemelere göre daha avantajlı hale getirmiştir [3, 4].

Bu avantajlarının yanı sıra polimer kompozitlerin bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi ise çalışma sıcaklık aralığının düşük olması ve ayrıca plastik özellikte olduklarından yük altında malzeme yorulmalarına karşı daha dayanıksız olmalarıdır. Polimer matrisli kompozitlerde genel olarak üretimlerde tercih edilen takviye malzemeleri cam fiber, bor fiberi kevlar fiber ve karbon fiberler şeklinde sıralanabilir. Özellikle polimer matrisli kompozitlerde mukavemet, takviye bileşeninin özellikleriyle direkt ilgilidir. Takviye bileşenleri kompozit malzemenin mukavemet ve rijitliğini artırırken, matris malzemesi olarak polimer kullanımı en başta korozyon dayanımı olmak üzere diğer matrisler malzemelerde de olduğu gibi yükün dağılımı ve mevcut yapının bütünlüğünün korunması görevlerini yerine getirmektedir [1, 6].

Polimer matrisli kompozitler yüksek korozyon direnci özellikleri sayesinde özellikle denizcilikte çokça tercih edilen kompozit malzemelerdendir. Bunun dışında otomotiv ve havacılık sektörlerinde kullanımı yaygındır.

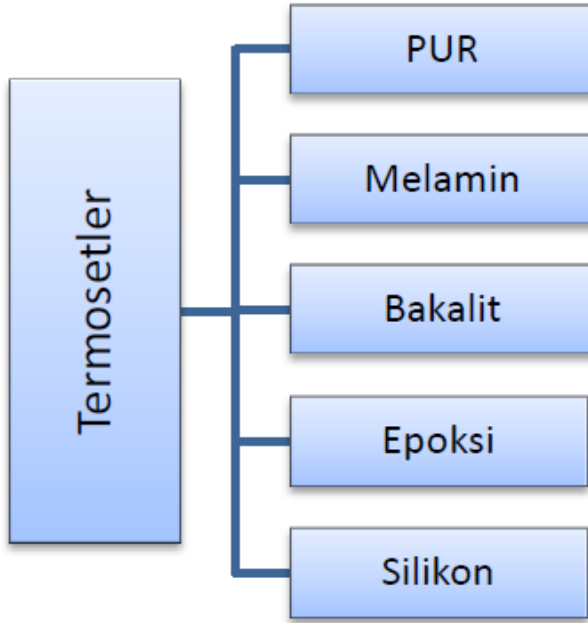
Polimer matrisli kompozitler yapımında kullanılan matrisin özelliklerine göre termosetler ve termoplastikler olmak üzere iki grupta incelenir. Şekil 2.4'te gösterilmiştir [2, 6].



Şekil 2.4. Polimer malzemelerin sınıflandırılması

Termoset matrisler

Termosetler matrisler, monomer yapıda moleküllerin çeşitli kimyasal tepkimelerle kuvvetli bağ yapısında olan polimer molekülleri şekline gelmesiyle oluşan matris malzemeleridir. Bu çeşit polimer malzemelerde sıvı haldeki moleküller birbirlerinden bağımsız yapıdadır. Termoset polimerlerin katı yapıdaki hale getirilmesi ve bu kimyasal tepkimelerin meydana gelmesi amacıyla, malzemeye sertleştirici ya da katalizör eklenmesi, bazı zamanlarda da dışarıdan enerji verilmesi gerekmektedir. Sertleşme esnasında kovalent yapıdaki bağlar 3 boyutlu olacak biçimde bağlantı yapısı çapraz olan bir yapı oluşur. Rijit bir malzeme olmasının sebebi bu özelliğidir. Fakat, yine aynı nedenle, ısıtıldıklarında yumuşama, çözünme veya erime göstermezler. Polimerizasyon reaksiyonunun tersinir olması ısıtıldıklarında yumuşamamalarının asıl sebebidir. Yumuşamamaları nedeniyle de termosetlere şekil verilmesi mümkün değildir. Polimer matrisli kompozitlerde en yaygın kullanıma sahip olan termoset matrislere örnek olarak polyester, poliüretan, fenolik, epoksi, silikon ve yüksek sıcaklık reçineleri olarak gösterilebilir. Şekil 2.5'te gösterilmiştir [1, 8].



Şekil 2.5. Termosetlerin sınıflandırılması [16]

Termoplastik matrisler

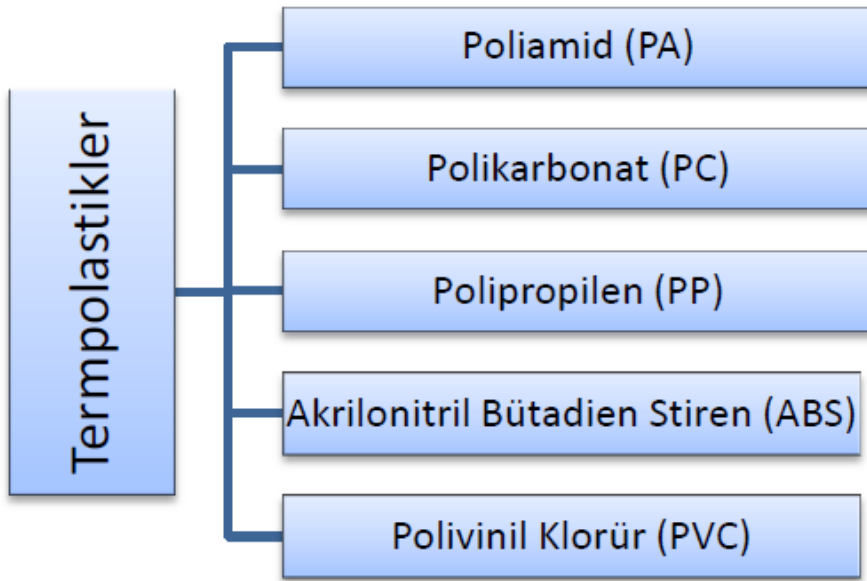
Termosetlerin tam aksine çapraz yapıda bağlar yapmayan termoplastik malzemelerin molekül zincirleri arasında zayıf Van Der Waals bağları kuruludur ve yapı olarak da rijit değildir. Termoplastikler yine termosetlerin aksine ısıtıldıkları takdirde yumuşar, erir daha sonra soğutulduklarında ise tekrardan katı formuna eski haline dönebilirler. Bu işlemler olurken malzemenin mikro yapısında bir değişim gerçekleşmez ve bu aşamada buharlaşmanın etkisi ya da başka tür etmenler nedeniyle malzemenin yapısı etkilenmediği sürece ergime ve sertleştirme işlemi birçok kez gerçekleştirilebilir.

Termoplastik malzemeler, fazlasıyla uzun raf ömürlerine sahip malzemelerdir. Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunan, geri dönüşüm yetenekleri sayesinde sertleşmeleri için termoset malzemelerdeki gibi bir katalizör ya da sertleştiricilere gerek duymayan polimerlerdir. Bir başka önemli özellikleri arasında da iyi elektrik yalıtkanlığı, yeniden şekillendirilebilme, yüksek kırılma tokluğu ve darbelere karşı dayanım ve yüksek süneklik sayılabilir.

Termoplastik matrisler termosetlere kıyasla daha düşük çalışma sıcaklığına sahiptir. Doğru çalışma için ortalama 0-55 °C sıcaklık gereklidir. Termoplastiklerde düşük sıcaklıklarda ergime meydana gelirken, termosetlerde yüksek sıcaklık değerlerinde ergime meydana

gelmeden bozulma oluşur. Bunların yanı sıra dezavantajları sıralanırsa ham maddelerinin termosetlere göre daha maliyetli olması, düşük sertlik değerlerine ve düşük dayanım değerlerine sahip olmaları denebilir.

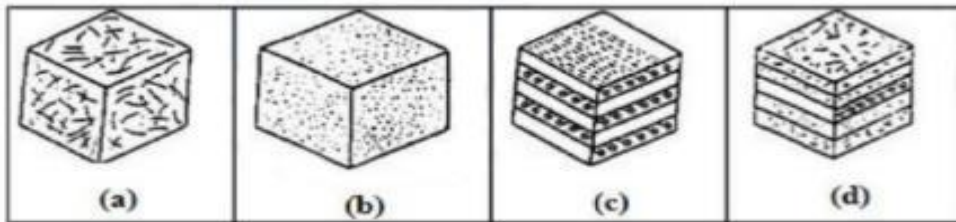
Sanayide en çok kullanılan termoplastik matrisli kompozitler, poliamid (nylon), polikarbonat, polipropilen, polietilen, polivinil klorür, poliasetaldir, akriliktir. Şekil 2.6'da termoplastiklerin sınıflandırılması yapılmıştır [16].



Şekil 2.6. Termoplastiklerin sınıflandırılması [16]

2.4.2. Takviye malzemesine göre kompozitler

Kompozit malzemelerin, bir diğer sınıflandırma şekli de takviye bileşenidir. Takviye bileşenleri esas alınarak elyafı, parçacıklı, tabakalı ve karma (hibrit) kompozitler olmak üzere dörde ayrılır (Resim 2.2).



Resim 2.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemeler a) elyafı, b) parçacıklı, c) tabakalı, d) karma [17]

Elyaf takviyeli kompozitler

İnce elyafın matris içerisine yerleştirilmesiyle elyaflı kompozitler oluşturulur. Bu kompozitlerde elyaf mukavemeti oldukça önemlidir. Kompozit malzeme yapısının dayanımını doğrudan belirleyecek olan kullanılan elyaflardır. Kullanılan elyafların sorunsuz olması ve matrisin içerisinde doğru yerleşmesi de dayanımı doğrudan etkileyen özelliklerdendir. Uzun boyutları olan elyafların matris içerisinde paralel yerleşimi mukavemeti arttırırken, birbirlerine dik yerleştirilen elyaflarda mukavemet düşüktür.

Takviye elemanı olarak kullanılan elyafları sayarsak cam elyaflar, karbon elyaflar, aramid elyaflar, boron elyaflar ve organik elyaflar gelmektedir.

Polimer matrisli elyaf takviyeli kompozitler metallere alternatif olarak otomotiv, uzay ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Elyaf takviye bileşenli kompozit malzemelerinin üretim aşaması aşağıdaki Resim 2.3'te gösterilmiştir.



Resim 2.3 Elyaf takviyeli kompozit malzemenin oluşumu

Günümüzde hafif konstrüksiyonlara yönelik ar-ge çalışmalarının büyük bir kısmını elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozitler oluşturmaktadır. Termoplastik kompozitler, termoset kompozitlerden ve de birçok metalden daha hafif olmaları bu çalışmaların yoğunlaşmasında en önemli faktördür. Bunun yanı sıra termosetlere göre daha düşük maliyetlidirler [16].

Parçacık Takviyeli Kompozitler

Matris içerisine, takviye malzemesinin yayılan parçalar şeklinde bulunması ile oluşan kompozitlere parçacıklı kompozit adı verilir. Bu kompozit yapılarında bütün yönlerde

malzeme aynı davranır. Bu olay izotrop yapıda olduğunun göstergesidir. Yapının mukavemeti de içerisinde yer alan polimerin sertlik değerine bağlıdır. Genellikle kullanılan parçacıklı kompozit malzeme çeşidi metal parçacıkların plastik matris içerisine yerleştirildiği kompozitlerdir. Ayrıca seramik parçacıklarda metal matris içerisine yerleştirilerek sert ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı parçacıklı kompozitler de elde edilir. Bu nedenle havacılık sektöründe, uçaklarda motor parçalarının yapımında kullanılmaktadır [7].

Tabakalı yapıdaki kompozitler

Matris, mukavemet değeri kendi mukavemet değerine daha fazla olan örgü ya da çubuk fiber malzemelerle bir araya getirilerek tabaka şeklinde kompozit malzeme meydana getirilir ve bu kompozit malzemelerden en az ikisinin biraraya getirilmesi ile tabakalı kompozit malzeme elde edilmiş olur. Bu çeşit kompozitler çok sık kullanılan kompozitler arasındadır. Genelde uçaklarda, kuyruk ve kanat bölümlerinde kaplama elemanı olarak kullanılmaktadır [7].

Karma (Hibrit) kompozitler

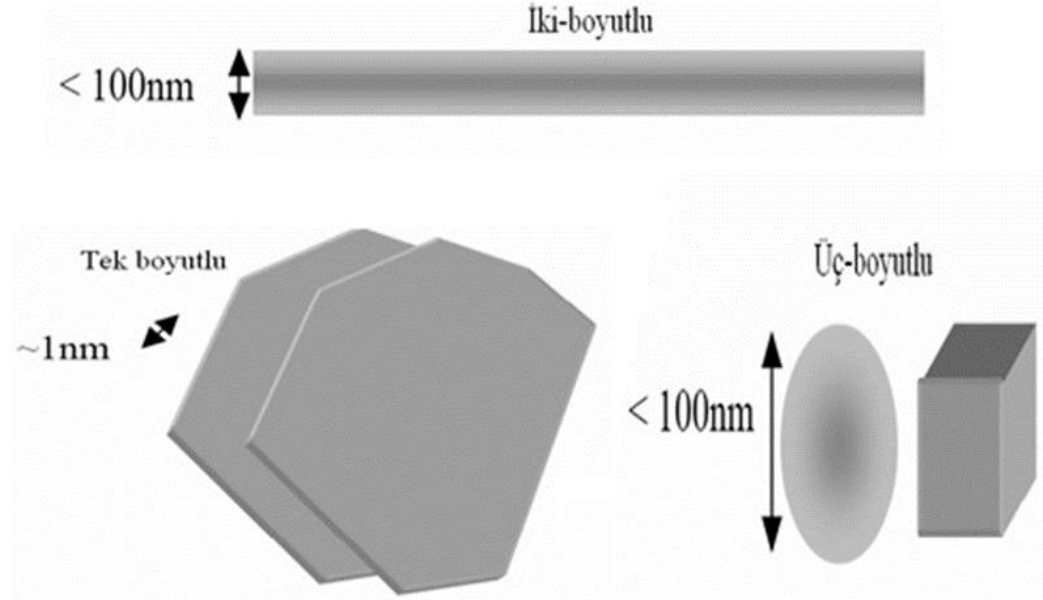
Kompozit yapıda matris malzemesinin haricinde iki veya daha çok elyaf tipi varsa bu yapı karma (hibrit) kompozit şeklinde adlandırılır. Hibrit yapıdaki kompozitlerde takviye olarak kullanılan elyaflara göre değişmekle birlikte, tek elyafli kompozitlere nazaran daha yüksek dayanım özellikleri elde edilebilmektedir [7].

2.5. Nanokompozitler

Kompoziti meydana getiren fazlarından bir ya da birden fazlasının nanometre (nm) derecesinde olmasıyla oluşturulan, kompozit malzeme alanında yeni olarak nitelendirilebilecek malzeme sınıfıdır. Bu çeşit kompozit malzemeler öbür kompozitlerden farklı şekilde molekül, atom ve makromolekül derecede incelenebilmektedir. 2020'li yıllara yaklaştığımız bu günlerde de nanokompozit malzemelerin sanayide kullanımını artarken, akademik çalışmaların büyük kısmında da kendisine yer bulmaktadır [18, 19].

Nanokompozit malzemeler sınıflandırılırken nano ölçüde kaç tane boyuta sahip olduğu incelenir. Resim 2.4'te resmedildiği şekilde eğer nanokompozitin üç boyutu da nanometre derecesinceyse eş boyutlu nanopartiküller (küresel nanokompozitler), iki boyutu nanometre seviyesinde diğer boyutu büyükse nanotüpler ya da kil kristalleri (lif veya tüp şeklinde olan

nanokompozitler), sadece bir boyutu nanometrik seviyede ise de tek boyutlu nanokompozitler (silikat tabakalı nanokompozitler) olacak şekilde gruplandırılabilir [20].



Resim 2.4. Nano boyutlu dolgu malzemelerinin şematik gösterimi [21]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1 Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)

Etilen gazlarından meydana gelen ve bu gazların Ziegler-Natta şeklinde katalistleri ile birlikte, heksan ortamında düşük basınçlarda ve düşük sıcaklıklarda polimerizasyon methodları ile üretilen, YYPE termoplastik grubuna giren malzemedir. YYPE, aslında petrolden meydana gelen bir üründür. Etilen gazı, ham petrolden ve doğalgazdan da elde edilebilmektedir [22].

YYPE'nin yoğunluğu ortalama 0.96 g/cm^3 'tür ve uygun kullanım aralığı $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $80 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları arasındadır. YYPE'nin mukavemet özellikleri incelendiğinde, darbe dayanımı ve çekme testi değerleri çok yüksektir. Mukavemet değerleri takviye malzemelerle daha da artış gösterebilir. Çözücü kimyasal maddelere karşı direnci iyidir. Mekanik özellikler açısından, düşük sıcaklıklarda da çok iyi sonuçlar verir [23].

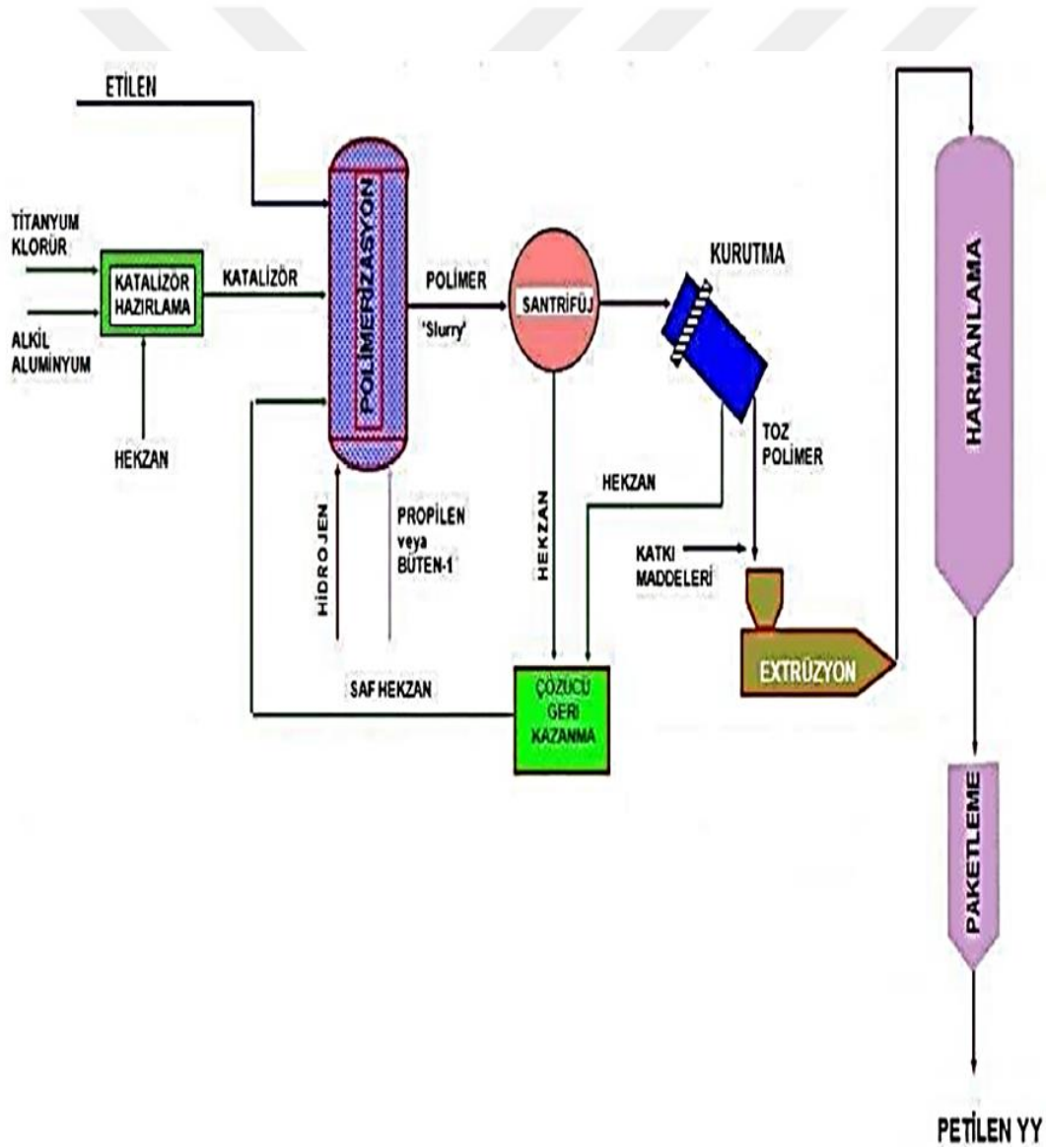
Çalışma bölgelerinde nem, basınç veya harici dış nedenlere bağlı olarak $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ortamına kadar kullanılabilir. Erime sıcaklığı $130-135 \text{ }^\circ\text{C}$ ' dir [24, 25].

YYPE'nin soğutma hızlarına bağlı olarak kristalleşme oranı değişir. Kristalleştirme oranı, soğutma işleminin yavaş yapılması ile yükselir. Hızlı soğutma yapılması durumunda ise kristalleşme oranı daha düşüktür. Bundan dolayı soğutma işlemi malzemenin ilk durumundaki fiziksel özelliklerinin farklı olmasına sebebiyet verebilir. Ekstrüzyon sürecinde veya enjeksiyon kalıplama eriyik durumda bulunan plastiğin akışını aynı olmayan yönlerde doğru ilerletir ve bu sonuç anizotropik yapının oluşmasına sebebiyet verir. Bu yapı sonucunda da malzemenin mekanik özelliklerinde önemli ölçüde farklılıklar meydana gelir. Moleküler ayarlamalar çatlak direnci, mukavemet ve toklukta artış meydana getirir [26].

YYPE'nin birden çok üretim methodları bulunmaktadır. Bu üretim methodları koordinasyon polimerizasyon yöntemi ve radikal polimerizasyonudur. Radikal polimerizasyonda yüksek basınç yardımıyla üretim gerçekleştirilir. Koordinasyon polimerizasyonunda ise düşük sıcaklık ve düşük basınç uygulanarak katalizör yardımıyla üretim gerçekleştirilir. Üretim

sırasında basınç 10-20 atm olacak şekilde ayarlanır. Sıcaklık ayarları da 50-75 °C olacak şekilde yapılır. Koordinasyon polimerazisyonda kullanılacak olan katalizörler organometalik malzemeler ve titanyum tetraklorid'dir. Alüminyum alkil, organometalik katalizöre örnek gösterilebilir. Polimerizasyonda soğutma işlemi ile ısı giderilir. Üretimden çıkan ürünler granül veya toz şeklindedir. Granül veya toz şeklinde bulunan ürünler, kurutulduktan sonra paketlenir [27, 28].

Metal oksit katalizörü kullanılarakta YYPE üretilebilir bu da bir diğer yol olarak kullanılabilir. 60-200 °C sıcaklıkta ve 35 atm basınç olacak şekilde ve üretim yapılır. Buharlaşan çözücünden sonra, soğutma işleminin tamamlanması ile ürün üretilmiş olur. YYPE'e ait üretim şeması Şekil 3.1'de belirtilmiştir [28, 29].



Şekil 3.1. YYPE üretim şeması [28]

Bu çalışmada petkim firmasının üretmiş olduğu granül halde bulunan YYPE kullanılmış olup, yoğunluğu $0,96 \text{ g/cm}^3$, erime sıcaklığı $134 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir [30].

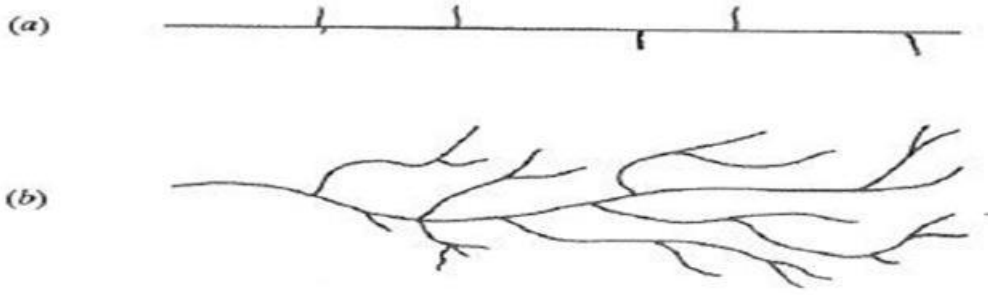
3.1.2 Düşük Yoğunluklu Polietilen (DYPE)

DYPE, yüksek basınç altında etilenin, peroksit katalizörler yardımıyla polimerizasyonu neticesinde meydana gelir. $0.915\text{-}0.930 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip olan DYPE, polietilen grubu içerisinde esnek bir türdür. Erime sıcaklığı da $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir [30, 31].

DYPE, beyaz renkli, yumuşak bir dokuya sahip, sertlik olarak PVC'den daha sert, çok ince bir yapı da bulunduğu zaman saydam şekilde olabilen bir polimerdir. DYPE, korozyona ve kimyasalmaddelere dayanıklı bir polimerdir. Düşük sıcaklıklarda hiçbir çözücü çözemez, ancak sıcakta benzen ve karbontetraklorid tarzı çözücüler ile temasta DYPE üzerinde şişme meydana gelir. Basınç altında kimyasal maddelere karşı direnci azalarak çatlamlar meydana gelir. Kompozit yapıda olmayan ve dallanmış şeklinde bulunmayan DYPE ışığa ve açık hava koşullarına karşı dayanıklı değildir. Eninde sonunda polimer yapısında tahribat meydana gelir. Hava ve güneş ile teması kesilen DYPE yer altı kablolarında da sorunsuz bir şekilde yıllarca kullanılır. DYPE $80\text{-}85 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ye kadar rahatlıkla kullanılabilir ancak yüksek sıcaklıklarda zamanla yumuşar ve erimeye başlar [31, 32].

DYPE, korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanımı iyi bir polimerdir. Kimyasallara karşı direnci basınç altında düşerek çatlamlara uğrar. Mekanik özellikler açısından incelendiğinde mukavemeti diğer polimerlere göre orta derecedir. Darbe dayanımı ve uzama değeri yüksektir. Elektrik yalıtımı açısından çok iyidir. DYPE, $80\text{-}85 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar kullanılabilir, daha yüksek sıcaklıklarda yumuşararak yavaş yavaş erimeye başlar [33, 34].

DYPE'ler genellikle yüksek sıcaklıklara ve aşırı zorlanmalara maruz kalan makine elemanlarının yapımında kullanılmazlar. Daha çok şişe, kap, bidon, torba ve mutfak eşyası üretimlerinde öncelikli tercih edilirler. Resim 3.1'de YYPE ve DYPE zincir yapısı gösterilmiştir [34].



Resim 3.1 YYPE ve DYPE ZİNCİR YAPISI [34]

3.1.3 Polipropilen Ko-Polimer (PPC)

PP, propilenin polimerizasyonu ile üretilen şeffaf, şekillendirmesi kolay, yarı sert bir polimer türüdür. Mekanik özellikleri incelendiğinde iyi yorulma ve darbe dayanımı, maliyet açısından uygunluğu ve kimyasallara karşı yüksek direnç özelliği ile spesifik uygulamalar haricinde ilk olarak tercih edilmektedir [35].

PP'nin homopolimer, rasgele-kopolimer ve blok-kopolimer olmak üzere üç türü bulunmaktadır. PP türlerinden homopolimer yapıda bulunan PP, propilenin stereospesifik özellikte bir katalizör yardımıyla polimerize edilerek meydana gelmektedir. PP Homopolimerlerin, PP kopolimerlere kıyasla yüksek sıcaklıklara karşı gösterdikleri direnç daha iyidir ve daha rijittir. Darbe dirençleri, düşük sıcaklıklarda sınırlıdır. Homopolimer özellikteki PP çeşitli monomerlerle (Etilen vs.) kopolimerize edilebilmektedir. Meydana gelen PP kopolimerin özellikleri komonomerin çeşidi ve miktarına göre şekillenmektedir. İki PP türü temelde karşımıza çıkar, bunları blok kopolimer ve rasgele kopolimer olarak tanımlayabiliriz. Rasgele kopolimerler içeriğinde, düzensiz bir şekilde dağılımda ayrıca bir adet kimyasal fazda ağırlıklı olarak %1,5 ila 6 etilen veya bütlen şeklinde farklı monomerler de bulundurmaktadır. Blok kopolimer ve rasgele kopolimerin birbiri arasındaki ana farklılık blok kopolimerde, komonomerler propilen monomerleri içerisinde düzensiz değil, bloklar şeklinde bulunmasıdır. Blok kopolimerlerde içeriğinde bulunan etilen miktarı, rasgele kopolimerlere kıyasla daha yüksektir. Yapı farklılığı nedeniyle, blok kopolimerler daha toktur, daha elastiktir ve düşük sıcaklıklarda daha yüksek darbe mukavemeti özellikleri gösterirler. Ancak yumuşama noktası homopolimere göre daha düşüktür. Mekanik özellikleri nedeniyle, PP-homopolimerler, PP-blok kopolimerler, PP-rasgele kopolimer ve kıyasla daha ucuz ve daha kolay bulunurlar. Tablo 3.1'de PP dizilimleri gösterilmiştir [36, 37, 38].

Tablo 3.1 PP homopolimer ve PP kopolimer dizilimleri

Propilen monomeri (A)	Etilen monomeri (B)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}_2- \end{array}$	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
PP-Homopolimer (PP-H)	PE Homopolimer
-A-A-A-A-A-A-A-A-	-B-B-B-B-B-B-B-B-
<u>PP-rasgele kopolimer (PP-R)</u>	
-A-B-A-A-B-A-B-A-A-A-B-B-A-B-A-A-	
<u>PP-blok kopolimer (PP-B)</u>	
-A-B-B-B-B-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-A-A-A-A-A-	

PP'nin kimyasallara karşı dayanımı iyidir. Asitlerin, bazların ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler ve alkollere karşı iyi bir dayanım gösterirler. Görünür bölge ışınları karşısında dayanıklıdır. Ancak UV ışınları, PP'den imal edilen malzemelerin yüzeyinde bozulmalar meydana getirir. PP, tekstilden, mobilyaya, otomotivden, ambalaja kadar çok çeşitli sektörlerde çok çeşitli formlarda kullanılmaktadır [16, 39].

PPC'nin yoğunluğu ortalama $0,90 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Erime sıcaklığı da $176 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir [35, 36].

3.1.4 Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS)

3 çeşit monomerden oluşan ABS termoplastik bir polimerdir. Üç çeşit monomerin özelliklerini bünyesinde barındırır. Bileşenindeki monomerlerin başlıca mekanik özellikleri; çekme dayanımı, sertlik ve elastiklidir. Bu mekanik özelliklerin aynı anda polimerlerde bulunması çok rastlanılabilir bir durum değildir. ABS malzemesinin ön plana çıkan özellikleri darbe dayanımı ve tokluktur [40].

ABS malzemesinin avantajları genel olarak incelendiğinde, metal ve tahta yerine kullanılabilen bir malzeme olarak karşımıza çıkar. Kolay işlenebilen, sert, darbe dayanımı yüksek bir malzemedir. Sivil amaçlar dışında askeri ihtiyaçlar içinde çokça tercih edilen bir

polimeridir. Akrilonitril, ısı dayanıklılığın yanı sıra açık hava şartlarına ve kimyasallara karşı dayanım sağlar. ABS'nin yoğunluğu ortalama $1,04 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Erime sıcaklığı $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir [41, 42].

Dezavantajları açısından bakıldığında, diğer sıklıkla kullanılan plastikler karşılaştırıldığında yüksek maliyetlidirler. Yüksek maliyetli olmasına rağmen çok çeşitli makine parçası, makinelerin tuş ve düğmelerinde, elektrikli ev aletlerinde, kameralarda, telefon gibi çok çeşitli elektronik cihazlarda, boru gibi çevresel etkilere maruziyeti bulunan yerlerde ve daha çok çeşitli yerde kullanılmaktadır. ABS, takviye ile güçlendirilmiş kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılmaktadır [43, 44].

Aseton ile çözülebilen ABS bir petrol ürünüdür. ABS malzemesi kullanılarak üretilen ürünler, 20 ile 80°C arasında kullanıma uygundur. ABS malzemesinin 80°C üzerindeki bir ortamda çalışması durumunda yumuşama ve şekil bozukluğu yaşanabilir. ABS malzemesi kullanılarak üretilen ürünler yoğun güneş ışınlarına maruz bırakılırsa zarar görebilir. ABS malzemesi yüksek mukavemet ve darbe direnci özellikleri nedeniyle üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilen bir malzemedir [43, 45].

ABS'nin sivil amaçlardaki kullanım alanlarına, mutfak robotu gövdeleri, elektrikli süpürge kabini, buzdolabı kapı sapları, panolar, gösterge paneli gibi uygulamalar örnek gösterilebilir [44].

3.1.5 Cam elyaf

Polimer malzemelerin eğilme, çekme, darbe dayanımları, rijitlik gibi diğer mekanik özellikleri, cam elyaf takviyesiyle artırılabilir. Cam elyaflar, yüksek sıcaklıkta yumuşarlar ancak ısı dirençleri düşük olduğu için yanmazlar. Kimyasal maddelere karşı dirençleri iyidir. Nemli ortamlarda kullanılabilir, ayrıca elektrik yalıtımları çok iyidir. Termoplastiklerin neredeyse tamamı cam elyafı ile güçlendirilmeye müsait olmalarına rağmen endüstride en fazla PE, PP, PS, PA ve ABS tercih edilir [16,46].

Cam elyaf, çekme mukavemetini elastikliği, boyutsal karalılık ve yorulma dayanımını artırır. Cam elyaflara ait birkaç özellik aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Çekme mukavemeti çelikten yüksektir. (Birim ağırlığa düşen)

2. Yanmazlar ancak çok yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar.
3. Kimyasal maddelere karşı kuvvetlidirler.
4. Nem'e karşı dirençlidirler. Fakat kompozitlerde cam elyaf ile matris arasında nemin neden olduğu bir çözülme olabilir. Özel kaplama teknikleri ile bu sorun çözülür.
5. Elektriksel yalıtkanlığı özelliği ile sorunsuzca kullanılmaktadır [16, 47].

İçeriğine ve özelliklerine göre farklı harflerle kodlanmış cam elyaf türleri bulunmaktadır. Tablo 3.2'de cam elyaf türleri kompozisyonlarına göre belirtilmiştir. Bunlar arasında en fazla tercih edilen türü ise "E" tipi cam elyaflar'dır. Mekanik ve elektrik özellikleri ile birlikte maliyetinin de kabul edilebilir bir denge oluşturması nedeniyle, kalsiyum alüminosilikat bileşimi, piyasa da ve araştırmalar da tercih edilen toplam cam elyaf takviye malzemeleri arasında %90 pazar payına sahiptir [16, 48]. "E-CR" cam elyaf ise "E" camının geliştirilmiş bir hali olarak, asitlere karşı dayanım artırmak nedeni ile kompozisyonun da bor maddesi bulundurmamaktadır. "E-CR" aynı zamanda kimyasal dayanıklılı talep edilen boru ve tank imalatında da kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet istenen yerler için tercih edilen cam elyaf türleri Amerika'da "S" camı olarak isimlendirilir. Avrupa'da "S" camı, "R" camı olarak tanımlanmaktadır. Cam elyaf çeşitlerinde mükemmel dielektrik özelliklere sahip ve elektronik endüstrisinde sıklıkla tercih edilen, "D" cam elyafı, yüzeylerde kullanılan kimyasal dayanımına sahip "C" camı elyafı da cam elyaf çeşitleri içerisinde [16, 49].

Tablo 3.2 Kompozisyonlarına göre cam elyaf türleri [16]

	A-CAMI	C-CAMI	E-CAMI	R-CAMI	S-CAMI
SiO ₂	72,0	64,6	52,4	60,0	64,4
Al ₂ O ₃	1,5	4,1	14,4	25,0	25,0
CaO	10,0	13,4	17,2	9,0	-----
MgO	2,5	3,3	4,6	6,0	10,3
Na ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	-----	0,3
B ₂ O ₃	-----	4,7	10,6	-----	0,3
BaO	-----	0,9	-----	-----	-----

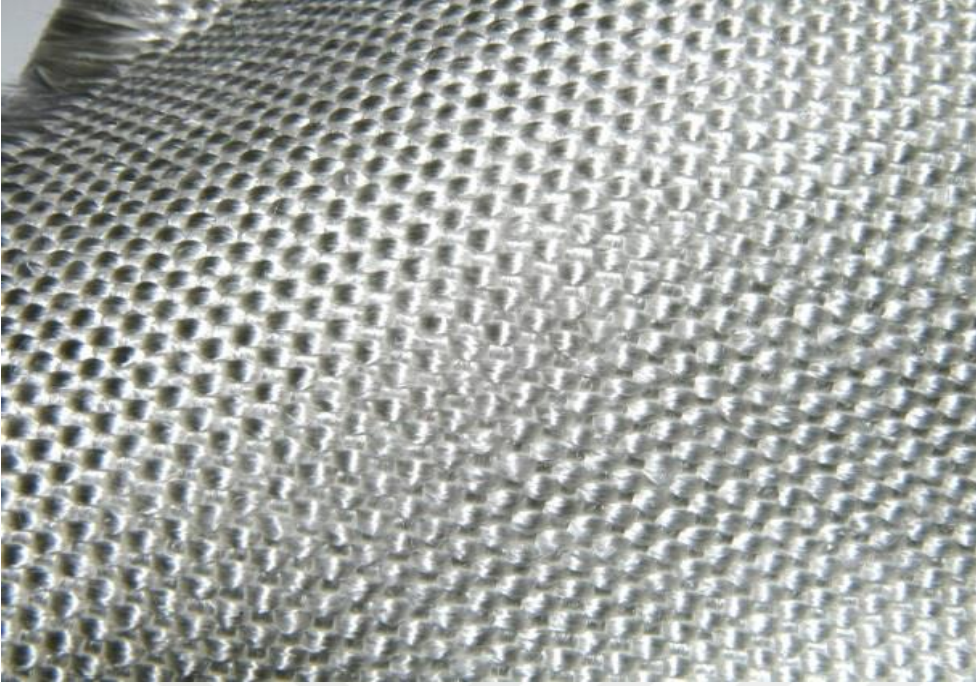
Termoplastiklere takviyede en fazla kullanılan “E” türü cam elyaflardır. Alkali oranı az olması sebebiyle elektriksel yalıtkanlığı farklı cam elyaf türlerine kıyasla çok iyidir. Çekme kuvvetine karşı dayanıklılığı oldukça yüksektir. Çözücü olarak suya karşı dirençlidir. Nemli ortamlarda kullanılmak üzere üretilen kompozit malzemelerde sıklıkla E” türü cam elyaflar tercih edilir.

Aşağıda Tablo 3.3’de elyaf türlerinin başlıca mekanik özellikleri belirtilmiştir [50].

Tablo 3.3. Elyaf türlerinin mekanik özellikleri [16]

	ELYAF TİPİ		
	E-CAMI	C-CAMI	S-CAMI
Çap (μm)	8-14	-	10
Yoğunluk (kg/m^3)	2540	2490	2490
Çekme Modülü (GPa)	72,4	68,9	85,5
Çekme Mukavemeti(MPa)	3450	3160	4590
Uzama (%)	1,8-3,2	4,8	5,7
Genleşme katsayısı	5,0	7,2	5,6
Isıl iletim ($\text{W/m/}^\circ\text{C}$)	1,3	-	-
Özgül ısı ($\text{J/kg/}^\circ\text{K}$)	840	780	940

Bu çalışmada kompozit malzeme üretiminde tercih edilen cam elyaf kumaş E cam türü ve 300 g/m^2 ağırlığa sahiptir (Resim 3.2).



Resim 3.2. Cam elyaf

Bu bölüm YYPE, DYPE, PPC, ABS termoplastik malzemelerine, cam elyaf takviye edilmesi neticesinde üretilen kompozit malzemeleri kıyaslamak adına saf halde üretimi yapılan malzemelerden deney numuneleri hazırlanarak yapılan testleri anlatmaktadır.

Granül haldeki YYPE, DYPE, PPC, ABS malzemelerine uygun sıcaklık ve basınç altında sıcak pres makinası ile cam elyaf ilavesi yapılarak kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen bu plakalardan, deney numuneleri hazırlanmıştır. Belirli standartlar incelererek hazırlanan deney numuneleri charpy darbe deneyi, çekme deneyi ve düşük hızlı darbe deneyleri ile testler yapılarak ürünlerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

Her bir termoplastik malzemeye (YYPE, DYPE, PPC, ABS) ayrı ayrı E-cam elyaf takviyesi ile kompozit malzeme üretimleri yapılmıştır. Ayrıca kıyaslamalarda kullanılmak üzere saf YYPE, DYPE, PPC, ABS malzemelerinden deney numunesi hazırlama amacıyla da plaka üretimleri yapılmıştır.

Pres makinasının alt tabakası üzerine yerleştirilen 4 mm kalınlığa sahip kalıp içerisine öncelikle 2 mm alanı dolduracak şekilde granül haldeki YYPE konularak, kalıp içerisinde düzgün bir şekilde dağıtılmıştır. Daha sonra mevcut granül tabakasının üzerine kalıp ölçülerinde cam elyaf kumaş yerleştirilmiş olup, cam elyaf kumaşın üzerine de 2 mm olacak

şekilde yine YYPE granülleri koyularak (Resim 3.3) düzgün bir şekilde dağıtılmış, üst tabaka da bu şekilde oluşturulduktan sonra kompozit plaka üretimine hazır hale getirilmiştir. Aynı işlemler üretim esnasında DYPE, PPC ve ABS içinde ayrı ayrı olacak şekilde tekrarlanmıştır.



Resim 3.3. YYPE ve cam elyafın kalıba yerleştirilmesi

YYPE üretimin ilk basamağında sıcak pres makinası çalıştırılarak, makine üzerindeki tablalar ısıtılmaya başlanmış ve üst tabla, malzemeyi sıkıştırmadan sadece temas edecek bir biçimde bastırılmıştır. Termostat ilk sıcaklık değeri için 120 °C' sıcaklığa ayarlanmıştır. Burada geçen sıcaklık değerleri termokuple ile ölçülen değerlerdir. Bu yöntemle granülleri yavaş yavaş akışkan forma getirip, hızlıca ve tamamen eritmeden, granüller arasındaki boşlukların dolması hedeflenmiştir. Sıcaklık değerleri her iki noktada da 120 °C'ye ulaştığında 5 dakika beklenerek 130 °C sıcaklık değerine çıkartılmıştır ve sıcak pres makinası bir miktar daha basınç verilerek sıkıştırılmıştır. Sıcaklı termostatlarda 130 °C sıcaklığa ulaştığında yine 5 dakika sonra sıcaklık değeri 140 °C'ye çıkarılmış ve pres makinası bir öncekinden daha fazla sıkıştırılmıştır. Sıcaklık 140 °C'ye ulaştığında pres makinası tamamen sıkıştırılarak ve eriyik haldeki YYPE'nin mevcut basınç ve sıcaklık altında homojen bir yapı olacak şekilde içinde bulunduğu kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. En son olarak 10 dakikalık bir bekleme süresi sonrası sonra sıcak pres makinesi kapatılmış ve soğutma suyu açılarak sisteme verilmiştir. Kalıp ve üretilen kompozit malzeme ve soğumaya bırakılmıştır. Sıcak pres makinası, üretilen

malzeme ve kalıp soğutulduktan sonra kalıp çıkarılarak, kompozit plaka üretimi tamamlanmıştır (Resim 3.4).



Resim 3.4. Saf YYPE ve cam elyaf takviyeli YYPE plakalar

DYPE üretimin ilk basamağında sıcak pres makinası çalıştırılarak, makine üzerindeki tablalar ısıtılmaya başlanmış ve üst tabla, malzemeyi sıkıştırmadan sadece temas edecek bir biçimde bastırılmıştır. Termostat ilk sıcaklık değeri için 90 °C' sıcaklığa ayarlanmıştır. Burada geçen sıcaklık değerleri termokuple ile ölçülen değerlerdir. Bu yöntemle granülleri yavaş yavaş akışkan forma getirip, hızlıca ve tamamen eritmeden, granüller arasındaki boşlukların dolması hedeflenmiştir. Sıcaklık değerleri her iki noktada da 90 °C'ye ulaştığında 5 dakika beklenerek 100 °C sıcaklık değerine çıkartılmıştır ve sıcak pres makinası bir miktar daha basınç verilerek sıkıştırılmıştır. Sıcaklık termostatlarda 100 °C sıcaklığa ulaştığında yine 5 dakika sonra sıcaklık değeri 110 °C'ye çıkarılmış ve pres makinası bir öncekinden daha fazla sıkıştırılmıştır. Sıcaklık 110 °C'ye ulaştığında pres makinası biraz daha sıkıştırılmıştır. Sıcaklık 120 °C'ye ayarlanmıştır. Termostatlarda sıcaklık değerleri 120 °C'ye ulaştığında ulaştığında pres makinası tamamen sıkıştırılmıştır. Eriyik haldeki DYPE'nin mevcut basınç ve sıcaklık altında homojen bir yapı olacak şekilde içinde bulunduğu kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. Son olarak 10 dakikalık bir bekleme süresi sonrası sonra sıcak pres makinesi kapatılmış ve soğutma suyu açılarak sisteme verilmiştir. Kalıp ve üretilen kompozit malzeme

ve soğumaya bırakılmıştır. Sıcak pres makinası, üretilen malzeme ve kalıp soğutulduktan sonra kalıp çıkarılarak, kompozit plaka üretimi tamamlanmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5. Saf DYPE ve cam elyaf takviyeli DYPE plakalar

PPC üretimin ilk basamağında sıcak pres makinası çalıştırılarak, makine üzerindeki tablalar ısıtılmaya başlanmış ve üst tabla, malzemeyi sıkıştırmadan sadece temas edecek bir biçimde bastırılmıştır. Termostat ilk sıcaklık değeri için 140 °C' sıcaklığa ayarlanmıştır. Burada geçen sıcaklık değerleri termokuple ile ölçülen değerlerdir. Bu yöntemle granülleri yavaş yavaş akışkan forma getirip, hızlıca ve tamamen eritmeden, granüller arasındaki boşlukların dolması hedeflenmiştir. Sıcaklık değerleri her iki noktada da 140 °C'ye ulaştığında 5 dakika beklenerek 150 °C sıcaklık değerine çıkartılmıştır ve sıcak pres makinası bir miktar daha basınç verilerek sıkıştırılmıştır. Sıcaklık termostatlarda 150 °C sıcaklığa ulaştığında yine 5 dakika sonra sıcaklık değeri 160 °C'ye çıkarılmış ve pres makinası bir öncekinden daha fazla sıkıştırılmıştır. Sıcaklık 160 °C'ye ulaştığında pres makinası biraz daha sıkıştırılmıştır. Sıcaklık artırımı aynı beklemelemlerle son olarak 190 °C'ye ayarlanmıştır. Termostatlardaki sıcaklık değerleri 190 °C'ye ulaştığında pres makinası tamamen sıkıştırılmıştır. Eriyik haldeki PPC'nin mevcut basınç ve sıcaklık altında homojen bir yapı olacak şekilde içinde bulunduğu kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. Son olarak 30 dakikalık bir bekleme süresi sonrası sonra sıcak pres makinesi kapatılmış ve soğutma suyu açılarak sisteme verilmiştir. Kalıp ve üretilen

kompozit malzeme ve soğumaya bırakılmıştır. Sıcak pres makinası, üretilen malzeme ve kalıp soğutulduktan sonra kalıp çıkarılarak, kompozit plaka üretimi tamamlanmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6. Saf PPC ve cam elyaf takviyeli PPC plakalar

ABS üretimin ilk basamağında sıcak pres makinası çalıştırılarak, makine üzerindeki tablalar ısıtmaya başlanmış ve üst tabla, malzemeyi sıkıştırmadan sadece temas edecek bir biçimde bastırılmıştır. Termostat ilk sıcaklık değeri için 120 °C' sıcaklığa ayarlanmıştır. Burada geçen sıcaklık değerleri termokuple ile ölçülen değerlerdir. Bu yöntemle granülleri yavaş yavaş akışkan forma getirip, hızlıca ve tamamen eritmeden, granüller arasındaki boşlukların dolması hedeflenmiştir. Sıcaklık değerleri her iki noktada da 120 °C'ye ulaştığında 5 dakika beklenerek 130 °C sıcaklık değerine çıkartılmıştır ve sıcak pres makinası bir miktar daha basınç verilerek sıkıştırılmıştır. Sıcaklık termostatlarda 130 °C sıcaklığa ulaştığında yine 5 dakika sonra sıcaklık değeri 140 °C'ye çıkarılmış ve pres makinası bir öncekinden daha fazla sıkıştırılmıştır. Sıcaklık 140 °C'ye ulaştığında pres makinası biraz daha sıkıştırılmıştır. Sıcaklık artırımı aynı beklemelemlerle son olarak 150 °C'ye ayarlanmıştır. Termostatlardaki sıcaklık değerleri 150 °C'ye ulaştığında pres makinası tamamen sıkıştırılmıştır. Eriyik haldeki ABS'nin mevcut basınç ve sıcaklık altında homojen bir yapı olacak şekilde içinde bulunduğu kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. Son olarak 20 dakikalık bir bekleme süresi sonrası sonra sıcak pres makinesi kapatılmış ve soğutma suyu açılarak sisteme verilmiştir. Kalıp ve üretilen kompozit malzeme ve soğumaya bırakılmıştır. Sıcak pres makinası, üretilen malzeme ve kalıp soğutulduktan sonra kalıp çıkarılarak, kompozit plaka üretimi tamamlanmıştır (Resim 3.7).



Resim 3.7. Saf ABS ve cam elyaf takviyeli ABS plakalar

Üretimler için kullanılan ortalama süreler incelendiğinde, sıcak pres makinesi için 60 dakika, makinenin ve malzemenin soğuması için 30-45 dakika arasındadır.

YYPE, DYPE, PPC, ABS ile cam elyaf takviye edilerek üretilen kompozit plakaların yanı sıra mukavemet değerlerinin karşılaştırılması amacıyla, aynı şartlarda saf halde YYPE, DYPE, PPC, ABS üretimi yapılmıştır. Toplam 8 adet plaka üretilmiştir.

- YYPE
- YYPE + Cam elyaf
- DYPE
- DYPE + Cam elyaf
- PPC
- PPC + Cam elyaf
- ABS
- ABS + Cam elyaf

Üretimi gerçekleştirilen kompozit plakalar ile birlikte saf YYPE, DYPE, PPC, ABS plakalar, standartlara uygun kesilerek resim 3.8.'de gösterildiği şekilde charpy darbe deneyi, çekme deneyi, ve düşük hızlı darbe deneyi numuneleri testlere hazır hale getirilmiştir. ASTM D638 standartlarına uygun olarak çekme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Charpy darbe deneyi numuneleri ASTM D6110 standartlarına göre hazırlanmıştır. Düşük hızlı darbe deneyi numuneleri ise 100x150 mm ebatlarında düz plaka olarak hazırlanıp testlere tabi tutulmuştur.

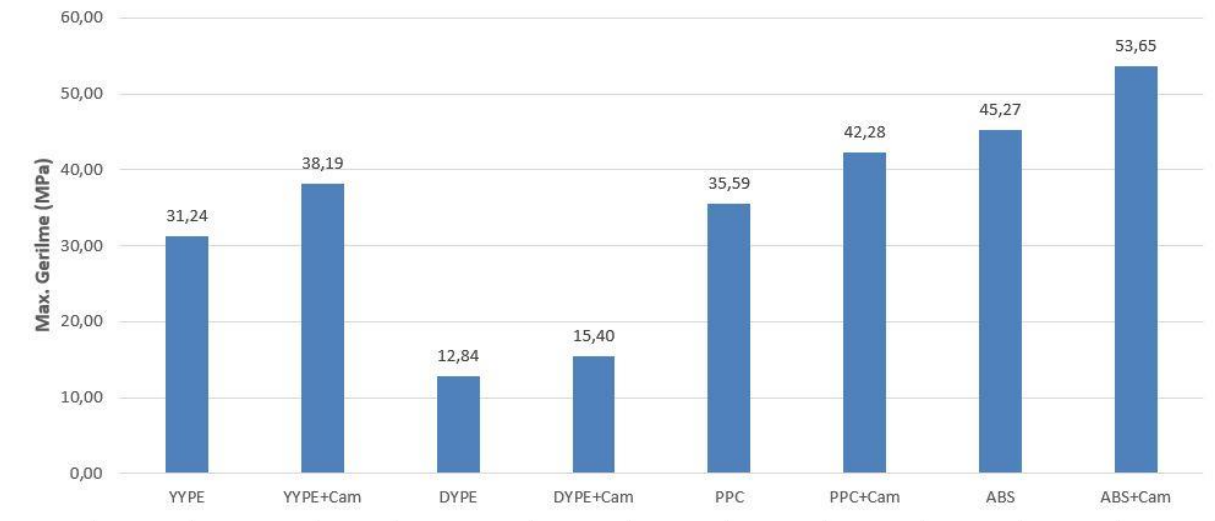


Resim 3.8. Cam elyaf takviyeli PPC deney numuneleri

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme testleri sonucu üretilen her bir saf ve kompozit halde bulunan malzeme için maksimum gerilme ve kuvvet-uzama miktarları tespit edilmiştir. Malzemelerin akma noktasındaki maksimum gerilmeleri (akma dayanımı) Şekil 4.1’de malzemeler ayrı ayrı olacak şekilde gösterilmiştir. Maksimum gerilmeler MPa cinsinden belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Çekme testi sonuçları

Çekme testi sonuçları incelendiğinde, Saf YYPE maksimum gerilmesi 31,24 MPa olarak tespit edilmiştir. Saf YYPE’ ye takviye elemanı olarak cam katılması sonucu değer 38,19 MPa yükselmiştir. Bu sonuçlara göre cam elyaf takviyesi sonucu mukavemet % 22,24 artmıştır.

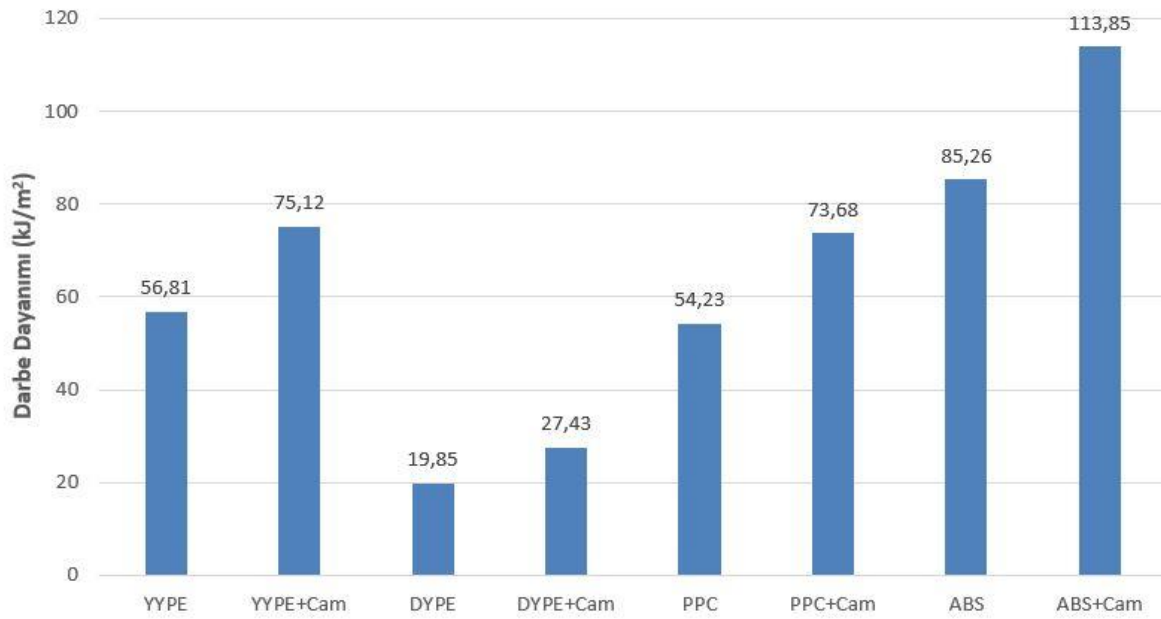
DYPE’nin maksimum gerilmesi 12,84 MPa olarak tespit edilmiştir. DYPE+Cam elyaf malzemesinin ise maksimum gerilme değeri 15,40 MPa olarak tespit edilmiştir. Buradaki kompozit malzemedeki mukavemet artışı % 19,93’tür.

PPC’nin maksimum gerilmesi 35,59 MPa olarak tespit edilmiştir. PPC+Cam elyaf malzemesinin ise maksimum gerilme değeri 42,28 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre cam elyaf takviyesi sonucu kompozit malzemedeki mukavemet artışı % 18,79’dur.

ABS'nin maksimum gerilmesi 45,27 MPa olarak tespit edilmiştir. ABS'ye takviye elemanı olarak cam katılması sonucu değer 53,65 MPa yükselmiştir. Bu sonuçlara göre cam elyaf takviyesi sonucu mukavemet %18,51 artmıştır. Cam elyafın yüksek çekme kuvvetine sahip olması bu artışta en büyük etkidir.

4.2 Charpy Darbe Deneyi

Charpy darbe deneyi sonuçlarına göre numunelerin darbe dayanımları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Darbe dayanımları kJ/m² birimi üzerinden incelenmiştir.



Şekil 4.2 Charpy darbe deneyi sonuçları

Charpy darbe deneyi sonuçları incelendiğinde, YYPE malzemesine ait numunenin darbe dayanımı değeri 56,81 kJ/m² olarak tespit edilmiştir. YYPE+Cam elyaf malzemesinin darbe dayanım değeri 75,12 kJ/m² olarak sonuçlanmıştır. YYPE+Cam elyaf malzemesinin darbe dayanımı, YYPE malzemesindeki değere göre % 32,23 oranında artmıştır.

DYPE malzemesine ait numunenin darbe dayanım değeri 19,85 kJ/m² olarak tespit edilmiştir. DYPE+Cam elyaf malzemesinin darbe dayanımı değeri 27,43 kJ/m² olarak sonuçlanmıştır. DYPE+Cam elyaf malzemesinin darbe dayanımı, DYPE malzemesindeki değere göre % 38,18 oranında artmıştır. DYPE çok yumuşak bir malzeme olduğundan darbenin etkisiyle katlanma gerçekleşmiştir. Kırılma gerçekleşmediğinden darbe dayanımı düşük çıkmıştır.

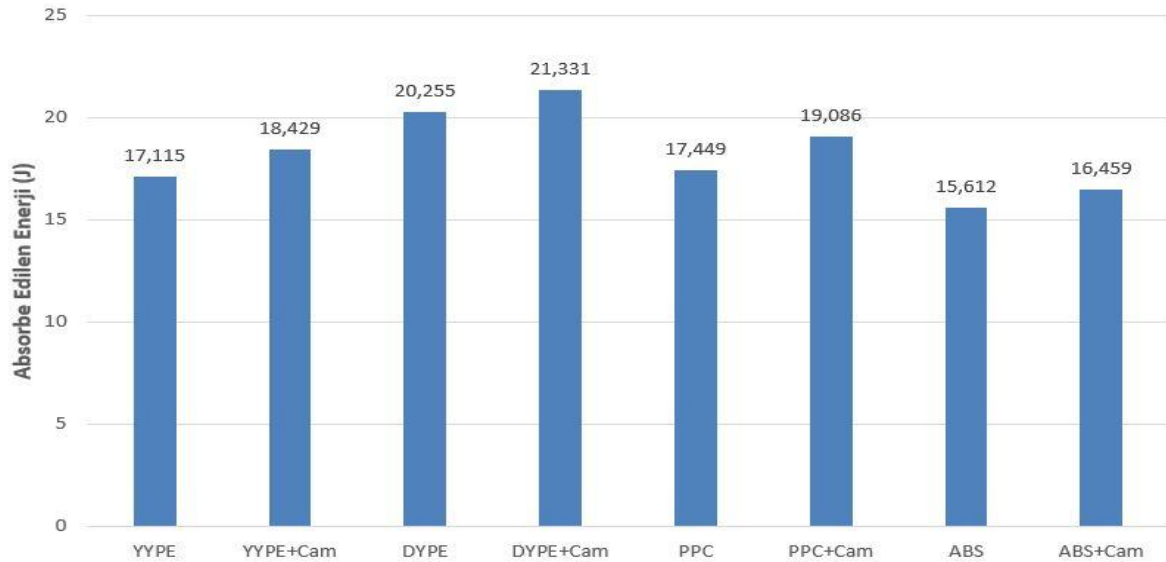
PPC malzemesine ait numunenin darbe dayanım değeri $54,23 \text{ kJ/m}^2$ olarak tespit edilmiştir. PPC+Cam elyaf malzemesinin darbe dayanımı değeri $73,68 \text{ kJ/m}^2$ olarak tespit edilmiştir. Kompozit malzemenin darbe dayanımı, PPC'nin darbe dayanım değerine göre % 35,86 oranında artmıştır.

ABS malzemesine ait numunenin darbe dayanım değeri $85,26 \text{ kJ/m}^2$ olarak tespit edilmiştir. ABS+Cam elyaf malzemesinin darbe dayanımı değeri $113,85 \text{ kJ/m}^2$ olarak sonuçlanmıştır. Kompozit malzemenin darbe dayanımı, ABS'nin darbe dayanım değerine göre % 33,53 oranında artmıştır. Cam elyaf malzemesinin rijitlik ve dayanımı iyileştirici özellikleri, takviye elemanı olarak kullanıldığı malzemelerde olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

4.3 Düşük Hızlı Darbe Deneyi

Düşük hızlı darbe deneyi cihazında 5,6 kg ağırlığında vurucu uç kullanılmıştır. İlk Çarpma hızı 3 m/sn olarak ayarlanmıştır. Düşük hızlı darbe deneyi sonuçları incelenerek malzemelerin sünekliği, kırılma hızı ve rijitlik özellikleri incelenebilir.

Düşük hızlı darbe deneyi sonuçları Şekil 4.3'te absorbe edilen enerji olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Absorbe edilen enerji

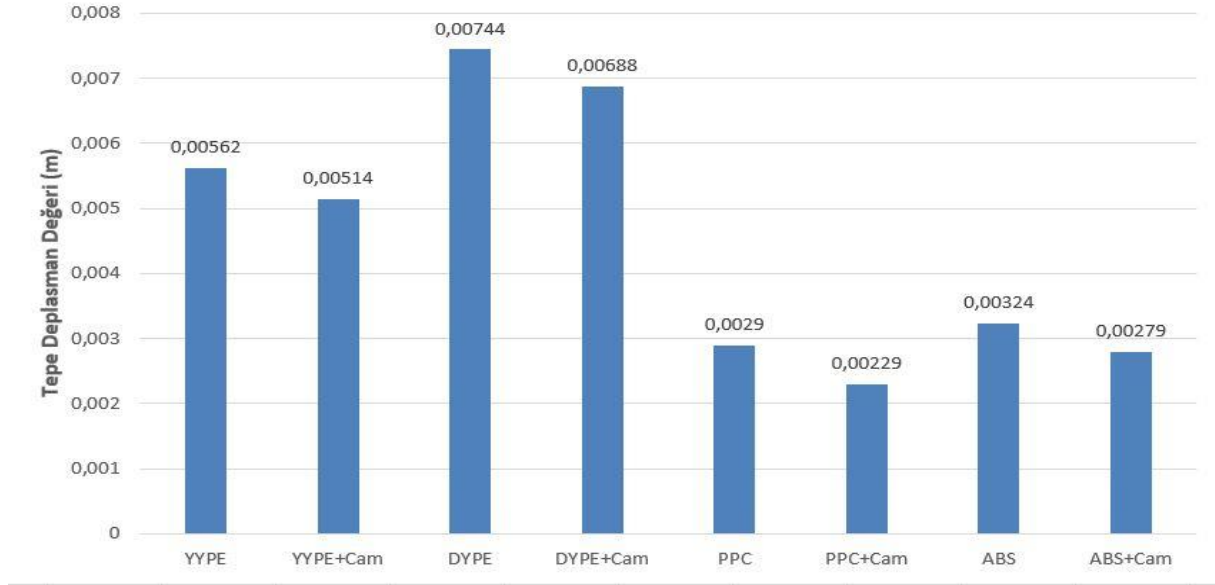
YYPE malzeme numunesinin absorbe ettiği enerji 17,115 J olarak sonuçlanmıştır. YYPE+Cam elyaf takviyeli malzeme numunesinin absorbe ettiği enerji 18,429 J olarak sonuçlanmıştır. YYPE+Cam elyaf takviyeli malzemenin absorbe ettiği enerji % 7,67 oranında artmıştır.

Diğer numunelerde incelendiğinde, DYPE malzeme numunesi 20,255 J, DYPE+Cam elyaf malzeme numunesi 21,331 J olarak testler sonuçlanmıştır. Burada DYPE+Cam malzemesinin %5,31 oranında daha fazla enerji absorbe edebildiği görülmüştür.

PPC malzeme numunesinin absorbe ettiği enerji 17,449 J olarak sonuçlanmıştır. PPC+Cam elyaf takviyeli malzeme numunesinin absorbe ettiği enerji 19,086 J olarak sonuçlanmıştır. PPC+Cam elyaf takviyeli malzemenin absorbe ettiği enerji % 9,38 oranında artmıştır.

Son olarakta ABS ve ABS+Cam elyaf kompozit malzemesi incelendiğinde, ABS malzeme numunesinin test değeri 15,612 J olarak sonuçlanmıştır. ABS+Cam elyaf malzemesine ait numunenin test sonuçları ise 16,459 J olarak sonuçlanmıştır. ABS+Cam elyaf takviyeli malzemenin absorbe ettiği enerji %5,42 oranında artmıştır. Kompozit malzemelerin absorbe ettiği enerjinin, cam elyaf takviyesiz malzeme numunelerine göre fazla olmasının nedeni, malzeme üzerinde cam elyaf takviyelilerde delaminasyon gerçekleşmesi neticesinde absorbe edilen enerjinin yüksek olduğu görülmüştür.

Saf malzemeler ile kompozitleri arasındaki farkları incelemek adına Şekil 4.4'te tepe deplasman değerleri grafiği de incelenmiştir.



Şekil 4.4. Tepe deplasman değeri

YYPE malzeme numunesi test sonucu değerinde tepe deplasman değeri 0,00562 m olarak sonuçlanmıştır. YYPE+Cam elyaf malzeme numunesi test sonucu değeri 0,00514 m olarak sonuçlanmıştır.

DYPE malzeme numunesinin değeri 0,00744 m, DYPE+Cam elyaf malzeme numunesinin değeri ise 0,00688 m olarak sonuçlanmıştır. PPC malzeme numunesinin değeri 0,0029 m, PPC+Cam elyaf malzemesinin numune değeri 0,00229 m olarak sonuçlanmıştır. ABS malzeme numunesinin değeri 0,00324, ABS+Cam elyaf malzemesine ait numunenin test sonucu değeri 0,00279 m olarak sonuçlanmıştır.

Bütün kompozit malzemelerde tepe deplasman değeri, saf halde bulunan malzeme numunelerine göre bir miktar azalmıştır. Tepe deplasman değerinde ki azalmanın nedeni cam elyaf malzemesinin darbe dayanımını artırması olarak gözlemlenmektedir. Böylelikle saf haldeki yapılarına göre daha az yerdeğiştirme sağlanmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİ

Bu çalışmamızda YYPE, DYPE, PPC, ABS malzemelerine ayrı ayrı takviye elemanı olarak cam elyaf kullanılarak, sıcak pres makinasında, 4 mm kalınlığında plakalar halinde kompozit malzeme ve karşılaştırma yapabilmek adına saf halde olacak şekilde numune üretimi gerçekleştirilmiştir. YYPE, YYPE+cam elyaf, DYPE, DYPE+cam elyaf, PPC, PPC+cam elyaf, ABS, ABS+cam elyaf malzemeleri ile birlikte toplamda sekiz malzeme için testler yapılmış ve mekanik özelliklerinin cam elyaf takviyesi ile değişimi araştırılmıştır.

Testlerde ilk olarak cam elyafın saf haldeki termoplastik malzemelerimiz YYPE, DYPE, PPC, ABS'ye takviye edilmesiyle mukavemette artış gerçekleşmiştir. Cam elyafın sahip olduğu gelişmiş mekanik özellikler testler neticesinde elde edilen verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Ayrıca rijit özelliğe sahip olmasından nedeniyle de takviye edildiği malzemelerin süneklik değerlerini iyileştirerek tok kompozit malzemeler olmalarına yardımcı olmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin testler sonucunda mekanik özellikleri incelendiğinde, çekme testlerinde ve charpy darbe deneylerinde cam elyaf takviyesinin tüm malzemelerde mukavemet değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Düşük hızlı darbe deneyi sonuçlarına göre cam elyaf takviyesinin absorbe edilen enerji miktarlarını arttırdığını, tepe deplasman değerlerini ise azalttığı sonucuna varılmıştır. Cam elyaf takviye miktarı artırılarak çok daha iyi mekanik özellik iyileştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca farklı üretim yöntemleri incelenerek, daha iyi üretimler ile mekanik özellikleri çok daha güçlü üretimler yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Sönmez M. (2009). Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye’den dört örnek firma üzerine bir inceleme. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
2. Bulut, M. (2014). Türkiye’de kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
3. Ramesh, M. vd. (2013). Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites. *Science Direct, Composites: Part B* 48, 1–9.
4. [E.P.Gellert](#). vd. (1999). Seawater immersion ageing of glass–fibre reinforced polymer laminates for marine applications. *Science Direct, Composites: Part A* 30, 1259-1265.
5. Joshi, S.V. vd. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Science Direct, Composites: Part A* 35, 371–376.
6. Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi* 29, 38-45.
7. Yüce, İ. (2007). Dairesel kompozit tabakalarda düşük hızlı darbe hasarının incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
8. Fidan, S. (2011). Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
9. Asmatulu, R., Khan, W. S. Ve Ghaddar, M. H. (2015). Investigating the surface free energy changes of uv-exposed nanocomposite coatings on carbon fiber and glass fiber-reinforced composites. *Journal of Research in Applied Sciences*, 2(4), 119-130.
10. İnkaya, S. (2011). Dünyada ve Türkiye’de kompozit sektörü. *Mühendis ve Makina*, 52(613), 30-34.
11. Kalemtaş, A. (2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. *Putech & Composites*, 18-30.
12. İnternet: Eker, A. A. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri. URL: <https://tr.scribd.com/document/329677429/METAL-MATR%C4%B0SL%C4%B0-KOMPOZ%C4%B0T-MALZEMELER-pdf>, Son Erişim Tarihi: 17.03.2018.
13. Şenel, M. C., Gürbüz, M. ve Koç, E. (2015). Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler. *Mühendis ve Makina*, 56(669), 36-47.
14. Kalemtaş, A. (2015). Seramik matrisli kompozitler. *Putech & Composites*, 20-26.
15. [Tepeduzu](#) B. (2019). Ballistic performance of ceramic/composite structures. [Ceramics International, Volume 45, Issue 2, Part A](#), Pages 1651-1660

16. Şahin S. (2015). Sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen levhaların şekillendirilmesi ve karakterizasyonu, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul
17. İnternet: Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması. URL: http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm#KOMPOZ%C4%B0T%20MALZEMELER%C4%B0N%20SINIFLANDIRILMASI, Son Erişim Tarihi: 26.03.2018.
18. Erem, A. D. ve Özcan G. (2013). Polimer esaslı nanokompozitler ve tekstil uygulamaları, *Tekstil ve Mühendis*, 20(89), 36-47.
19. Yenigün, E. Ö. (2017). Karbon nanotüp-polimer nanokompozitlerde çok boyutlu modelleme ile arayüz özelliklerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 503-511.
20. Kaştan, A. (2016). Polimerik malzemelerin darbe dayanımına nano katkıların etkisi. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4(2), 78-84.
21. Ajayan, P. M., Schadler, L. S. Ve Braun, P. V. (2003). Nanocomposite science and technology. ISBN: 3-527-30359-6.
22. Araujo, J.R., Waldman, W. R. ve De Paoli M. A. (2008). Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibers: Coupling agent effect. *Polymer Degradation and Stability*, 93(2008), 1770-1775.
23. Düşünceli, N. ve Çolak, Ö.Ü. (2007). İmalat yöntemlerinin yüksek yoğunluklu polietilen'in (yype) tek eksenli çekme davranışı üzerindeki etkisi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, (s.290-301) İstanbul.
24. Zeren, F. (2013). Değişik oranlarda nano ve mikro boyutlardaki CaCO_3 'ün yüksek yoğunluklu polietilenin özelliklerine etkilerinin incelenmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
25. Karakuş, R. (2017). Atık üre formaldehit katkılı polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin özellikleri. Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
26. Düşünceli, N. ve Çolak, Ö. Ü. (2007). İmalat yöntemlerinin yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) tek eksenli çekme davranışı üzerindeki etkisi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, S: 290-301.
27. Mirik, M. (2010). Karbon nanotüp takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) nanokompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
28. Tanın, M. (2016). Karbon nanotüp ve cam elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay
29. Rajneesh V. (2018). Characterization of Mechanical Properties of Short Kenaf Fiber-HDPE Green Composites. *Materials Today*, Volume 5, Issue 2, Part 1, Pages 3257-3264

30. Petkim. (2014) Termoplastics. http://www.petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun_katalogu.pdf adresinden erişildi. (ET: 08.04.2018)
31. Es, B. (2013). Alçak yoğunluklu polietilenin termal ve mekanik özellikleri.
32. Kılıçkalkan, S. (2012). Alçak yoğunluk polietilen plastik atıklar ile önişlemlili linyitlerin eş-pirolizi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
33. Altun, Y. (2015). Improvement of mechanical and flame retardancy properties of biocomposites based on low density polyethylene and polylactic acid. The degree of doctor of philosophy, Metu, Ankara.
34. Mutlu A. (2015). Jüt kumaş takviyeli polipropilen ve polietilen esaslı biyokompozitmalzemelerin üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi,Kayseri.
35. Kutlu, M. (2010). Göynük bitümlü şistinini polipropilen ve katalizör varlığında pirolizi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
36. Baydar, G. (2011). Production and characterization of continuous e-glass fiber reinforced polypropylene composites. Araştırma makalesi, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi.
37. P. Franciszcak (2019). The influence of matrix crystallinity on the mechanical performance of short-fibre composites – Based on homo-polypropylene and a random polypropylene copolymer reinforced with man-made cellulose and glass fibres. Composites, Part B 166(2019), Pages 516–526
38. A.R. Albooyeh (2019). The effect of addition of Multiwall Carbon Nanotubes on the vibration properties of Short Glass Fiber reinforced polypropylene and polypropylene foam composites. Polymer Testing 74 (2019), Pages 86–98.
39. Yuan Qin (2019). Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiberreinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete. Construction and Building Materials 194 (2019), Pages 216–225.
40. L.G. Blok. (2018). An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic Composites. Additive Manufacturing 22 (2018), Pages 176–186
41. Yasar, H. (1992). Plastikler Dünyası, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara
42. Erdem, S. (2008). Çatıda kullanılan polimer kökenli levhaların karşılaştırmalı analizi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
43. Evlen, H. (2018). Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi, Politeknik Dergisi, 21(3): 651-662

44. Pınar, E. (2010). Plastik enjeksiyon yöntemiyle imalatta hataların tespiti ve proses şartlarının optimizasyon uygulaması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
45. Mahesh T S. (2017). Statistical Optimization of Process Parameters on Mechanical Properties of Abs/Glass Composites. *Materials Today: Proceedings* 4, Pages 9542–9546
46. Bağcı, M. (2010). Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
47. James L. (2019). [A study of the thermal degradation of glass fibre sizings at composite processing temperatures.](#) *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 121, Pages 56-63.
48. G. Simeoli. (2019). [Comparison of falling dart and Charpy impacts performances of compatibilized and not compatibilized polypropylene/woven glass fibres composites.](#) *Composites Part B: Engineering*, Volume 165, Pages 102-108.
49. Dapeng Wang. (2019). Study on the long-term behaviour of glass fibre in the tensile stress field. *Ceramics International* 45 (2019), Pages 11578–11583
50. Yanyan Zhao. (2019). [Corrosion behaviour of low dielectric glass fibres in hydrochloric acid.](#) *Journal of Non-Crystalline Solids*, Volume 511, Pages 212-218

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : POLAT, Burak

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 12.07.1990, İskenderun

Medeni hali : Bekar

Telefon :

Faks :

E-mail : polatburak01@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Fırat Üniversitesi/ Mekatronik Mühendisliği	2012
Lise	İstiklal Makzume Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Limakport İskenderun Limanı	Mekanik Bakım Şefi
2015	AssanPort Liman İşletmeleri	Mekatronik Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

-

Hobiler

Sinema, Müzik, Basketbol

C

Cam elyaf, iv, xii, xiii, 1, 24, 25, 26, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 42

Ç

Çizelge, x

E

Elyaf, viii, x, xii, 16, 24, 26

H

hibrit, 15, 17

İ**İÇİNDEKİLER, ix****K**

kerpiç, 1, 2

Kompozit, iv, viii, 1, 3, 4, 6, 7, 9, 15, 16, 17, 21, 35, 37, 39, 40

korozyon direnci, 11, 12

M

malzeme, iv, 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37, 38

matris, iv, 1, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 23, 24

mukavemet, 1, 3, 4, 12, 16, 17, 19, 24, 25, 31, 33, 38

N

nanokompozit, 18

Ö

özelliik, 12

ÖZGEÇMİŞ, 43

P

partikül, 4, 10

plastik, iv, 1, 3, 9, 12, 17, 41

polietilen, viii, xiv, 1, 15, 21, 40, 41

polimer, iv, 1, 9, 12, 13, 21, 22, 40, 42

Polimer malzeme, 12

R

Resim, xii, 10, 15, 18

rijitlik, 3, 7, 24, 35

S

sektör, 2

Seramik, xi, 10, 11, 39

sıcaklık, 7, 12, 13, 14, 19, 26, 27, 28, 29, 30

Ş

Şekil, xi, 6, 9, 11, 13, 14, 15, 20

T

takviye, iv, 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 19, 23, 24, 26, 31, 33, 35, 38

Termoplastik, iv, 14, 16

TEŞEKKÜR, vi

Ü

üretim, 20

Y

Yüksek yoğunluklu polietilen, 19





TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

