



**SÜREKLİ ELYAFLARLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇEŞİTLİ
TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN
GELİŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Hilal Filiz ÖZTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÜR

KASIM-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ ELYAFLARLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇEŞİTLİ TERMOPLASTİK
KOMPOZİT MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

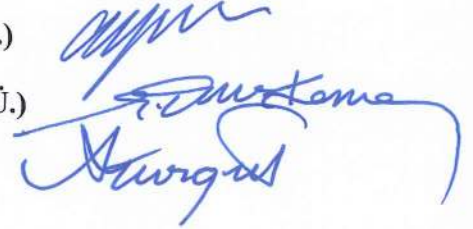
Hilal Filiz ÖZTEKİN

161120103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 TEMMUZ 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 08 KASIM 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÜR (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mete Onur KAMAN (F.Ü.)
Prof. Dr. Aydın TURGUT (B.Ü.)



KASIM -2019

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca edindiğimiz bilgi ve birikimi borçlu olduğumuz, kazandığımız mesleki sorumluluk ve etik anlayışıyla beraber bir mühendis bakış açısına sahip olmamız için gayretlerini hiç esirgemeyen, tez çalışmam da öncülük eden Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca aldığım dersler ve özellikle tez çalışmamın şekillenmesinde her türlü bilgi ve tecrübesiyle yardım ve desteklerini hiç esirgemeyen Hocam Prof. Dr. Mete Onur KAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Yardımları için Hocalarım Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ ve Prof. Dr. Aydın TURGUT ve Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN'e teşekkür ederim. Laboratuvaradaki çalışmalarım esnasında her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Serkan ERDEM hocama teşekkür ederim.

Hayatımın her safhasında maddi-manevi, destek, anlayış, saygı ve dualarını eksik etmeyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

Hilal Filiz ÖZTEKİN

Makine Mühendisi

Elazığ- 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması	1
2. TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. Plastik Matrisli Kompozit Üretimde Kullanılan Malzemeler	4
2.1.1. Termoplastik Malzemeler	4
2.1.1.1. Termoplastik Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezantajları.....	4
2.1.2. Polipropilen (PP).....	5
2.1.2.1. Polipropilenin Kullanıldığı Alanlar	6
2.1.2.2. Teknik Özellikleri	7
2.1.3. Polietilen	8
2.1.3.1. Polietilenin Özellikleri	9
2.1.3.2. Polietilenin Çeşitleri.....	9
2.1.3.2.1. Yüksek Yoğunluklu Polietilen	9
2.1.3.2.2. Düşük Yoğunluklu Polietilen	10
2.1.3.2.3. Çizgisel Düşük Yoğunluklu Polietilen	10
2.1.3.2.4. Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen	10
2.1.4. Poliamid	10
2.1.4.1. Poliamid Kullanım Alanları.....	11
2.2. Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları	13
2.2.1. Cam Elyaflar	13
2.2.1.1. Cam Elyaf Çeşitleri.....	14
2.2.2. Karbon Elyaflar	15

2.2.2.1. Karbon Elyaf Sınıfları.....	16
2.2.2.2. Grafite göre Karbon Elyaf Özellikleri	16
2.2.2.3. Karbon Elyafların Avantajları.....	17
2.2.2.4. Karbon Elyafların Dezavantajları	17
2.2.3. Bor Elyafları.....	17
2.3. Uygulama Alanları.....	19
2.3.1. Havacılık Sanayi	19
2.3.2. Otomotiv Endüstrisi	21
2.3.4. İnşaat Sektörü.....	21
2.3.5. Deniz Endüstrisi	22
2.3.6 Elektrik-Elektronik Sanayi.....	22
2.3.7. Spor Aletleri.....	23
2.5. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	23
2.5.1. El yatırma	23
2.5.2. Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)	24
2.5.3. Profil Çekme / Pultrüzyon.....	25
2.5.4. Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Winding).....	25
2.5.5. Reçine Transfer Kalıplama (RTM / Reçine Enjeksiyonu).....	26
2.5.6. Sıcak presleme yöntemi	27
2.5.7. Toz metalürjisi yöntemi	27
2.5.8. Sıvı metal emdirme yöntemi	28
2.5.9. Elektroliz yöntemi	28
2.5.10. Buhar çökeltme yöntemi	28
2.5.11. Haddelme yöntemi	28
2.5.12. Basınçlı Kalıplama Yöntemi	28
2.5.13. Yeniden İşlenebilirlik.....	29
2.5.14. Yüksek Performanslı Kompozit Üretimi	30
3. MATERYAL VE METOT	32
3.1. Termoplastik Kompozit Plak Üretimi.....	32
3.2. Kalıp imalatı	32
3.3. Polietilen Plak Üretimi.....	34
3.4. Polietilen Matrisli Cam Ve Hibrit Kumaş Takviyeli Kompozit Plak Üretimi	36
3.4.1. Deney numunelerinin hazırlanması.....	38

3.4.2. Deney numunelerine çentik açılması	39
3.5. Gerilme Şiddet Faktörü Çözümleri.....	40
3.5.1. Merkezinde çatlak bulunan numune	40
3.5.2. Tek Tarafı Çentikli Numune	41
4. SONUÇLAR.....	43
4.1. Üç Tabakalı Polietilen Plâğın Çekme Testi.....	44
4.2. Çentikli 3 Tabakalı Polietilen Plâğın Çekme Davranışı	45
4.3. Üç Polietilen Matrisli İki Cam Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Davranışı	45
4.4. Çentikli 3 Polietilen Matrisli 2 Cam Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi	46
4.5. Üç Polietilen Matrisli Dört Cam Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi..	47
4.6. Üç Polietilen Matrisli İki Hibrid Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi.	50
4.7. Üç Polietilen Matrisli Dört Hibrid Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi	52
4.8. Çentikli Üç Polietilen Matrisli Dört Hibrid Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi	52
4.9. 3 Polietilen Matrisli Kompozit Plâğa 4 Tabakalı Cam ve Hibrid Fiber Takviyesinin Etkisinin Karşılaştırılması	55
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65

ÖZET

Termoplastik kompozit malzemeler, Teknolojide kullanılan malzemeler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Termoplastik kompozit malzemeler özellikle özgül mukavemetinin yüksek oluşu, kolay şekil verilebilirliği ve geri dönüşüm özelliği nedeniyle önemli bir malzemedir. Çalışmada kullanılan termoplastik kompozit malzemeler laminasyon tekniği ile üretilerek elde edilmiştir. Kompozit üretimi, kompozit malzemenin sıcak preste belirli süre bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu yapı, arasına uygun şekilde cam elyaf ve karbon elyaf dizilmiş levhalardan oluşturulmuştur. Üretilen malzemelerden; çekme ve çentik darbe numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler teste tabi tutulup tabakaların sayısı arttırılarak deneyler tekrarlanmıştır. Tabaka sayısı arttıkça termoplastik kompozitlerde elastisite modülü ve hasar yükü artmış, buna bağlı olarak şekil değiştirmelerde de bir artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoplastik kompozit malzemeler, çekme testi, cam elyaf, polietilen, hibrit kumaş

SUMMARY

Development of Various Thermoplastic Composite Materials Reinforced with Continuous Fibers and Investigation of Their Mechanical Properties

Thermoplastic composite materials, a variety of materials used in technology. Thermoplastic composite materials are especially important due to their high specific strength, easy formability and recycling properties. Thermoplastic composite materials used in the study were produced by laminating technique. Composite production was realized by holding the composite material in hot press for a certain period of time. This structure is formed from sheets of glass fiber and carbon fiber lined up accordingly produced materials; tensile and notch impact samples were prepared. The samples were tested and the experiments were repeated by increasing the number of layers. As the number of layers increased, modulus of elasticity and damage load increased in thermoplastic composites, and consequently an increase in deformations was observed.

Keywords: Thermoplastic composite materials, polythene, tensile test, glass fiber, hybrid fabric

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Polipropilen granülleri.	5
Şekil 2.2. Polipropilenin kimyasal formülü.....	7
Şekil 2.3. Polietilenin kimyasal formülü	9
Şekil 2.4. Polyamidin kimyasal formülü	11
Şekil 2.5. Cam elyaf	14
Şekil 2.6. Karbon elyaf.....	16
Şekil 2.7. Bor elyafın ve diğer bazı malzemelerin basma mukavemetinin karşılaştırılması	18
Şekil 2.8. Bor elyaf ile diğer malzemelerin esneme katsayısının karşılaştırılması.	18
Şekil 2.9. Fiber takviyeli termoplastiklerin havacılıkta yeri.	20
Şekil 2.10. A350XWB yolcu uçağı gövde klipleri.....	20
Şekil 2.11. Otomotiv sektöründe termoplastik malzemeli ürünler.....	21
Şekil 2.12. İnşaat sektöründe termoplastik malzemeli ürünler.	22
Şekil 2.13. Termoplastik malzemeye üretilmiş elektrik armatörleri.	22
Şekil 2.14. Termoplastik malzemeye üretilmiş bir bisiklet.....	23
Şekil 2.15. El ile yatırma yöntemi.	24
Şekil 2.16. Püskürtme yöntemi.	24
Şekil 2.17. Profil çekme yöntemi üretim Şeması.	25
Şekil 2.18. Elyaf Sarma yöntemi.....	26
Şekil 2.19. RTM yöntemi.	26
Şekil 2.20. Toz metalürjisi üretim yöntemi şeması.	27
Şekil 2.21. Basınçlı Kalıplama Yöntemi	29
Şekil 2.22. Yüksek Performanslı Kompozit Malzemenin Üretim Şeması	30
Şekil 3.1. Kalıbın ebatları.....	32
Şekil 3.2. Kalıbın montaj hali.....	33
Şekil 3.3. Polivaks Sürülerek parlatılmış kalıp	33
Şekil 3.4. Kalıp içerisine serilmiş granül polietilen	34
Şekil 3.5. Kalıpta ki et kalınlığını ayarlama işlemi	34
Şekil 3.6. Sıcaklık kontrollü fırına konulmuş kalıp	35
Şekil 3.7. Mengeneyle sıkıştırılmış kalıp içerisinde ki erimiş granüllerin soğutulması.....	35
Şekil 3.8. 200x150x1.5 mm boyutlarında polietilen plak	36

Şekil 3.9. Kalınlığı 0.5 mm olan polietilen plak	36
Şekil 3.10. Tabakalı kompozit plak sıralaması	37
Şekil 3.11. Cam elyaf ile kompozit plak üretim aşama sıralaması.....	38
Şekil 3.12. Cam fiber ve hibrid fiber takviyeli kompozit plak.....	38
Şekil 3.13. Sulu mermer kesme makinesi ile deney numunesinin kesilmesi	39
Şekil 3.14. Kıl testere makinesi.....	39
Şekil 3.15. Kıl testeresiyle çentik açılmış numuneler	40
Şekil 3.16. Merkezinde çatlak bulunan sonlu kalınlıkta sonsuz levha.....	41
Şekil 3.17. Tek tarafı çentikli numune	41
Şekil 4.1. Çekme testinde kuvvet - yer değiştirme grafiği	43
Şekil 4.2. Deney numunelerinin ebatları	44
Şekil 4.3. Üç tabakalı polietilen numunelerin kuvvet-yer değiştirme grafiği	44
Şekil 4.4. Üç tabakalı çentikli polietilen plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği	45
Şekil 4.5. Üç polietilen matrisli İki cam fiber takviyeli kompozit (3PE+2GF) plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği	46
Şekil 4.6. Çentikli 3 polietilen matrisli 2 cam fiber takviyeli kompozit plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	46
Şekil 4.7. Üç polietilen matrisli dört cam fiber takviyeli kompozit (3PE+4GF) plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği	47
Şekil 4.8. Çentikli 3 polietilen matrisli 4 cam fiber takviyeli kompozit (3PE+4GF) plağın kuvvet yer değiştirme grafiği.....	48
Şekil 4.9. Polietilen matrisli kompozit plağa cam fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Maksimum yer değiştirmeye etkisi	48
Şekil 4.10. Polietilen matrisli kompozit plağa cam fiber kumaş takviyesinin elastisite modülüne etkisi.....	49
Şekil 4.11. Çentikli polietilen matrisli kompozit plağa cam fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Gerilme Şiddet faktörüne etkisi	50
Şekil 4.12. Üç polietilen matrisli iki hibrid fiber takviyeli kompozit plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	51
Şekil 4.13. Çentikli 3 polietilen matrisli 2 hibrid fiber takviyeli kompozit (3PE+2HB) plağın kuvvet yer değiştirme grafiği.....	51
Şekil 4.14. Üç polietilen matrisli dört hibrid fiber takviyeli kompozit (3PE+4HB) plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği.	52

Şekil 4.15. Çentikli 3 polietilen matrisli 4 hibrid fiber takviyeli kompozit (3PE+4HB) plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği.	53
Şekil 4.16. Polietilen matrisli kompozit plağa hibrid fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Maksimum yer değiştirmesine etkisi	53
Şekil 4.17. Polietilen matrisli kompozit plağa hibrid fiber kumaş takviyesinin, elastisite modülüne etkisi.....	54
Şekil 4.18. Çentikli polietilen matrisli kompozit plağa hibrid fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Gerilme şiddet faktörüne etkisi.....	55
Şekil 4.19. 3 Tabakalı polietilen matrisli kompozit plağa 4 tabakalı cam ve hibrid fiber takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Maksimum yer değiştirmeye etkisi	56
Şekil 4.20. 3 Tabakalı polietilen matrisli kompozit plağa 4tabakalı cam ve hibrid fiber kumaş takviyesinin, elastisite modülüne etkisi.....	57
Şekil 4.21. Çentikli 3 tabakalı polietilen matrisli kompozit plağa 4 tabakalı cam ve hibrid fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Gerilme Şiddet faktörüne etkisi	58

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Polipropilen Malzemesinin Kimyasal Özellikleri.	8
Tablo 2.2. PA6 ve PA66 arasındaki temel farklılıklar.	12
Tablo 2.3. Poliamidlere katkı ve dolgu malzemeleri katılarak geliştirilmiş özellikleri.	12
Tablo 2.4. Polyamidin genel özellikleri.	13
Tablo 2.5. Kompozitler de kullanılan bazı seramik elyafların mekanik ve fiziksel özellikleri.	19



SEMBOLLER LİSTESİ

C	: Çatlak geometrisine ve numune boyutlarına bağlı değişken
E	: Elastisite modülü
K	: Gerilme yoğunluk faktörü
N	: Kuvvet
P	: Basınç
P	: Yük
T	: Sıcaklık
t	: Et kalınlığı
V	: Akışkan hızı
P	: Yoğunluk:
°C	: Sıcaklık derecesi (santigrat derece)
ε	: Eksenel şekil değiştirme oranı
σ	: Gerilme
Δl	: Yer değiştirme uzunluğu
ΔK	: Gerilme yoğunluğu aralığı
σ_T	: Teorik kırılma mukavemeti
α	: Eğim

KISALTMALAR LİSTESİ

- HB** : Hibrit
GF : Glas Fiber (Cam Elyaf)
PE : PoliEtilen
PP : PoliPropilen



1. GİRİŞ

Geçmişten bugüne en çok kullanılan malzemeleri dört gruba ayrılabilir bunlar; metaller, polimerler, kompozitler ve seramiklerdir. Bu malzemeler arasında, son yıllarda kompozit malzemelere olan ilgi teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan gereksinimler dolayısıyla artmıştır. Kompozit malzemeler geniş kapsamlı malzeme grubudur. Kompozit malzeme iki ya da daha fazla malzemenin, istenilen özellikler doğrultusunda, belli şartlar ve oranda malzemelerin makro yapıda birleştirilmesiyle elde edilir. Yüksek performans gerektiren uygulamalarda ağırlık/dayanım oranının etken olduğu uygulamalarda artan bir biçimde kullanılmaktadır. Bunun sebebi olarak özgül mukavemetin yüksek oluşu, üstün fiziksel ve kimyasal özellikler ve oldukça hafif olmaları gösterilebilir.

İnorganik takviye elemanlarının kullanıldığı bu çalışmada, polietilen (PE), polipropilen (PP) ve poliamid termoplastikleri temel malzeme olarak seçilmiştir. Üretim yöntemi olarak önce termoplastik malzemeleri eritilerek 150x200x5 mm boyutlarında plaka basınçlı kalıplama yöntemi ile imal edilmiştir. İnorganik takviye olarak karbon ve cam elyaf kullanılarak üretilen yeni malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Termoplastik kompozit malzemeler diğer kompozit malzemeler ile kıyaslandıklarında daha yeni malzemelerdir. Birden fazla avantaja sahip olan termoplastik kompozit malzemeler ile ilgili çalışmalara son yıllarda araştırmacılar yoğunluk vermişlerdir.

Moussavi-Torshizi vd. yeni geliştirdikleri lamina düzene sahip kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Üretilen laminalar 3 katmanlı olup, 4 katmanlı olanlarda dışında alüminyum tabaka kullanılmıştır. Bu katmanlar sırasıyla glass/epoksi, karbon/epoksi ve glass/epoksi tabakalardan oluşmaktadır. Çalışmada tabakalar içerisinde bulunan fiberlerin doğrultuları değiştirilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır [1].

Kansu yaptığı çalışmada farklı yapı ve içeriklerdeki inorganik maddelerin ayrıca bu maddelerin karışımlarının polipropilen malzeme yapısına katılarak elde edilen kompozitte fiziksel ve mekanik özellikleri incelemiştir. Enjeksiyon yöntemiyle elde edilen numunelerde %10, 20, 30, 40 ağırlık oranlarını kullanmış ve elde edilen ürünlerdeki fiziksel ve mekanik özelliklerin değişimlerini incelemiştir [2].

Bitirgiç. Polipropilen malzemeyi inorganik takviye malzemesi olan cam elyaf kullanıp enjeksiyon üretim yöntemiyle kompozit malzeme üretmiştir. Ayrıca başka bir termoplastik olan ABS malzemesini de içeren örnekler de hazırlayıp çeşitli mekanik testlere tabi tutmuştur. Elde edilen sonuçlarda cam elyaf takviye oranı arttıkça eğme ve çekme dayanımında artışı gözlemlerken ABS içeren örneklerde dayanım artışının kısmi ölçekte kaldığını tespit etmiştir [3].

Russo vd. tarafından bu çalışmada 0/90 cam fiber doğrultulu polipropilen matrisli termoplastik kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Literatürde aynı matris ve fibere sahip kompozit malzemelerden farklı olarak bu çalışmada fiber ile matris arasındaki uyumu artırıcı polybond 3200 (Maleik Anhidrid) malzemesinin yanı sıra fiberlere aminosilan kaplanmıştır. Çalışmada aminosilan içerikli kompozit malzeme ile aminosilan içermeyen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla eğilme ve düşük hızda çarpışma testleri yapılmıştır. Eğilme ve düşük hızda darbe deneyleri sonucunda aminosilan içerikli polipropilen termoplastik kompozit malzemelerin en yüksek gerilme ve en iyi darbe direncine sahip malzeme olduğu görülmüştür [4].

Baydar vd. tarafından polipropilen matrisli sürekli cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretilip, üretilen malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleme amacıyla çekme testi uygulanmıştır. Bu çalışmada cam elyaf ile PP matris arasındaki uyumu iyileştirmek amacıyla akış ve mukavemet özellikleri birbirinden farklı iki farklı maleik anhidrit kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda uyumlaştırıcı kullanılan kompozit malzeme mukavemetinin uyumlaştırıcı kullanılmayan kompozit malzeme mukavemetine göre % 65 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca kullanılan maleik anhidrit özelliklerinin kompozit malzeme mukavemetine etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır [5].

Razavi vd. pirinç kabuğu takviyeli PP üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 10 ile 40 arasında ağırlıkça takviye edilen PP esas malzemesine çekme, eğme ve darbe deneyleri uygulanmıştır. Takviye oranına bağlı olarak sundukları sonuçlarda çekme dayanımı için artan takviye oranıyla düşme eğilimini gözlemlemişlerdir. Eğme dayanımı düşük miktarda artarken, elastikiyet modülü ve eğme modülü artan takviye oranı ile sırasıyla yaklaşık 45% ve 100% oranlarında artmıştır. Darbe dayanımının da incelendiği çalışmada takviyesiz malzemeye azalış olduğunu ifade etmişlerdir[6].

Fu vd. kısa karbon ve cam elyaf takviyeli PP üzerine yaptıkları çalışmada üretim yöntemi olarak enjeksiyonu kullanmışlardır. 25%'e kadar olan farklı ağırlıkça oranlarda takviyeler kullanılan çalışmada çekme testi uygulanmış olup ayrıca elyaf kırılmaları ve bunların etkileri incelenmiştir. Takviye oranlarına bağlı olarak çekme dayanımı ve elastiklik modülünde artış gözlemlenirken düşük oranlarda yüksek artış olduğu belirtilmiştir. Karbon elyafta bu oran 70% düzeyindeyken, cam 4 elyafta 50% düzeyindedir. Elyaf kırılmalarının artan elyaf oranıyla arttığının belirtildiği çalışmada dayanımın nispeten azalması da buna bağlanmıştır [7].

Hüner. Farklı üretim yöntemleri kullanılarak doğal ve yapay takviye içeren termoplastik esaslı kompozitler üretilmiştir. Elde edilen malzemelere mekanik testler uygulanmış olup ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur [8].

Suresh vd. tarafından cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli termoplastik kompozit malzemelerin üretim parametreleri deneysel tasarım yöntemi yardımıyla belirlendi ve mekanik özellikleri çekme ve eğilme deneyleri ile belirlendi. Üretim parametreleri olarak 4-9 MPa arası basınç değerleri ve % 5 - %10 arası bağlayıcı konsantrasyonu belirlendi. 7 MPa basınç değeri ve % 8 bağlayıcı konsantrasyon yüzdesi ile üretilen kompozit malzemelerin en yüksek çekme ve eğilme gerilmesine sahip oldukları görüldü [9].

Boria vd. Son yıllarda otomotiv endüstrisi alanında mevcut yapıların mukavemet değerleri korunarak hafif araçların üretilmesi ve buna bağlı olarak CO₂ salınımı, yakıt tüketimi gibi sektörel hedefler amacıyla bu yapıların üretilmesi ve geliştirilmesi adına önemli çalışmalar yapılmıştır [10].

Gür vd. Farklı oryantasyon açılara sahip tabakalı kompozit yapının eksenel çekme yükü altındaki davranışlarını deneysel olarak belirlendi, matriks malzemesi olarak polyester reçine, takviye malzemesi olarak ise 0.3-0.4 mm çelik telden oluşan 2 farklı takviye kullanıldı. Takviye malzemesinin kesiti ve oryantasyon açıları değiştirilerek plaka üzerinde oluşan gerilme ve uzamalar incelenmiştir [38].

Yapılan çalışmada inorganik takviye olarak hibrit ve cam elyaf tercih edilmiş olup üretilen yeni malzemede çekme testi ve çetikli darbe numuneleri hazırlanmıştır. literatürden farklı olarak, iki elyaf türünü (cam fiber ve hibrit fiber) iki ayrı elyaf miktarı ile karşılaştırma yapılarak hasar yüklerine, yer değiştirme miktarına ve elastise modülleri arasındaki farka bakılmıştır.

2. TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Plastik Matrisli Kompozit Üretimde Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Termoplastik Malzemeler

Termoplastikler basınç ve ısı uygulandığında kolaylıkla şekil değiştiren, eriyen, akıcı özellikte olan istenildiği şekli alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Termoplastik malzemeler lineer polimerler grubuna dâhil olduğundan defalarca kullanılabilme özelliğine sahiptirler. Eritildiğinde fiziksel değişime uğrarlar fakat kimyasal yapılarında herhangi bir değişim gerçekleşmez. Termoplastikler, birden fazla ısıtma ve soğutma işlemi gerçekleştirilerek kalıplanabilir. Bunun sebebi termoplastik malzemenin molekül yapısıdır. Termoplastik malzemelere termal enerji uygulandığında atom zincirleri birbiri üzerinden kayarlar.

2.1.1.1. Termoplastik Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Termoplastik kompozit malzemeler birçok endüstriyel alanda termoset kompozit malzemeler yerine tercih edilmektedir. En çok uçak ve otomotiv sanayisinde kullanılmaktadır. Günümüz sanayisinde en fazla kullanılan termoplastik kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

Termoplastik kompozit malzemelerin avantajları;

- Termoplastik malzemeler yüksek özgül mukavemet değerlerine sahip olması ve geri dönüşebilir olması
- Proses süreci genelde çok kısa olması
- Yüksek sıcaklıklarda biçim ve şekil verme esnekliği
- Proses sırasında kimyasal bir reaksiyon olmaması bu nedenle yüksek hacimli üretim metotları için kullanılabilir olması
- Yüksek tokluk ve darbe dayanımları

Termoplastik kompozit malzemelerin dezavantajları;

- Termoplastik kompozitlerin üretiminde ısı ve basınç uygulamak için nitelikli donanım gerekmektedir. Ayrıca sıcaklık ve basınç uygulamak için gerekli ekipmanlara ihtiyaç vardır.
- Termoplastik kompozit malzemelerde elyaf termoset kompozit malzemelere oranla daha zor ıslanmaktadır. Bu durumda meydana gelebilecek mekanik özellik kaybını önlemek için farklı ıslatma yöntemleri uygulanmalıdır.

2.1.2. Polipropilen (PP)

Polipropilen çok amaçlı bir termoplastiktir. Birçok uygulamada tercih edilen bu polimer kimyasal dayanımının yüksek oluşu, mekanik özelliklerinin iyi olması ve maliyetinin düşük olması gibi özelliklere sahiptir. İstenilen mekanik özelliklerin elde edilmesi için. Polipropilenin mekanik özelliklerini iyileştiren çeşitli yollar vardır. Düşük maliyetli yüksek mekanik özellikler elde etmek için, cam elyaf, karbon elyaf, doğal lif gibi çeşitli takviye ve dolgu malzemeleri polipropilenin içine katılabilmektedir. Takviye malzemeleri darbe dayanımı, ısıl çarpılma dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri ve termal enerjisinin özelliklerini iyileştirme eğilimindedirler. Şekil 2.1 de polipropilen granül çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Polipropilen granülleri.

Polipropilen hafif bir plastik malzemedir. Nispi yoğunluğu 0.905 g/cm^3 d r. Kırık beyaz renginde sert bir malzeme olup mekanik özellikleri yüksektir. Çekme dayanımı 350 kgf/cm^2 civarındadır. Mekanik özelliklerini kısmen sıcaklık yükseldiğinde de korur. Darbe dayanımı yüksek olmasıyla beraber sıcaklıkların düşük olduğu yerlerde, üretim ve deney şartlarına göre de değişiklik gösterirler. Polipropilen, kristalin erime noktasına sahiptir. Bu sebeple sıcaklık yükseldikçe, çok iyi olan mekanik özelliklerini kaybetmemektedir. Saf polipropilenin yumuşama sıcaklığı $145\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında erime noktası $176 \text{ }^\circ\text{C}$ ’ dir.

2.1.2.1. Polipropilenin Kullanıldığı Alanlar

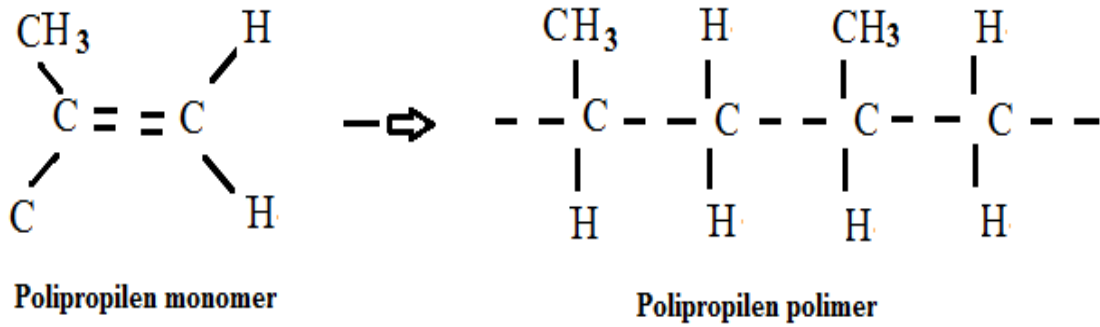
- Bahçe mobilyası
- Beyaz eşya gövdesi
- Vantilatör fanı
- Deterjan gözü
- Çamaşır makinesi kazanı
- Elektrikli aletler
- Valiz
- Bavul
-  anta
- Tra  kremi tüpleri
- Steril sağlık gereçleri
- Plastik raf
- Hava filtresi
- Plastik kaplar
-  işeler
- Gösterge tabloları
- G ne lik
- Test tüpleri
- Taşıma kapları
- Depolama kapları
- Kasa
- Bant

- Şeffaf ambalaj
- Termos [11].

2.1.2.2. Teknik Özellikleri

- Düşük özgül ağırlığı, suda yüzebilir.
- Yüksek kimyasal dayanım
- Yüksek elektriksel dayanım
- Yüksek çekme dayanımı
- Düşük aşınma dayanımı
- Düşük atmosferik etkilere dayanım
- Kaynakla birleştirilebilme
- Gıda ile temasa uygundur [12].

Şekil 2.2'de Polipropilenin monomer ve polimer kimyasal formülü gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Polipropilenin kimyasal formülü [13].

Polipropilen malzemesinin kimyasal özellikleri aşağıdaki tablo 2.1. de verilmiştir.

Tablo 2.1. Polipropilen Malzemesinin Kimyasal Özellikleri [14].

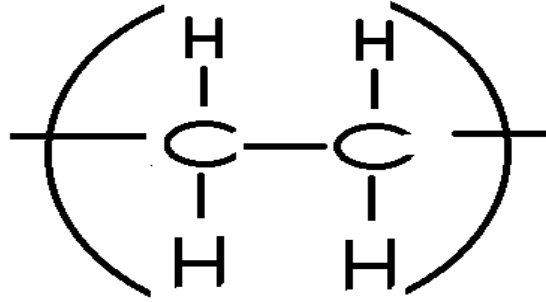
	Birim	Test Metodu ISO	Değer
Genel Özellikleri			
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	1183	0.92
Su Emme(Doymuş)	%	62	0.1
Mekanik Özellikleri			
Çekme Dayanımı	kg/cm ²	527	300
Elastisite Modülü	MP _a	527	1250
Kopma Uzaması	%	527	>50
Darbe Dayanımı (İzod Çentikli)	kJ/m ²	180	7
Sertlik	Shore D	868	70
Termal Özellikleri			
Maksimum Sürekli Çalışma Sıcaklığı	°C	–	100
Minimum Sürekli Çalışma Sıcaklığı	°C	–	5
Isı Genleşme Katsayısı	1/°C	11359	1.6 x 10 ⁻⁴
Elektriksel Özellikler			
Dielektriksel Dayanımı	kv/mm	60243	55

2.1.3. Polietilen

Polietilen; darbe dayanımı çok yüksek olan, sürtünme katsayısı düşük, kimyasal dayanımı yüksek, aşınma direnci, su emmeme, geniş çalışma sıcaklığı, kendinden yağlama özelliği, kolay işlenebilirliği, bakteri üretmeme ve kolay temizlenebilme özelliği olan bir termoplastik türüdür. Makine sanayinde sürtünme plakaları, dişli çark yapımında, kömür ve maden sanayinde; bunker, tank ve siloların kaplanması, gıda ve ambalaj sanayinde; et, balık, kesme masası olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde kullanım alanı olarak en fazla tercih edilen termo-plastiklerden biri Polietilendir ve toplam plastiklerin % 40'ı kadar bir üretim oranına sahiptir. Çeşitli yoğunluk seviyelerine göre farklılık arz eden polietilenin dört gruba ayrılır ancak yaygın olarak tercih edilen çeşitleri alçak ve yüksek yoğunluklu olanlarıdır. Erimeye başlama

sıcaklık noktası 125 °C- 135 °C dir. Aşağıdaki Şekil 2.3’de polietilenin kimyasal formülü verilmiştir.



Şekil 2.3. Polietilenin kimyasal formülü

2.1.3.1. Polietilenin Özellikleri

Dışarıdan gelebilecek darbelere karşı dayanıklıdır. Dallanma özelliğine göre sert veya yumuşak üretilebilir. Neme olan dayanıklılığı sayesinde nemli işlerde kullanılabilir. Genellikle, sıvı maddelerin paketlenmesinde kullanılır. Tuz ruhu ve çamaşır suyu gibi tahriş edici özelliği fazla olan kimyasalların paketlenmesinde kullanılır. Sert ve dayanıklı olanlar, tahriş gücü yüksek kimyasallar için kullanılabilir.

2.1.3.2. Polietilenin Çeşitleri

2.1.3.2.1. Yüksek Yoğunluklu Polietilen

Yüksek yoğunluklu polietilen kimyasal özellikleri bakımından saf polietilene en yakın olan çeşittir. Bu tür çizgiselliği bozan çok az kusur içeren dallanmamış moleküller içermektedir. Küçük kusurların düzeni çok düşük seviyede bozmasına rağmen kristalizasyon yüksek seviyede elde edilebilir ve sonuçta yüksek yoğunluk polietilen elde edilmiştir. Bazı polietilen plastiklerinde kristalleştirme seviyesini arttırmak için düşük alken konsantrasyonlarında ikincil bir polimerleştirme yapılmaktadır. Yüksek yoğunluk polietilenin yoğunluğu yaklaşık olarak 0.94 ile 0.97 g/cm³ arasındadır.

Dallanmanın çok düşük kaldığı durumlarda yüksek yoğunluk polietilene çizgisel polietilen de denir [15].

2.1.3.2.2. Düşük Yoğunluklu Polietilen

Alçak yoğunluk polietilen kristalleşme sürecinde, yoğunluğu düşüren dayanıklı dallanmalar içeren polimer yapısının oluşması, alçak yoğunluklu polietilen olarak adlandırılmasının sebebidir. Dallanmalar etil ve bütül gruplarını öncelikli olarak içerir. Uzun zincirli dallanmalar uzun ana zincirde rastgele aralıklarla oluşur. Düşük yoğunluk polietilenin yoğunluğu ortalama olarak 0.90 ile 0.94 g/cm^3 arasındadır [15].

2.1.3.2.3. Çizgisel Düşük Yoğunluklu Polietilen

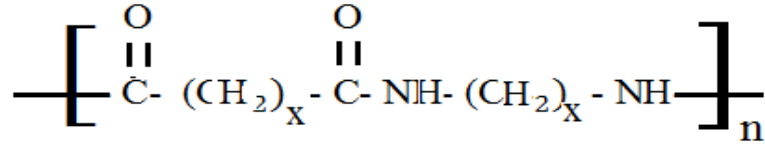
Ana hatta rastgele aralıklardaki kısa Alkali gruplara bağlı çizgisel polietilen gruptur. Bu madde etilen bir alken ile ikincil polimerleşmesi sonucu meydana gelir. Yoğunluğu yaklaşık olarak 0.90 ile 0.94 g/cm^3 arasındadır [15].

2.1.3.2.4. Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen

Çok düşük yoğunluk polietilenin biraz daha fazla kısa zincirli dallanmalar içeren polietilen çeşididir. Yoğunluğu yaklaşık olarak 0.86 ile 0.90 g/cm^3 arasındadır [15].

2.1.4. Poliamid

Endüstriyel alanda çeşitli uygulama sahalarına sahip poliamid, kalıplama, ekstrüzyon, çözelti, kaplama ve döküm gibi yöntemlerde kullanılır. Tüm poliamid çeşitlerinin ortak özelliklerinden birisi elyaf ve takviye malzemelerle kuvvetlendirilebilir. Bu nedenle kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Poliamid 6 çeşitleri arasında en kolay şekil alma özelliğine sahip olan kristalin termoplastiktir. Poliyemidin kimyasal formülü Şekil 2.4 de verilmiştir.



Şekil 2.4. Polyamidin kimyasal formülü

Poliamidin özellikleri çeşitlerine bağlı olarak değişmektedir. Çeşitliliğe bağlı bu değişkenlik farklı alanlarda kullanılmasına olanak sağlayan bir durumdur. Genelde yorulma mukavemeti çok iyi, iyi sürünme mukavemeti ve oldukça iyi darbe mukavemeti (kristali nite derecesine bağlı) vardır. Kimyasal dirençleri ve elektriksel özellikleri iyi düzeydedir. Polimerizasyon esnasında kontrol edilebilen kristalinite derecesi poliamidin rijitliğini, mukavemetini ve ısıya karşı dayanıklılığını etkiler. Genelde düşük kristalinite derecesi tokluğu, uzamayı ve darbe mukavemetini yükseltir, fakat çekme mukavemeti ve rijitliği azaltır. İyi mekanik özelliklere ve katkılı halde iyi tribolojik özelliklere sahip olan poliamid, dişli çark, kam, kaymalı yatak, rulman kafesleri, kızak gibi elemanların imalatında kullanılır. Ayrıca aşınmaya karşı takım tezgahlarının kızaklarında kaplama olarak kullanılır [16].

2.1.4.1. Poliamid Kullanım Alanları

- Basit dişlilerde,
- Yataklarda
- Civatalarda
- Flanşlarda
- Makara kayış kasnaklarında,
- Kesim plakası,
- Filtre plakası,
- Tezgah tablası ve her türlü parça imalatında kullanılır [17].

Tablo 2.2' de PA6 ve PA66 arasındaki temel farklılıklar verilmiştir.

Tablo 2.2. PA6 ve PA66 arasındaki temel farklılıklar [18]

PA66	PA6
Düşük su emme	Daha yüksek darbe dayanımı
Daha yüksek sertlik	Daha iyi tampon
Daha yüksek sıcaklık direnci	Daha iyi işlenebilirlik
Daha yüksek aşınma direnci	Daha düşük eğrilik
Daha yüksek hidroliz direnci	Daha iyi yüzey kalitesi
	Daha düşük fiyat
Olası alev geciktirici	
Çok iyi elektriksel özellikler	
Boyutsal kararlılık	
Uzun süreli ısısal yaşlanma performansı	
Düşük sıcaklıklarda dahi yüksek tokluk	
Mükemmel maliyet performans dengesi	

Poliamidlerin avantajlarından en önemlisi çeşitli katkı ve dolgu malzemeleri katılarak önemli özelliklerinin geliştirilebilmesidir. Poliamidlere katkı ve dolgu malzemeleri katılarak geliştirilmiş özellikleri Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3. Poliamidlere katkı ve dolgu malzemeleri katılarak geliştirilmiş özellikleri [18].

Katkı ve Dolgu tipi	Geliştirilmiş özellikler
Cam elyaf Mineral katkılar Cam bilya	Sağlamlık,sertlik Yorulma,sünme Çekme ve eğrilik Isı eğilme sıcaklığı,sıcaklık performansı
Elastomerler Plastikleştiriciler	Darbe direnci
İnorganik antioksidanlar Organik antioksidanlar	Termal kararlılık Işık ve UV ışınlarına karşı kararlılık
Çekirdekleştirici katkılar	Kristallenme Sertlik Kullanım süresi
Plastikleştiriciler Yağlayıcılar	Esneklik İşleme Yüzey kalitesi

Tablo 2.4'de Polyamidin genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Polyamidin genel özellikleri [19].

Malzemenin cinsi	Sert Plastik
Malzemenin esası	Poliamid-6
Çekme dayanımı (kgf/cm^2)	650
Kopma uzaması	30-300
Kopma mukavemeti (kgf/cm^2)	400-800
Eğilme dayanımı (kgf/cm^2)	515
Sertlik	Rockwell E112
Max. çalışma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) uzun-kısa süre	90-150 $^{\circ}\text{C}$
Özgül ağırlığı (gr/cm^3)	1.12-1.14
Darbe mukavemeti (kg.f/cm^2)	3-15
Sürtünme katsayısı	0.15-0.42
Havadan aldığı nem (%)	2.5-3
Sudaki doygunluk (%)	8.5-10

2.2. Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları

Kompozit malzemenin temel mukavemet elemanı olan elyaflar yoğunluklarının dışında yüksek rijitliğe ve yüksek elastisite modülüne sahip malzemelerdir. Elyaf malzemeler kimyasal reaksiyonlara karşı da oldukça dirençlidirler. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan fiberler cam, karbon, aramid ve bor fiberlerdir. Bu çalışmada karbon elyaf ve cam elyaf kullanılacaktır.

2.2.1. Cam Elyaflar

Cam elyafı, fiber takviyeli kompozit malzemeler arasında en bilineni ve en çok tercih edilenidir. Kendine özgü biçimi olmayan bir malzeme olup, polimer yapıya sahiptir. Cam elyaf birden fazla sebepten ötürü kaplama işlemine tabi tutulur. Genelde cam elyaflar

demet şeklinde biçimlendirilerek kompozitin dayanımını arttıran elyafların; zarar görmesini, kırılmasını ve cam elyafın işleme esnasında bulandırmanın olmasını engeller. Temelde elektrik amaçlı düşünülse de iyi ısı dirence ve mekanik özelliklere sahip olduğundan günümüzde birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. Şekil.2.5'de cam elyaf verilmiştir.



Şekil 2.5. Cam elyaf [36].

Cam elyafların en çok tercih edilme sebepleri;

- Çekme mukavemeti ve özgül mukavemeti çeliğe göre oldukça yüksektir
- Cam elyaflar elektrik iletkenliği yoktur. Bu özelliği yüzünden elektrik yalıtımı arandığı durumlarda kullanılması tercih edilir.
- Isıl dirençleri yüksek değildir fakat yanmazlar sadece sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda yumuşarlar.
- Kimyasal malzemelerden kolay etkilenmezler yani dirençlidirler.
- Nemi çekmezler,

2.2.1.1. Cam Elyaf Çeşitleri

Homojen, genelde yuvarlak yüzey kesit alanı, erimiş camdan üretilir

A.Tekstil cam elyafları

- Sürekli cam filament–sürekli lif halinde erimiş camdan üretilir.

- Kırpıntı cam elyafı–kısa lif halinde (kivrak cam ipliği) mekanik araçlarla sarılarak bobin haline getirilir.

E camı

- E elektrik iletkenliğini iletir.
- Mukavemet özelliği iyi, modül ve elektriksel özellikler gösterir.
- Elyaf üretimi oldukça basittir.

C camı

- Oksitlenme dayanımı yüksektir.
- C camının mekanik özellikleri E camı kadar iyi değildir
- Maliyeti pahalıdır.

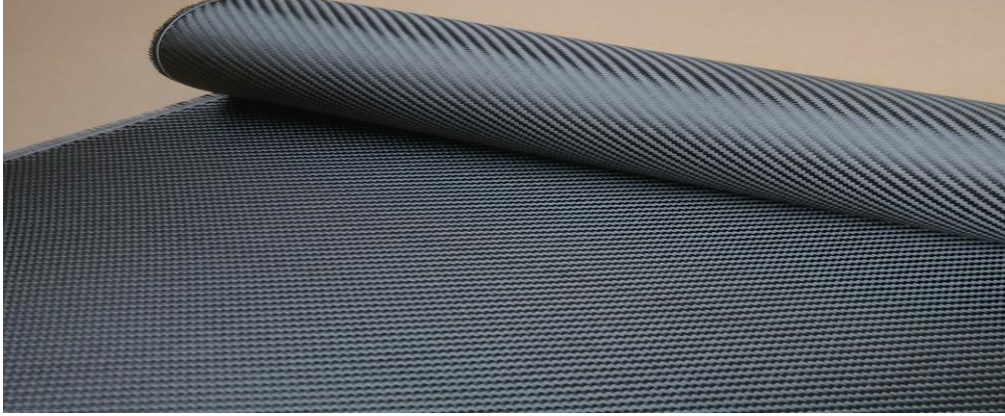
S camı

- Yüksek mukavemet ve modülü temsil eder.
- Maliyet olarak E ve C camına oranla çok daha pahalıdır ancak daha iyi mukavemete ve elastik model özelliklerine sahiptir.
- Mukavemetini yüksek sıcaklıklarda bile koruyabilir [14].

2.2.2. Karbon Elyaf

Karbon, yapısı kristal olan 2.268 gr/cm^3 yoğunluğa sahip bir malzemedir. Cam elyaflardan sonra gelişen karbon elyaflar, günümüzde en yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Genellikle epoksi reçine ve polyester reçineler ile yaygın olarak kullanılan karbon elyafların yoğunluğunun yanı sıra en önemli özellikleri yüksek tokluk değerine sahip olmasıdır.. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Çeliğe göre mukavemeti yüksek olup, aşırı katıdırlar. Bu yüzden askeri ve sivil uçak yapılarında, otomotiv endüstrisinde ve spor aletlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Karbon elyaflarının takviye elemanı olarak kullanılması grafit kristalinin karakteristik özelliğinden dolayıdır. Karbon grafit kristalinin kristal kafes düzlemi altıgen hegzagonal katlı bir yapıda olup, köşe karbon atomları kovalent bağlı yapıya sahiptir. Katlar ise van der waals bağlarıyla bağlanmıştır. Şekil 2.6'da karbon elyaf verilmiştir.



Şekil 2.6. Karbon elyaf

2.2.2.1. Karbon Elyaf Sınıfları

- Yüksek mukavemetli karbon (Grafitizasyon olmadan)
- 1700° C altında sıcaklık uygulama
- Daha az kristalin
- Ve daha düşük modül (<365 GPa)
- Yüksek rijitlikte karbon (grafitizasyon ile)= grafit elyafı
- 1700 °C'nin üstünde sıcaklık uygulama
- Daha kristalin (-80%) ve
- Daha yüksek modül (>365 GPa)
- Karbon (IM) orta modül
- Karbon (HM) yüksek modül
- Karbon (UHM) ultra yüksek modül [20]

2.2.2.2. Grafite Göre Karbon Elyaf Özellikleri

- Daha az iletken
- Daha düşük elastikiyet
- Daha yüksek mukavemet
- Daha düşük oksidasyon direnci [20]

2.2.2.3. Karbon Elyafların Avantajları

- Yüksek elastikiyet ve mukavemet
- Reaktif olmaması
- Korozyon direnci
- Yüksek sıcaklık direnci
- Düşük yoğunluk

2.2.2.4. Karbon Elyafların Dezavantajları

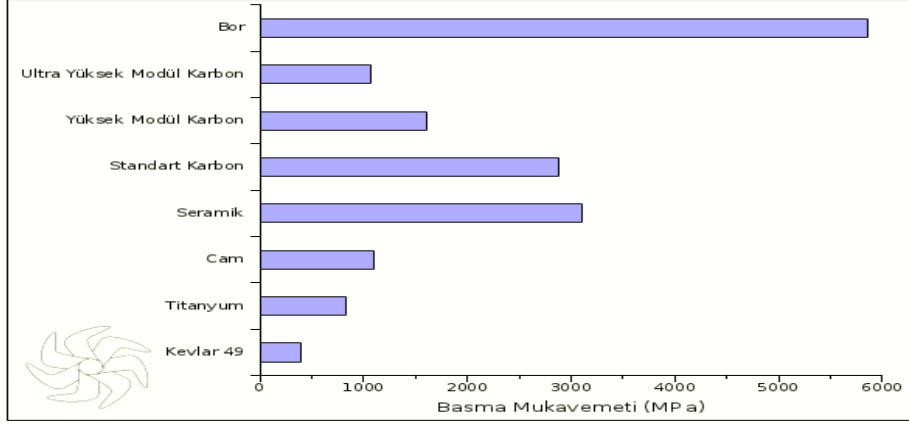
- Yüksek fiyat
- Gevrek [20]

2.2.3. Bor Elyaf

Bor lifi kendi aralarında kompozit yapıda olan elyaflardır. Pek çok kişi karbon elyafının en üstün elyaf çeşidi olduğunu düşünmektedirler. Bor elyafın çekme dayanımı yüksek mukavemette ki karbon elyafına denk olan bor elyaf, basma kuvveti karbon elyafın neredeyse iki katı kadardır. Sadece bu özelliğinden dolayı bile bor elyafın ne kadar değerli bir malzeme olduğunu göstermektedir. Fakat tek dezavantajı diğer malzemelerden pahalıdır. Örnek verilecek olursa eşleştirildiği karbon elyafın tam altı katı fiyatındadır bu yüzden günümüzde tercih edilme olasılığı kısıtlanmaktadır. Maliyetinin yüksek olmasından dolayı günümüzde sadece önemli sektörlerde kullanılmaktadır.

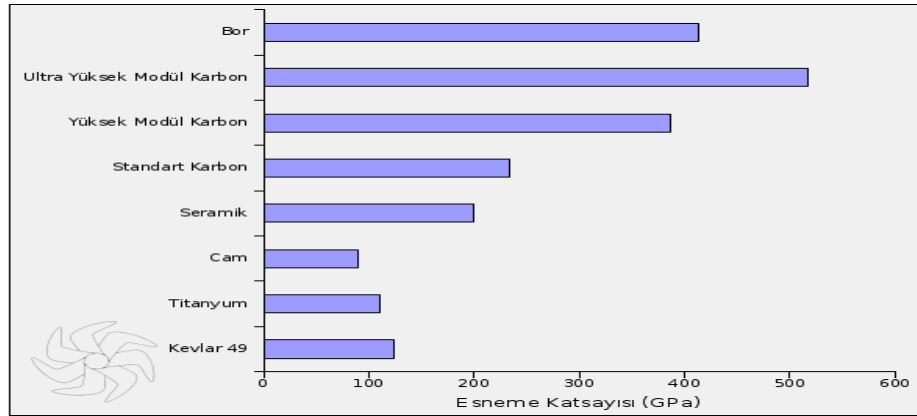
- Havacılık ve uzay sanayisinde
- Spor malzemeleri sektöründe

Karbon elyafın yetersiz kaldığı durumlarda, kırılmaların meydana gelmesi sonucunda firmalar yeni çözüm yolları aramış olup karbon ve bor elyaf karıştırılarak probleme çözüm bulmuşlardır. Bor elyafın ve diğer bazı malzemelerin basma mukavemetinin karşılaştırılması Şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.7. Bor elyafın ve diğer bazı malzemelerin basma mukavemetinin karşılaştırılması [34].

Günümüzde spor sektörü (tenis racketleri, kayaklar, Formula-1 arabaları ve yarış bisikletleri vb) ürünlerinde bor fiber kullanılmaktadır. Örneğin yarış bisikletinin gövdesi bor lif ile üretildiğinde karbon elyafa kıyasla %70 kadar ağırlığı azalacaktır fakat bor elyafın maliyetinin pahalı olmasından dolayı fiyatı da artacaktır. Maliyetini karşılayabilenler için önemli bir üstünlük sağlayabilmektedir [21]. Bor elyaf ile diğer malzemelerin esneme katsayısının karşılaştırılması Şekil 2.8' de verilmiştir.



Şekil 2.8. Bor elyaf ile diğer malzemelerin esneme katsayısının karşılaştırılması [21].

Borun yüksek maliyetinin şimdi ki değeri 30 yıl önceki karbon elyafın değeriyle hemen hemen aynıydı. Karbon elyaf da zamanında çok pahalıydı ve bu yüzden sadece havacılık ve uzay faaliyetlerinde kullanılmaktaydı. Yapılan yatırımlar ve çalışmalar sonucunda

fiyatındaki müthiş düşüş sayesinde günümüzde sıradan malzemelerde bile kullanılmaktadır. Aynı çalışma ve yatırım bor elyaf içinde yapılırsa ki dünyada ki bor maddesinin dörtte üçü ülkemizde bulunmaktadır. Kompozitler de kullanılan bazı seramik elyafların mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Kompozitler de kullanılan bazı seramik elyafların mekanik ve fiziksel özellikleri [20].

Malzeme cinsi	Yoğunluk (kg/m ³)	Elyaf çapı (µm)	Elastik modülü (MPa)	Çekma dayanımı (MPa)
E- Camı	2500	12	70	1.5-2.0
S- Camı	2600	10	90	4.6
Karbon (PAN)	1800	7-10	400	2.0-2.8
Karbon (YD)	1700	7-10	200	3.0-3.5
Karbon (Mesa-faz)	1900	7-10	220	3.2
Boron	2600	140-160	400	3.4
Al ₂ O ₃ (FP)	3950	20	380	1.4-2.1
Al ₂ O ₃	3300	3.0	300	2.0
Al ₂ O ₃ /SiC	3100	10	206	1.7
Silisyum Karbür	3200	1-50	480	7.0
(Nicalon)	2250	12	200	2.5

2.3. Uygulama Alanları

Kompozit malzemeler günümüzde oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir. Kompozit malzemeler hemen hemen endüstrinin tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle ağırlık yüksek mukavemet istenen yerlerde metallerin yerine kullanılmaktadır. Bu durum kompozit malzemelere olan ilginin artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler en geniş kullanım alanını ulaşım endüstrisinde bulmuştur.

2.3.1. Havacılık Sanayi

Son yıllarda havacılıkta metal malzeme yerine kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan kompozit yapılar genel olarak epoksi matris içerisinde sürekli elyaf takviyeli

kompozitlerdir. Uçak yapılarında alüminyum alaşımları gibi konvansiyonel malzemelerin yerini alan kompozit malzemeler, ağırlığa oranla yüksek mukavemet özelliğine sahiptirler [22].

Ağır vasıtalar da veya Askeri araçlarda, çeşitli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu kompozit malzemelerden biri de sürekli elyaf takviyeli termoplastiklerdir. Askeri araçlarda ağırlığı azaltmak maksadıyla koltuklar, gövde panelleri, taban panel bileşenleri, takviye yapılar, tekerlek yuvaları, korkuluk, motor kaplamaları ve çamurluklarda kompozit malzemeler kullanılmıştır. Kuyruk konisinin tasarımında optimum ağırlık ve eğilme özellikleri istenir. Bu sebeple yapının maruz kalabileceği maksimum yükler dikkate alınır. Buna bağlı olarak istenilen yükleme durumlarını karşılayabilecek malzeme ve tasarıma sahip kompozit kuyruk konisi üretiliyor [23]. Fiber takviyeli termoplastiklerin havacılıkta yeri Şekil 2.9'da ve yolcu uçağı gövde klipleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Fiber takviyeli termoplastiklerin havacılıkta yeri [23].in



Şekil 2.10. A350XWB yolcu uçağı gövde klipleri [24].

2.3.2. Otomotiv Endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler yüksek mukavemet ve hafiflik gibi özellikleri nedeniyle tercih edilirler. Son yıllarda birçok sektörde kompozit malzemelere olan ilgi artmış durumdadır.

Otomotiv endüstrisinde termoset kompozit malzemelerin kullanımı yaygın olsa da son yıllarda geri dönüşüm, kolay şekil alma ve özgül mukavemetinin yüksek olması nedeniyle termoplastik malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Otomobil kaporta parçaları, bazı motor parçaları, iç donanımda yer alan parçalar gösterge panelleri ve çarpışma esnasında mukavemet gerektiren araç parçaları bunlara örnek olarak gösterilebilir [22]. Otomotiv sektöründe termoplastik malzemeli ürünler Şekil 2.11' de verilmiştir.



Şekil 2.11. Otomotiv sektöründe termoplastik malzemeli ürünler [25].

2.3.4. İnşaat Sektörü

İnşaat sektöründe de kompozit malzeme kullanımı oldukça yaygındır. Lavabo, küvet, kapılar, kapı kolları, balkon korkulukları, soğuk hava depoları, bina kaplama panelleri kompozit malzeme kullanımına örnek olarak gösterilebilir [22]. İnşaat sektöründe termoplastik malzemeleri ürünler Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. İnşaat sektöründe termoplastik malzemeli ürünler [26].

2.3.5. Deniz Endüstrisi

Kompozit malzemeler çok üstün korozyon direncine sahiptir. Bu nedenle su ile temas eden yüzeylerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda hafif olması su üzerinde deniz araçlarının daha rahat hareket edebilmesi, daha yakıt sarfıyatı ve hızlı hareket olanağı kompozit malzemelerin deniz endüstrisinde sıklıkla kullanılmasına sebep olarak gösterilebilir. Yelkenli gövdesi, yat ve tekne basamakları, ön ve arka platformlar kompozit malzemelerin deniz endüstrisinde sıklıkla kullanıldığı yerlerdir [27].

2.3.6 Elektrik-Elektronik Sanayi

Kompozit malzemeler elektrik-elektronik sanayinde izolasyon özelliğinden dolayı üretim malzemesi olarak kullanılır [28]. Termoplastik malzemeyle üretilmiş elektrik armatörleri Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13. Termoplastik malzemeyle üretilmiş elektrik armatörleri.

2.3.7. Spor Aletleri

Kompozit malzemeler hafif, mukavim, yüksek titreşim sönümleme özelliklerinden dolayı spor aletlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Golf sopaları, yarış botları, tenis raketleri, kayak aletleri, balık oltaları, bisikletler vb. spor ekipmanları örnek olarak gösterilebilir [27]. Termoplastik malzemeyle üretilmiş bir bisiklet Şekil 2.14'de verilmiştir.

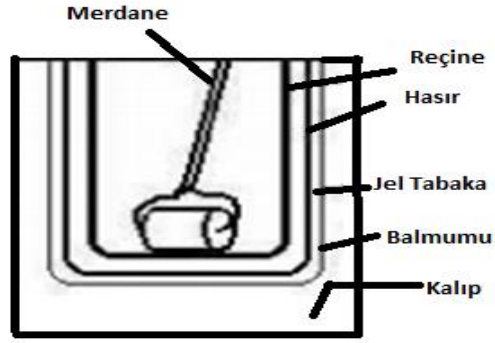


Şekil 2.14. Termoplastik malzemeyle üretilmiş bir bisiklet.

2.5. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

2.5.1. El yatırma

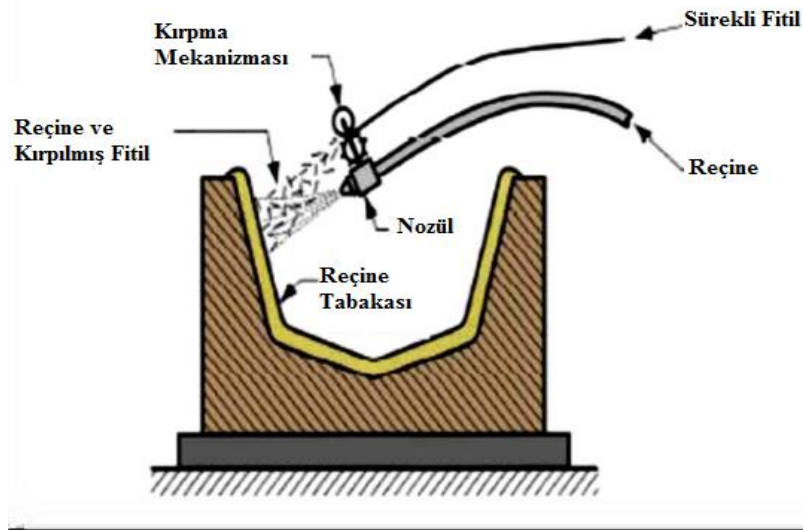
En kolay üretim yöntemi el yatırma yöntemidir. Genellikle keçe veya dokuma biçimli fiber, daha önceden hazırlanan kalıp içerisine yerleştirilir ve matrisi oluşturan reçine fırça gibi aletlerle elyafın üzerine uygulanır. Tabaka kalınlığı istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar işlem sürdürülür, böylelikle tabakalı kompozit üretilmiş olur. Polyester ve epoksiler; bu yöntemde en uygun reçinelerdir. El yatırma yönteminde, tutuşmanın engellenmesi, hafiflik eldesi, görünüm güzelliği gibi özellikleri sağlamak amacıyla reçineye değişik dolgu maddeleri katılmaktadır. Ayrıca reçinenin kalıptan rahat çıkabilmesi için kalıpta, reçinenin değdiği tüm yüzeylere polivinil alkol (PVA), silikon, madeni yağlar ve vaks gibi kalıp ayırıcılar kullanılır yapışmanın olmaması sağlanır. Bu üretim yönteminde kullanılan takviye malzemeleri cam elyaftan yapılan keçeler ve dokumalardır. Ayrıca bu yöntemle tekneler, depolar, otomobil parçaları, makine parçaları ve teknik birçok parça üretilebilir [29]. Şekil 2.15'de el ile yatırma yöntemi verilmiştir.



Şekil 2.15. El ile yatırma yöntemi [30].

2.5.2. Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)

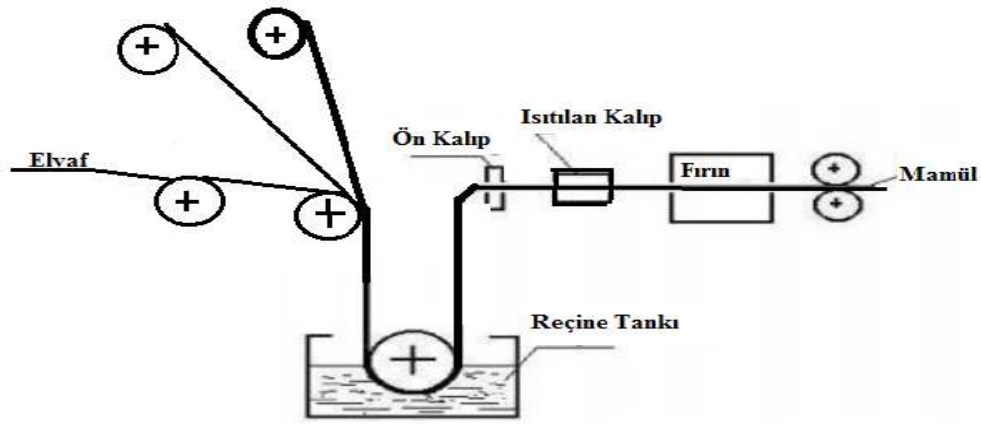
Püskürtme yöntemi, şekil olarak el yatırma yöntemine benzemektedir. Bu yöntem ile sadece kırılmış elyaf kullanılır. Tabanca üzerindeki kırıcı elyafın kırılmasını sağlar. Kırılmış elyaflar uygun hızda kalıp yüzeyine, sertleştirici ilaveli reçine ile birlikte özel bir tabanca kullanılarak püskürtülür. Püskürtme işlemi uygun hızda yapılmalıdır. Bu üretim yönteminde de ıslatma önem taşımaktadır. Islatmanın tam gerçekleşmesi için kullanılan elyaf miktarı % 35 ile sınırlıdır. Püskürtme işleminden sonra hava kabarcıklarını engellemek için rulo püskürtülen tabaka üzerinde gezdirilir. Hızlı, kontrollü, maliyete sahip bu yöntem ile büyük ve kompleks parçaların üretimi kolaylıkla yapılabilir [29]. Şekil 2.16'da püskürtme yöntemi verilmiştir.



Şekil 2.16. Püskürtme yöntemi [29].

2.5.3. Profil Çekme / Pultruziyon

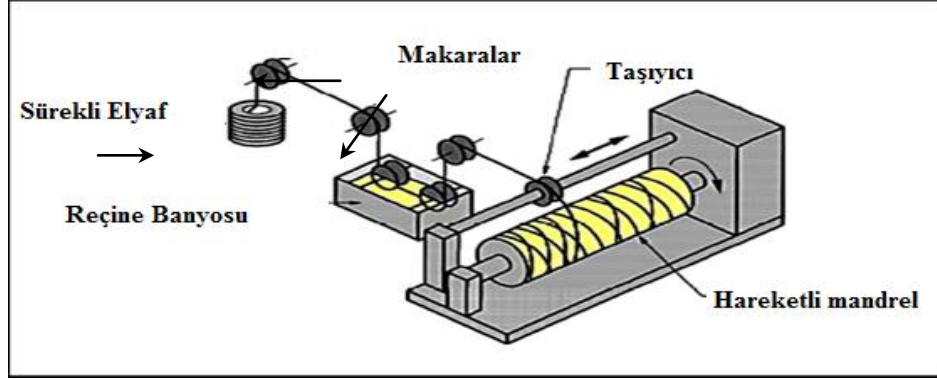
Profil çekme işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği maliyetli seri üretim yöntemidir. Sistemde takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150 °C' ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşmesi sağlanır. Islatmanın tam olması sebebiyle % 60-65 civarında elyaf kullanılabilir. Üretilen kompozit malzemeden enine yük taşıması isteniyorsa özel dokuma yöntemlerinin kullanılması gerekir. Bu yöntem daha çok çubuk ve boru şekilli ürünler elde etmek için kullanılır, çubuk ve boru şekli elde etmek içinde uygun kalıplardan profil çekme yöntemini kullanırlar. Profil çekme yöntemi, yönlenmiş elyaf, uzunlamasına mukavemetin fazlalığı, otomasyon kullanılması, işletme ve yatırım maliyeti gibi avantajlara sahiptir [31]. Profil çekme yöntemi üretim şeması Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Profil çekme yöntemi üretim Şeması [31].

2.5.4. Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Winding)

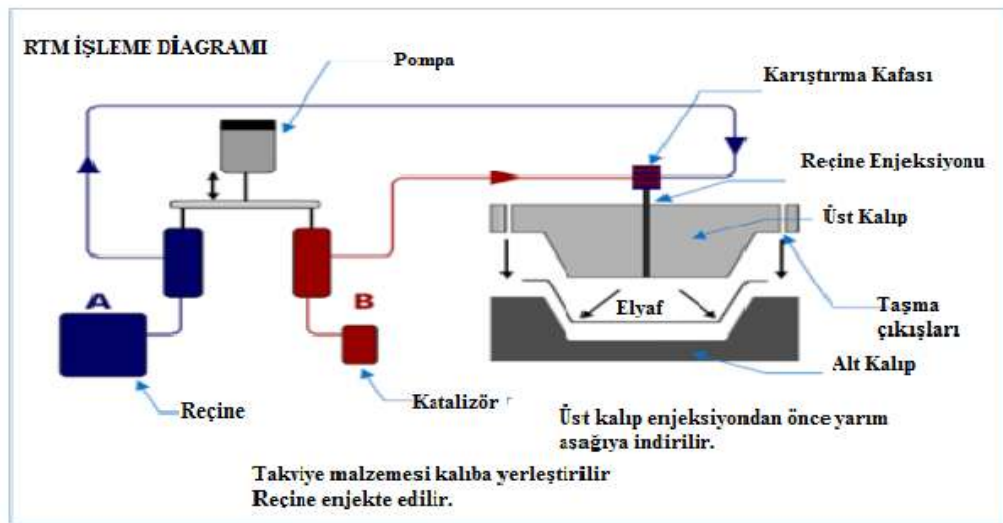
Özel biçimli ürünlerin seri üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Elyaf sarma yöntemi sürekli fiber liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra dönen bir kalıp üzerine bir makaradan çekilerek sarılma işlemidir. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik borular, araba şaftları, su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır [32]. Elyaf sarma yöntemi Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Elyaf Sarma yöntemi [29].

2.5.5. Reçine Transfer Kalıplama (RTM / Reçine Enjeksiyonu)

Hızlı ve uzun ömürlü olan reçine transfer kalıplama yöntemi için iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Bu yöntem ile her iki yüzeyi düzgün ürünler elde edilebilirler. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılabilir. Bu yöntemde takviye malzemesi önceden hazırlanan kalıp boşluğuna boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Matris içinde geç çözünen reçineler elyafın sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba uygulanır. Bu süreç çok fazla zaman alır. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80 °C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir [33]. Şekil 2.19'da RTM yöntemi verilmiştir.



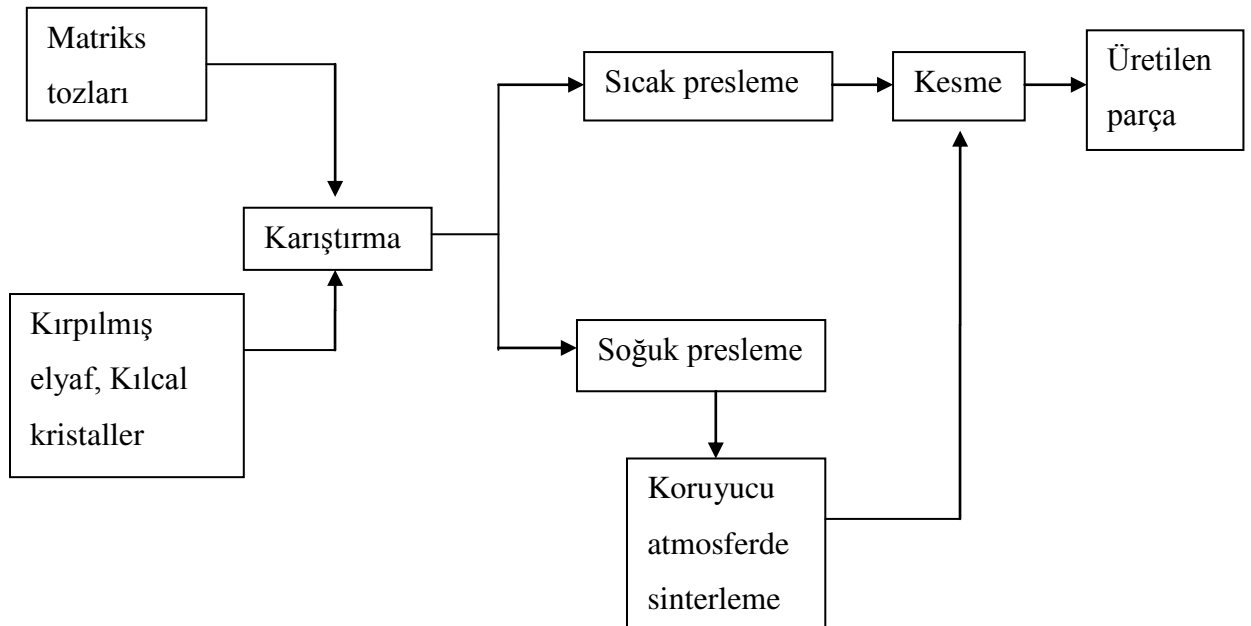
Şekil 2.19. RTM yöntemi [33].

2.5.6. Sıcak presleme yöntemi

Elyaf düzenlerinin korunması için metal folyeler arasına yerleştirilir. 80-170 °C sıcaklık ve 0.5-15 MPa basınç altında sıcak presleme işlemi yapılır. Presleme anında reçine püskürtülür. Basınç değeri kompozitin boyutlarına sıcaklık değeri ise reçine sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Saatlik üretim hızı 15-30 adet ürün arasında değişmektedir. Sıcak presleme yönteminde kullanılan matrisler Alüminyum, Magnezyum, Titanyum ve alaşımlarıdır [22].

2.5.7. Toz metalürjisi yöntemi

Bu yöntemle aşağıda verilmiş olan üretim şemasından da görüldüğü üzere metal veya seramik matris tozları kırılmış fiber veya kılcal kristaller ile karıştırılmıştır. Karışım sıcak veya soğuk preslenmiştir. Eğer bu karışım soğuk pres altında uygulanacaksa koruyucu atmosferde bulunan toz parçaları arasındaki fiziksel bağları kimyasal bağlara çevirmek amacıyla sinterleme yapılır. Tozların sinterlenmesi sırasında fiber ve takviye elemanının özellikleri yüksek sıcaklıkta bozulabileceğinden karışım uzun süre ısıtılmaması gerekmektedir. Presleme işlemi sonlandırıldıktan sonra bitirme işlemleri yapılmıştır. Şekil 2.20'de toz metalürjisi üretim yöntemi şeması verilmiştir.



Şekil 2.20. Toz metalürjisi üretim yöntemi şeması [31].

2.5.8. Sıvı metal emdirme yöntemi

Ergime noktası metallerle için uygun bir üretim yöntemi olduğundan dolayı ağırlıklı olarak alüminyum, magnezyum, gümüş ve bakır gibi metal matrisli kompozitler üretilir. Seri üretim için uygun olan bu yöntem ile % 45 fiber hacim oranında kompozit yapılı malzeme üretilir.

2.5.9. Elektroliz yöntemi

Elektroliz ile üretim katot olarak kullanılan mandrel üzerinde bulunan elyaflara elektroliz sırasında metal matris çökertilmesi işlemidir. Daha sonra elyaflar pres altında birleştirilir. Bu yöntem ile yüksek elyaf hacim oranına sahip kompozit malzemeler üretilir.

2.5.10. Buhar çökeltme yöntemi

Buhar çökeltme yöntemi ile kompozit üretiminde buharlaştırılan matris malzeme takviye elemanı üzerine çökeltilerek kaplanır ve ardından presleme işlemi gerçekleşir. Bu yöntem sıcaklıklarda üretim olanağı sağlarken oldukça pahalıdır.

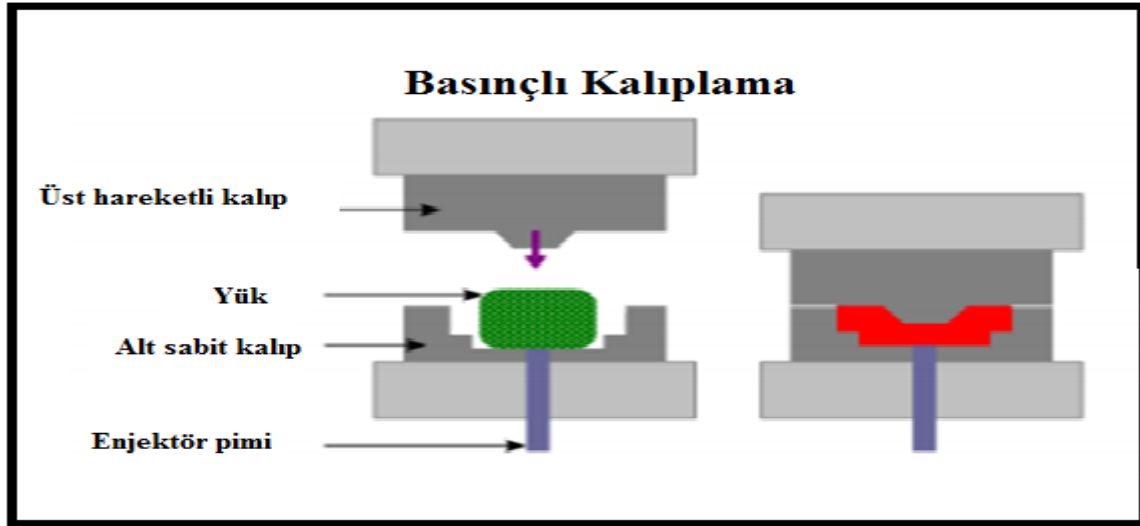
2.5.11. Haddelme yöntemi

Sürekli şerit halinde üretim yöntemidir. Elyaf ile metal folyeler birlikte basınç altında haddelenerek birleştirilir. Oksitlenmeyi önlemek amacıyla işlem vakum altında yapılabilir.

2.5.12. Basınçlı Kalıplama Yöntemi

Sıcak kalıplama uygulamasında sıcaklık ve basınç değerini kontrol altında gerçekleştirilen bir yöntemdir. Sistemde kalıp boşluğu olacak biçimde tasarlanan erkek ve dişi şeklinde ki kalıp, ısıya ve basınca dayanıklı malzemeden tasarlanmalıdır. Uygulama esnasında tasarlanan kalıba ait dişi kalıp, presin altına yerleştirilerek basınç miktarının yüksek olmasını sağlanmaktadır. Deneysel çalışmalarda ise basınç ve sıcaklık ayarı manüel

olarak istenilen değerlerde tutulur aynı zaman da kontrol edilerek istenildiği anda değişiklik yapabilmek için işlemin bitirilmesi de amaçlanır. Takviye çeşidi, hammadde profili, sıcaklık kontrolü, soğuma hızı, kalıp malzemesi ve sıcak kalıplama yöntemini doğrudan etkileyen etmenlerdir. Aşağıdaki şekil 2.21’de basınçlı kalıplama yöntemi verilmiştir.



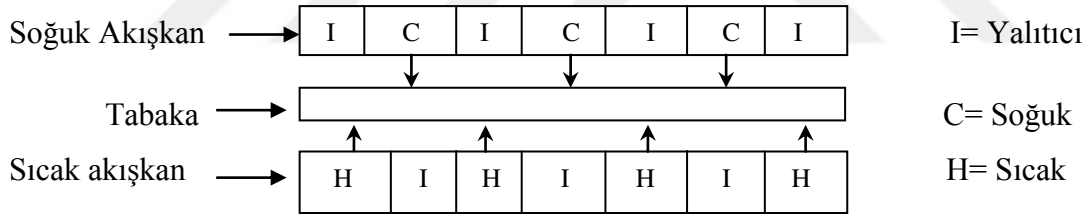
Şekil 2.21. Basınçlı Kalıplama Yöntemi

2.5.13. Yeniden İşlenebilirlik

Termoplastik kompozit malzemelerin günümüz endüstriyel alanında en çok tercih edilmesinin temel sebeplerinden birisi geri dönüşüm özelliğidir. Hurda veya atık termoplastik kompozitleri tekrar ergitilerek eski haline dönüşür. Üretilen termoplastik tabakalardaki kusurları ortadan kaldırmak ve yüksek kaliteli ürünler üretmek için yeniden kalıplanabilir. Teorik olarak birçok kez yeniden işlenebilir, fakat bazı termoplastikler işleme çevrimlerini kısıtlayan nedenlerden dolayı termoplastik, termoset özelliği gösterir. Örneğin, havada ısıtma esnasında PPS ve PEEK (daha az uzama) oksidatif çapraz bağlamaya, zincirleme genişlemeye ve zincirleme kesme reaksiyonuna maruz kalırlar. Bu olaylar en çok havadaki oksijen yerine azot geldiğinde yavaşlar. Çapraz bağlama miktarı düşüktür ve termoplastik yeniden işlenebilir, ancak elde edilecek en iyi kristallik derecesi, orijinal malzemedeki gibi olamaz ve bu işlem çevrim sayısını düşürür. Ayrıca kimyasal ve mekanik özellikleri de etkiler.

2.5.14. Yüksek Performanslı Kompozit Üretimi

Bir Avusturya firması (Quickstep Technologies Pty Ltd.) bu kompozit üretimi için maliyeti az ve daha seri olan yeni bir otoklav prosesi geliştirmişlerdir. Önceden altı saatte üretilen bir malzeme bu yöntem ile bir saatte yapılabilmektedir. Sıcak akışkan parça üzerine gönderilerek parçanın ısıtılması için hazırlanması sağlanmaktadır. Bu yöntemde tercih edilen akışkanlar su ve yağdır. Vinilester, polyester ve fenolik reçinelerle birlikte genellikle su kullanılır. Düşük ve yüksek basınçta sahip iki kalıpta üretim yapılmaktadır. Üst kalıp (yüksek basınç odası) iç kısmında ısıtma işlemi sırasında alt basınç odasındaki parçanın üzerine saracak esnek bir membran mevcuttur. Çok kalın numuneler bile ısıtma işlemine tabi tutularak bu yöntemle üniform bir yapıya sahip olurlar. Öyle ki; fibreglas/epoksi kompozitlerde 22 mm'ye kadar sorunsuz üniform bir ısıtma işlemi yapılmaktadır. Bu yöntem en çok tabakalı kompozit üretimine elverişli olup hassas ve düşük maliyetle ki parça imalatında kullanılır. Bu yöntemle; Şekil 2.22'de görüldüğü gibi parça üzerinde istenen bölgelere müdahale edilerek ısıtılabilir ya da soğutulabilir.



Şekil 2.22. Yüksek Performanslı Kompozit Malzemenin Üretim Şeması

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretiminin aşaması, aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Kalıba yerleştirilen parça ilk olarak düşük basınç odasında (alt kalıp) bekletilmiştir.
- Yüksek basınç odası (üst kalıp) parçanın içerisinde bulunduğu düşük basınç odası üzerine konularak devam edilmiştir.
- Soğuk akışkan (25-40°C) yüksek basınç odasına düşük basınçta gönderilmiştir. Sebebi yüksek basınç odasında bulunan membranın parçayı tam olarak sarmasıdır.

- Yüksek viskoziteye sahip olmayan 70-100°C arasında ki orta sıcaklıkta akışkan parçanın çevresini dolaşacak şekilde yaklaşık beş dakika her iki arasına gönderilir.
- Isıl işlem sıcaklığındaki akışkan reçine sıcaklığına ulaşmaya kadar yaklaşık 10-30 dakika arasında kalıp içerisinde dolaştırılır. Sonra bu akışkan kalıptan çekilir.
- Kalıplardan sırasıyla orta sıcaklıktaki akışkan ve soğuk akışkan çekilir.
- Üretimi yapılan parça kalıptan ayrılır [34].



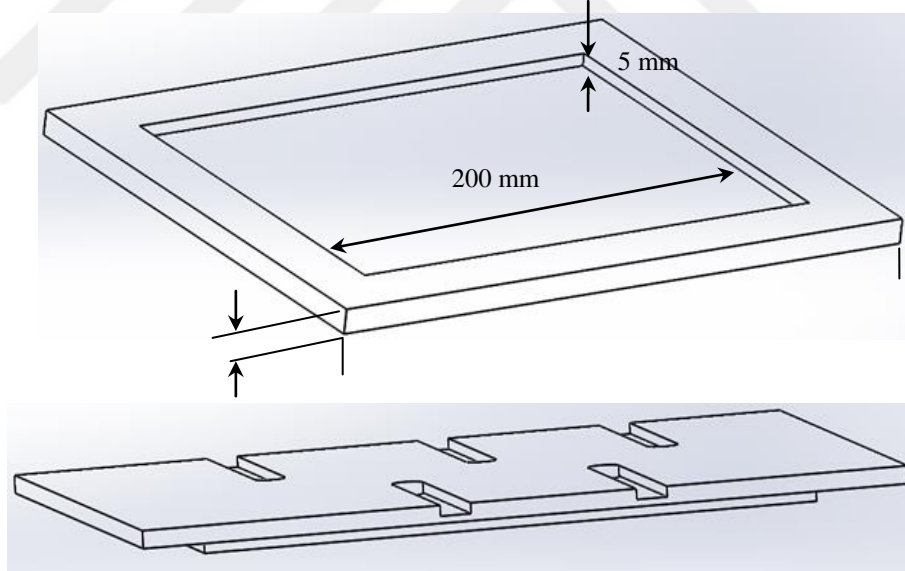
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Termoplastik Kompozit Plak Üretimi

Bu çalışmada 200x150 mm ebatlarında 0° oryantasyon açısına sahip karbon, aramid örgülü hibrit ve cam kumaştan oluşan polietilen matrisli kompozit plaklar kalıplama yöntemiyle üretilmiştir.

3.2. Kalıp imalatı

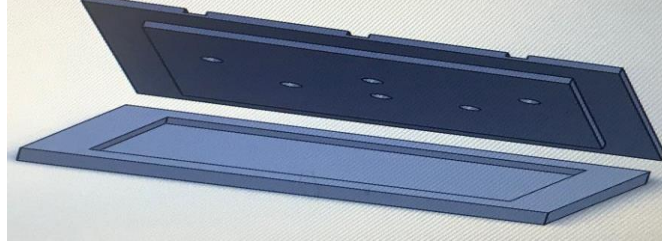
Çalışmada kullanılan kompozit plaklar, kalıp içerisine kumaş ve polietilen üst üste konularak kalıp içerisinde eritilip soğutulmasıyla elde edilmiştir. Üretilen kompozit plaklar çekme deneyine tabi tutulacağından dolayı ASTM 3039 standardına uygun olarak üretim yapılmıştır. Bu sebeple kalıp standardı sağlayacak ölçülerde Şekil 3.1’de gösterildiği gibi imal edilmiştir.



Şekil 3.1. Kalıbın ebatları

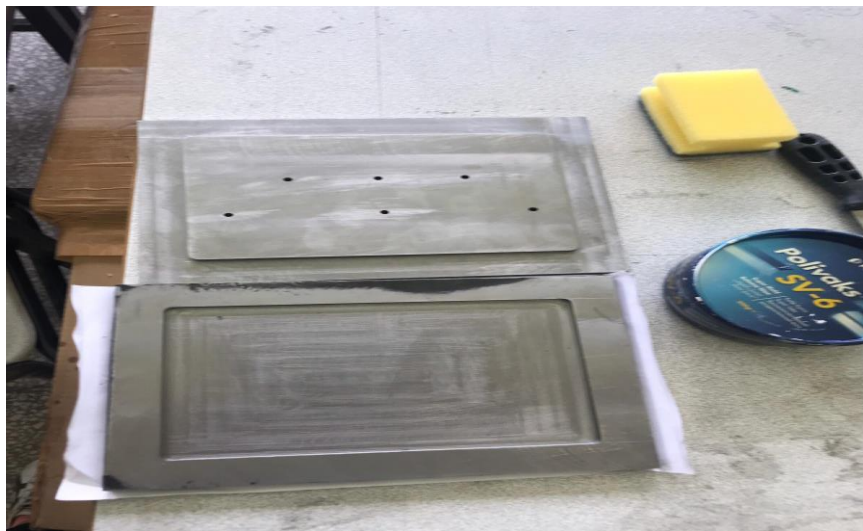
Kompozit plak et kalınlığı 1.5 mm olarak planlanmış ancak granüllerin kalınlığından dolayı kalıp derinliği 5 mm yapılmış ve eriğin taşan kısmının atılması için 5 mm delikler açılmıştır. Kalıp St37 malzemeden CNC freze tezgâhında üretilmiştir. Kalıp dişi ve erkek olmak üzere iki parçadan meydana gelmektedir. Dişi ve erkek kalıp üst üste bindirildiğinde

tek parça gibi tam temas halindedir. İmalatı yapılan kompozit plağın kalınlığı ise dişi ve erkek kalıp arasına kalınlığa göre sac konulmasıyla ayarlanmaktadır. şekil 3.2’de kalıbın montaj hali görölmektedir.



şekil 3.2. Kalıbın montaj hali

Kalıpta üretimi gerçekleştirilen plakların kalıptan kolaylıkla ayrılmasını sağlayan Polivaks SV-6 kullanılmıştır. Öncelikle kalıp yüzeyinin temiz olmasına, toz, kir, yağ, su bulunmamasına dikkat edilip vaks, dairesel hareketlerle kalıp yüzeyine sürölmüştür. Daha sonra başka temiz bir bez ile vaks kurumadan parlatılmıştır. Bütün kalıp yüzeyinin bu şekilde parlatılması ile ilk kat uygulama tamamlanmış ve bu işlemi katlar arasında 15 dakika bekleyerek parlak ve kaygan yüzey elde edene kadar 3-5 kez tekrarlanmıştır. Son katı uygulayıp parlattıktan sonra 20 dakika beklenmiş ve son kez temiz bir bez ile silinmiştir (şekil 3.3) [35].



şekil 3.3. Polivaks sürölerek parlatılmış kalıp

3.3. Polietilen Plak Üretimi

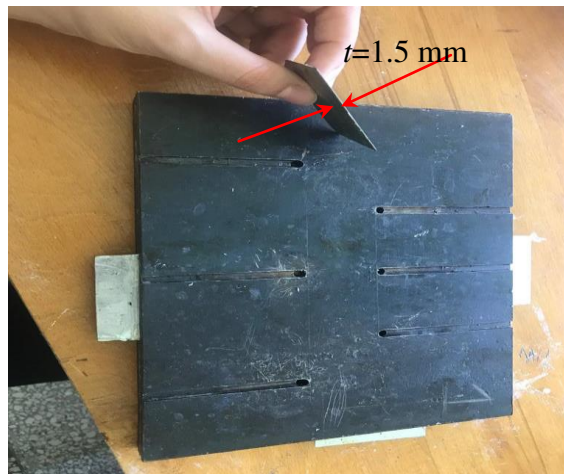
Kompozit plak et kalınlığı 1.5 mm olarak planlanmıştır. Kompozit plakta matris malzemesi olarak polietilen seçilmiştir. Polietilen granöl(parça) şeklinde *Pistonsan Plastik* firmasından satın alınmıştır. Kompozit plak üretilirken granüllerin kalıp içerisine serilip üzerine kumaş serilmesinin ve eritilerek kompozit plak üretiminin homojen bir yapı elde edilemeyeceği düşünöldüğünden öncelikle granüllerden plak üretilmiştir.

Polietilen plak ile cam fiber ve karbon-aramid hibrid fiber kumaş takviyeli plaklar karşılaştırılacağı için öncelikle 1.5 mm polietilen plak elde edilmiştir. Bu sebeple kalıp içerisine granöl serilmiştir (şekil 3.4).



şekil 3.4. Kalıp içerisine serilmiş granöl polietilen

Polietilen ve kompozit plakta istenilen et kalınlığını elde etmek için dişi ve erkek kalıp arasına istenilen et kalınlığında elik sac parçalar şekil 3.5 te gösterildiği gibi konulmuştur.



şekil 3.5. Kalıpta ki et kalınlığını ayarlama işlemi

Polietilen granülün serildiği ve erkek kalıbın 1.5 mm çelik sac üzerine kapatıldığı kalıp Şekil 3.6 ' da görülen sıcaklık kontrollü fırına konulmuş ve 220 °C'de 15 dakika beklenmiş ve granüllerin erimesi sağlanmıştır.



Şekil 3.6. Sıcaklık kontrollü fırına konulmuş kalıp

Erime işleminden sonra fırından çıkarılan kalıp el mencesi yardımıyla sıkılarak istenilen et kalınlığını alması sağlanmıştır (Şekil 3.7). Daha sonra kalıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.7. Mengersiyle sıkıştırılmış kalıp içerisinde ki erimiş granüllerin soğutulması

Mengeneyle sıkıştırılmış kalıp içerisinde ki erimiş granüller kalıp soğuduktan sonra çıkarılan 200x150x1.5 mm ebatlarında ki polietilen plak şekil 3.8' de verilmiştir.



Şekil 3.8. 200x150x1.5 mm boyutlarında polietilen plak

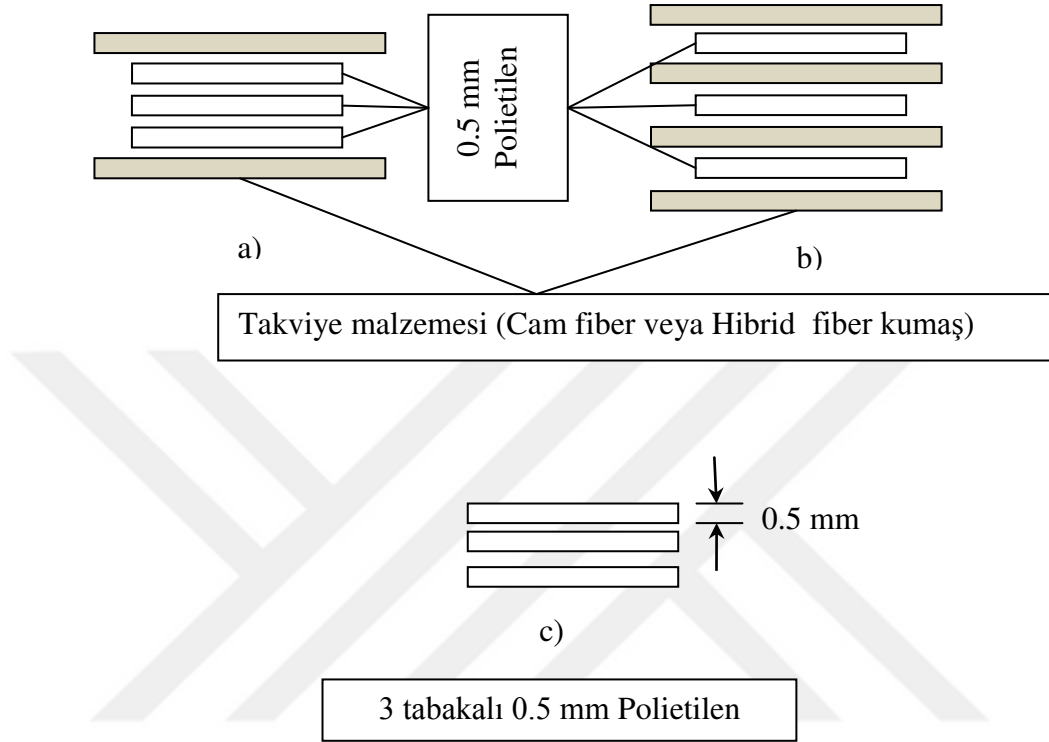
3.4. Polietilen Matrisli Cam Ve Hibrit Kumaş Takviyeli Kompozit Plak Üretimi

Çalışmada kompozit plak et kalınlığı 1.5 mm olarak elde edilmiştir. Bu amaçla 2 ve 4 tabakalı cam ve karbon-aramid kumaş takviye elemanı olarak kullanılmış, 3 tane 0.5 mm et kalınlığına sahip polietilen (Şekil 3.9) matris malzemesi olarak kullanılarak kompozit plak üretilmiştir.



Şekil 3.9. Kalınlığı 0.5 mm olan polietilen plak

0.5 mm kalınlıklı polietilen plaklar yukarıda anlatıldığı dişi ve erkek kalıp arasına 0.5 mm çelik sac konularak üretilmiştir. 2 ve 4 tabakalı kompozit plak sıralaması Şekil 3.10 'da gösterildiği gibi yapılmıştır.

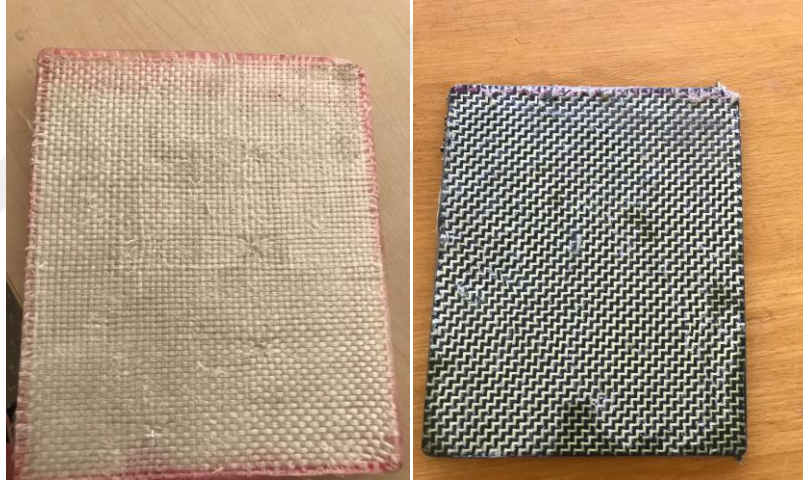


Şekil 3.10. Tabakalı kompozit plak sıralaması

Dişi kalıp içersine 200x150 mm boyutundaki cam fiber ve hibrid kumaşlar ile polietilen plaklar kaç tabakalı üretilecekse ona uygun olarak Şekil 3.10 a) veya Şekil 3.10 b)'de verilen sırada üst üste konulmuştur (Şekil 3.11). Daha sonra yukarıda anlatıldığı gibi dişi ve erkek kalıp arasına 1.5 mm et kalınlığında çelik sac konularak sıcaklık kontrollü fırında 220 °C'de 15 dk bekletilmiş daha sonra el mengenesi yardımıyla sıkılarak 1.5 mm et kalınlığında kompozit plak elde edilmiştir. Elde edilen cam fiber ve hibrid fiber takviyeli kompozit plaklar Şekil 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3.11. Cam elyaf ile kompozit plak üretim aşama sıralaması



Şekil 3.12. Cam fiber ve hibrid fiber takviyeli kompozit plak

3.4.1. Deney numunelerinin hazırlanması

İmal edilen 200x150 mm ebatlarındaki: 1.5 mm polietilen, 1.5 mm 2 ve 4 tabakalı cam elyaf ve karbon-aramid hibrid takviyeli kompozit plaklardan 200x15 mm ebatlarında numuneler Şekil 3.13'de gösterildiği gibi sulu mermer kesme makinesinde kesilmiştir.



Şekil 3.13. Sulu mermer kesme makinesi ile deney numunesinin kesilmesi

3.4.2. Deney numunelerine çentik açılması

Sulu mermer kesme makinesinde 200x15 mm ebatlarında kesilerek elde edilen numunelere Şekil 3.14 'de gösterilen kıl testeresi makinesinde 0.3 mm kıl testeresiyle 5 mm boyunda çentik açılmıştır (Şekil3.15).



Şekil 3.14. Kıl testere makinesi



Şekil 3.15. Kıl testeresiyle çentik açılmış numuneler

3.5. Gerilme Şiddet Faktörü Çözümleri

3.5.1. Merkezinde çatlak bulunan numune

$$K_I = C \sigma \sqrt{\pi a} = C \frac{P \sqrt{\pi a}}{BW} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’de P yükü temsil eder. C ise

$$C = 1 + 0.256\left(\frac{a}{W}\right) - 1.152\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 12.20\left(\frac{a}{W}\right)^3 \quad (3.2)$$

eşitliği ile tanımlanır. C ile ilgili diğer formülle ise

$$C = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi a}{W}\right)} \quad , \quad (3.3)$$

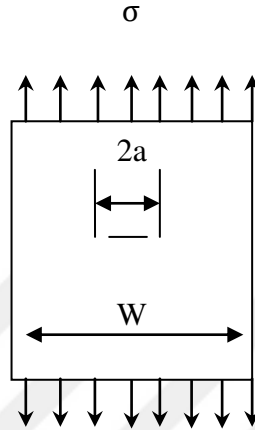
$$C = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{2a}{W}\right)^2}} \quad , \quad (3.4)$$

$$C = \sqrt{\frac{W}{\pi a} \tan\left(\frac{\pi a}{W}\right)} \quad , \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır [37].

C değerleri $a/W \leq 0.35$ için hassastır. (3.6)

Merkezinde çatlak bulunan sonlu kalınlıkta sonsuz levha Şekil 3.16 da verilmiştir.

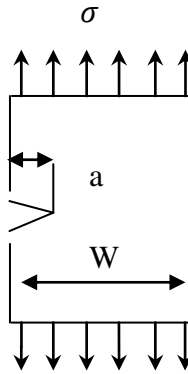


Şekil 3.16. Merkezinde çatlak bulunan sonlu kalınlıkta sonsuz levha

3.5.2. Tek Taraflı Çentikli Numune

$$K_1 = C \sigma \sqrt{\pi a} \quad (3.7)$$

Tek taraflı çentikli numune Şekil 3.17 de verilmiştir.



Şekil 3.17. Tek taraflı çentikli numune

Çok küçük çatlaklar ($a \ll W$) için; (3.8)

$$C=1.12 \quad (3.9)$$

alınır.

$a/W = 0.6$ ya kadar ki değerlerde C ,

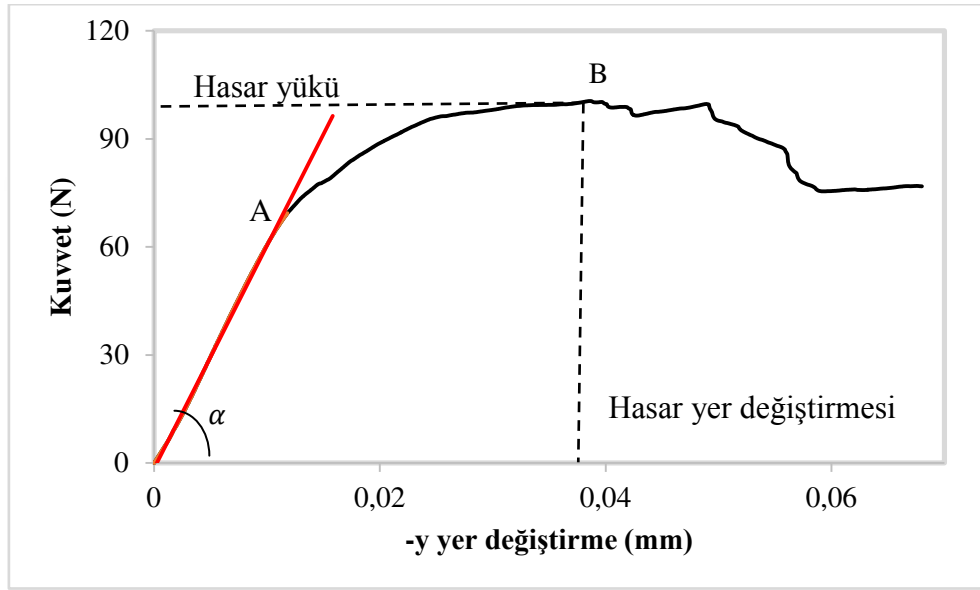
$$C = 1.12 - 0.231\left(\frac{a}{W}\right) + 10.55\left(\frac{a}{W}\right)^2 - 21.72\left(\frac{a}{W}\right)^3 + 30.39\left(\frac{a}{W}\right)^4 \quad (3.10)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır.



4. SONUÇLAR

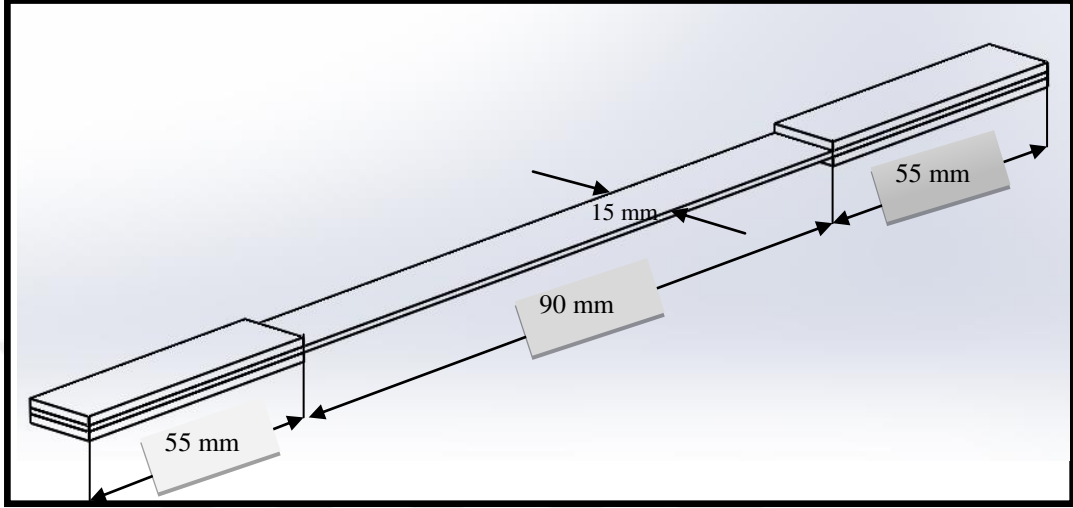
Bu çalışmada 200x150 mm ebatlarında 0° oryantasyon açısına sahip karbon-aramid örgülü hibrit ve cam kumaştan oluşan polietilen matrisli kompozit plaklar kalıplama yöntemiyle elde edilmiş ve çekme dayanımı açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1. Çekme testinde kuvvet - yer değiştirme grafiği

Çekme testi sonucunda Şekil 4.1'deki gibi grafik elde edilmektedir. Grafikte kritik A ve B noktaları elde edilmektedir. B noktası çekme sonucunda numunede hasarın başladığı ve bu noktadan sonra çekme yükünün azalmaya başladığı noktadır. Dolayısıyla bu nokta hasar yükünü veren noktadır. Hasar yüküne karşılık numunede meydana gelen uzama hasar yer değiştirmesini vermektedir. A noktası ise çekme durumunda kuvvet-yer değiştirme grafiğinin lineer (doğrusal) değiştiği bölgedir. Bu noktadan sonra lineerlik bozulmaktadır. Bu lineer bölgenin eğimi gerilme-şekil değiştirme grafiği için elastisite modülünü vermektedir. Bu sebeple çalışmada A ve B noktalarını veren hasar yükü, hasar yer değiştirmesi ve elastisite modülü her bir numune için elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

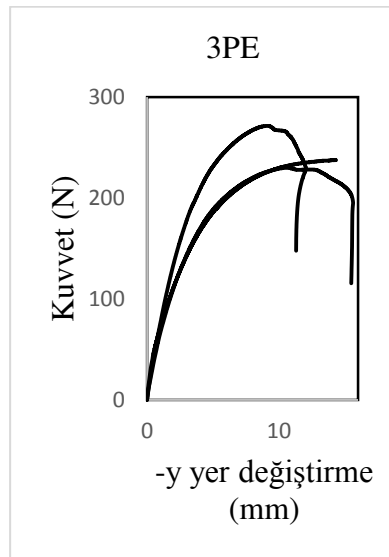
Çekme testi Şekil 4.2’de görüldüğü gibi numuneler 55 mm uzunluğundaki çenelere bağlanmış ve alt çene sabit üst çene hareketli olacak şekilde 0.5 mm/dk hız ile deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Deney numunelerinin ebatları.

4.1. Üç Tabakalı Polietilen Plağın Çekme Testi

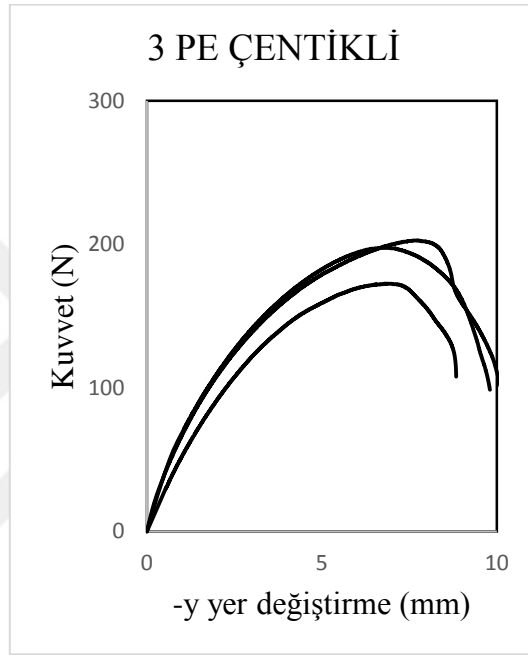
3 tabakalı 1.5 mm et kalınlığında polietilen numune çekme testine tabi tutulmuştur. Aynı özellikteki her bir deney için 3 adet numune kullanılarak deney sonucu Şekil 4.3’de 3PE in her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.3. Üç tabakalı polietilen numunelerin kuvvet-yer değiştirme grafiği

4.2. Çentikli 3 Tabakalı Polietilen Plâın Çekme Davranışı

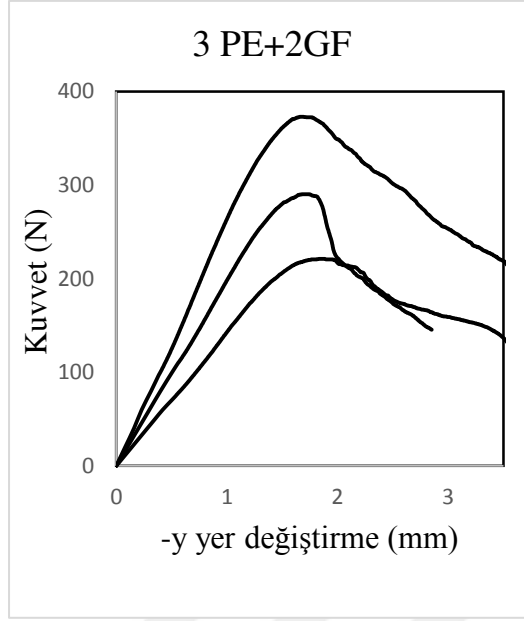
3 tabakalı polietilen (3PE) numunelerine 0.3 mm et kalınlığında kıl testeresiyle çentikler açılmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Aynı özellikte ki her bir deney için 3 adet numune kullanılarak deney sonucunda Şekil 4.4'de 3PE çentikli her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değıştirme grafiğı çizilmiştir.



Şekil 4.4. Üç tabakalı çentikli polietilen plâın kuvvet-yer değıştirme grafiğı

4.3. Üç Polietilen Matrisli İki Cam Fiber Takviyeli Kompozit Plâın Çekme Davranışı

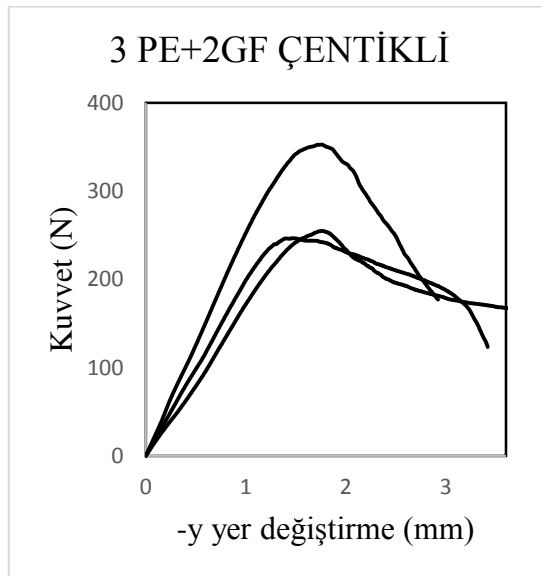
Şekil 3.10 a)'da gösterildiğı gibi polietilen ve cam fiber kumaş dizilimi yapıldıktan sonra kalıpta üretimi yapılan 1.5 mm et kalınlığındaki kompozit plak (3PE+2GF) çekme testine maruz bırakıldığında aynı özellikte ki 3 adet numune kullanılarak deney sonucunda Şekil 4.5'te 3PE+2GF her bir numunesi için elde edilen Kuvvet-yer değıştirme grafiğı elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Üç polietilen matrisli İki cam fiber takviyeli kompozit (3PE+2GF) plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği

4.4. Çentikli 3 Polietilen Matrisli 2 Cam Fiber Takviyeli Kompozit Plağın Çekme Testi

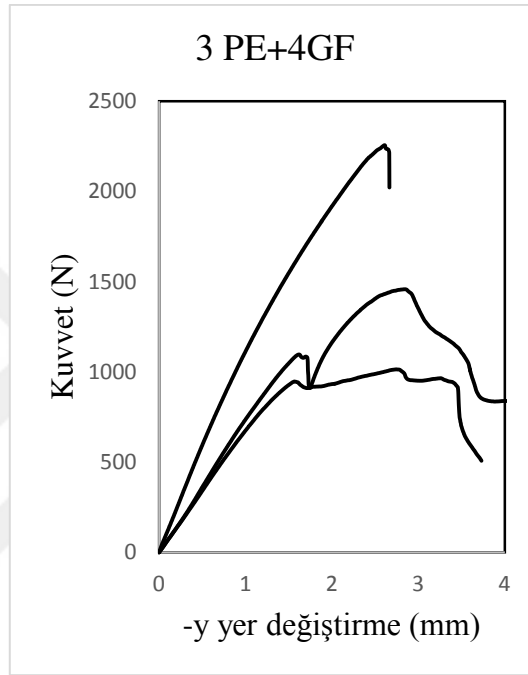
Çentik açılmış 3 polietilen matrisli 2 cam fiber kumaş takviyeli kompozit 3PE+2GF plağın aynı özellikteki 3 adet numune kullanılarak deney sonucunda Şekil 4.6’da 3PE+2GF çentiklinin her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Çentikli 3 polietilen matrisli 2 cam fiber takviyeli kompozit plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği

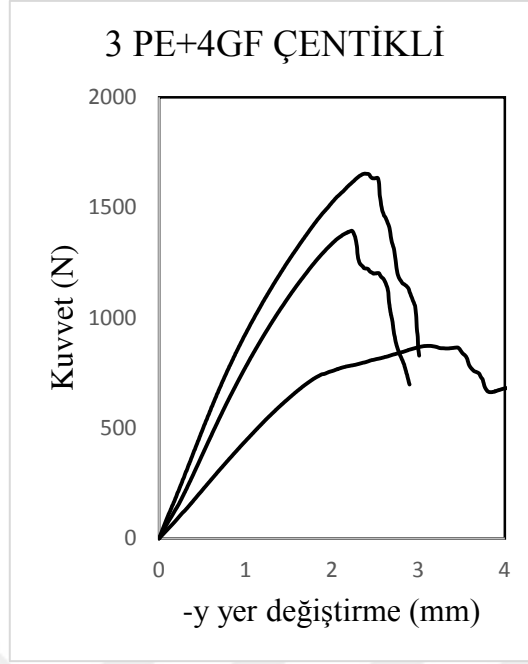
4.5. Üç Polietilen Matrisli Dört Cam Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi

Şekil 3.10 b)'de tabaka dizilimine uygun olarak kalıba yerleştirilen polietilen matris malzemesi ve cam fiber kumaş takviye elemanı ile 1.5 mm et kalınlığında üretilen kompozit (3PE+4GF) plâğın aynı özellikteki 3 adet numune kullanılarak deney sonucunda Şekil 4.7' de 3PE+4GF 'nin herbir numunesi için elde edilen kuvvet yer değıştirme grafiğı elde edilmiştir.

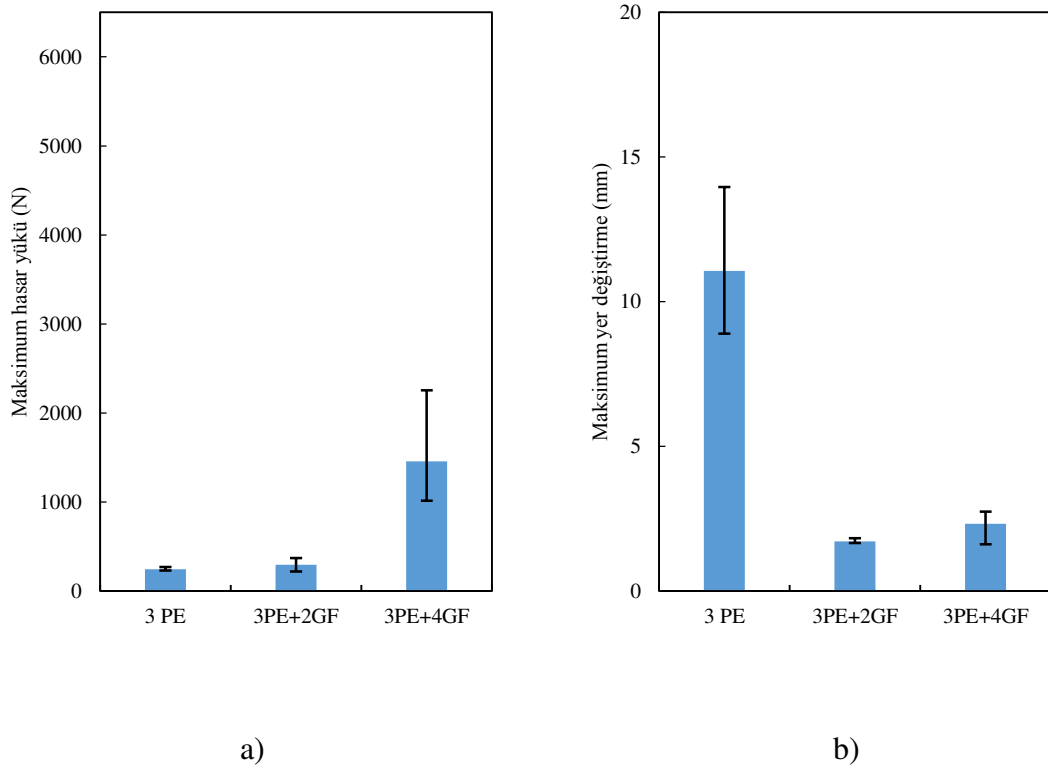


Şekil 4.7. Üç polietilen matrisli dört cam fiber takviyeli kompozit (3PE+4GF) plâğın kuvvet-yer değıştirme grafiğı

Üretimi yapılan 3 polietilen matrisli 4 cam fiber takviyeli kompozit (3PE+4GF) plâğa 3 mm kıl testeresiyle 5 mm derinlikte çentik açılmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Aynı özellikteki 3 adet numune kullanılarak deney sonucunda Şekil 4.8'de 3PE+4GF çentiklinin her bir numunesi için elde edilen kuvvet -yer değıştirme grafiğı elde edilmiştir.



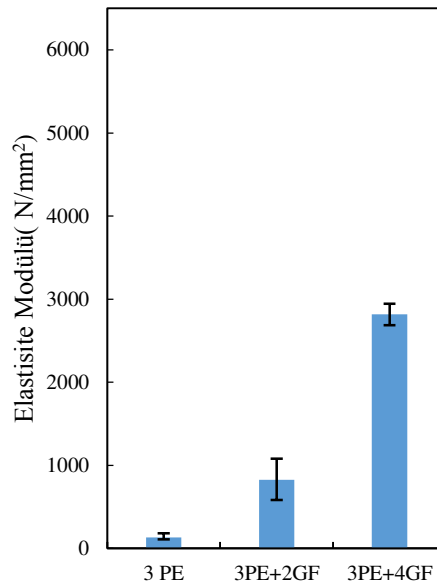
Şekil 4.8. Çentikli 3 polietilen matrisli 4 cam fiber takviyeli kompozit (3PE+4GF) plağın kuvvet yer değiştirme grafiği



Şekil 4.9. Polietilen matrisli kompozit plağa cam fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Maksimum yer değiştirmeye etkisi

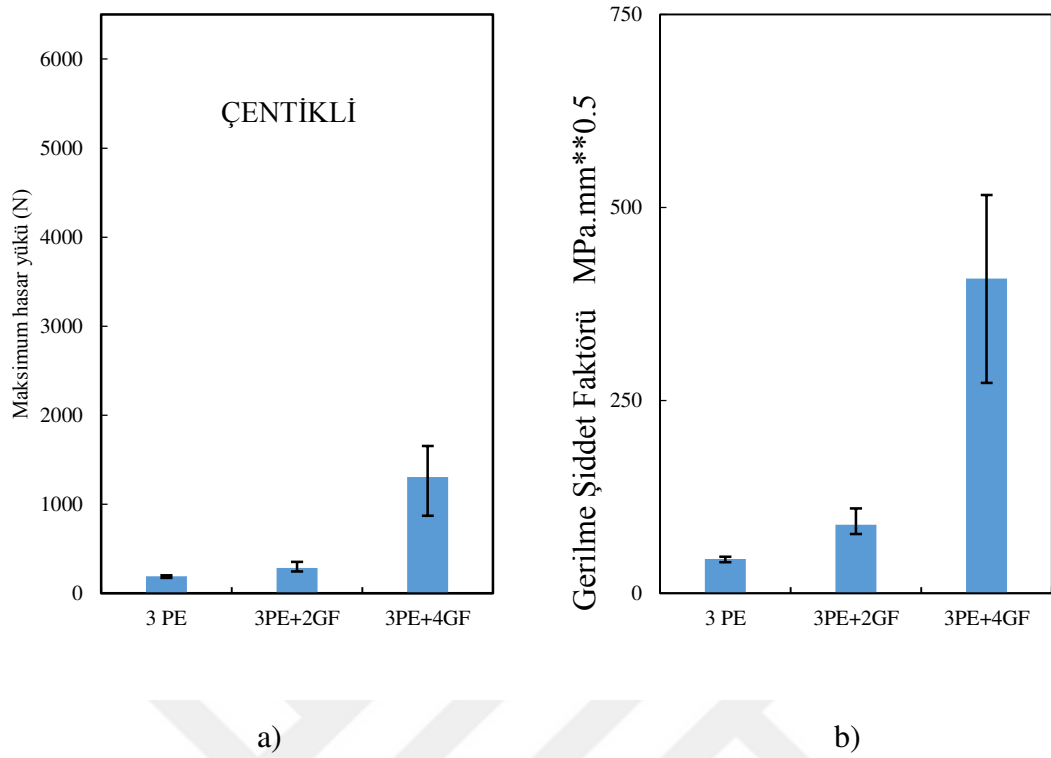
Şekil 4.9 a)'da 1.5 mm et kalınlığında 3 tabakalı polietilen plakta meydana gelen maksimum hasar yükü ortalama 246 N, 2 tabakalı cam fiber takviyeli plakta 295 N ve 4 tabakalı cam fiber takviyeli plakta ise 1455 N olarak elde edilmiştir. 3 tabakalı polietilen matris malzemesine cam fiber takviye sayısının artırılması hasar yükünü yaklaşık 4 kat artırmıştır.

Şekil 4.9 b)'de 3 katlı polietilen plakta maksimum yer değiştirme ortalama 11 mm, 2 tabakalı cam fiber takviyeli plakta 1.7 mm ve 4 tabakalı cam fiber takviyeli plakta 2.3 mm elde edilmiştir. Polietilen mekanik özelliği nedeniyle sünmeye çok müsait olduğundan dolayı yer değiştirme oldukça yüksek olmuşken 4 tabaka cam fiber takviyesinde ise hasar yükü çok yüksek olmasından dolayı yer değiştirmesi 2 tabaka cam fiber takviyesinden kısmen yüksek elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Polietilen matrisli kompozit plağa cam fiber kumaş takviyesinin elastisite modülüne etkisi

Şekil 4.10'da plakların elastisite modülleri verilmiştir. 3 tabakalı polietilen plağın elastisite modülü 133 MPa, 2 tabakalı cam fiber takviyeli plağın 825 MPa ve 4 tabakalı cam fiber takviyeli plağın elastisite modülü ise 2817 MPa olarak elde edilmiştir. 2 tabaka cam fiber takviyesinin takviyesiz plağa göre elastisite modülünü 692 MPa artırırken 4 tabaka cam fiber takviyesi ise 2813 MPa artırmıştır. Fiber takviye sayısının artması elastisite modülünü çok fazla artırmıştır.

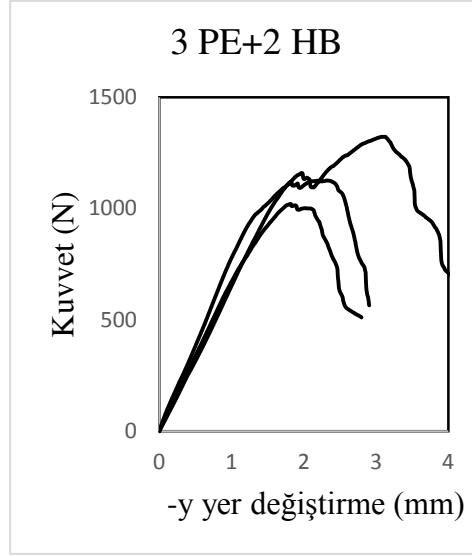


Şekil 4.11. Çentikli polietilen matrisli kompozit plağa cam fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Gerilme Şiddet faktörüne etkisi

Çentikli numuneler için Şekil 4.10 a) Maksimum hasar yükünü, b) çentik faktörünü göstermektedir. Çentik plaklarda hasar yükünü: 3 polietilenli numunede 246 N'dan 190 N'a, 2 cam fiber takviyeli numunede 295 N'dan 285 N'a ve 4 cam fiber takviyeli numunede ise 1455 N'dan 1308 N'a düşürmüştür. Çentik her numunede hasar yükünü azaltmış ancak çok büyük oranda olmamıştır.

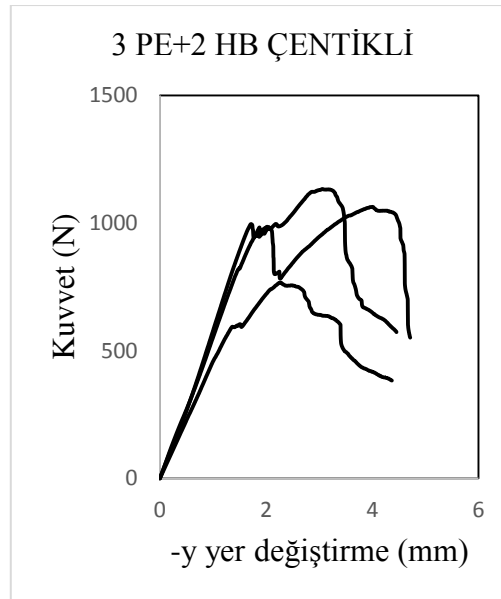
4.6. Üç Polietilen Matrisli İki Hibrid Fiber Takviyeli Kompozit Plâğın Çekme Testi

Şekil 3.10 a)'da verilen tabaka dizilimine uygun olarak 3 tabaka polietilen matrisli ve 2 tabaka karbon-aramid kumaş takviyeli olarak üretilmiş olan numuneler (3PE+2HB)çekme testine tabi tutulmuştur. Aynı özellikteki 3adet numune kullanılarak deney sonucunda Şekil 4.12'de 3PE+2HB in her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Üç polietilen matrisli iki hibrid fiber takviyeli kompozit plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği.

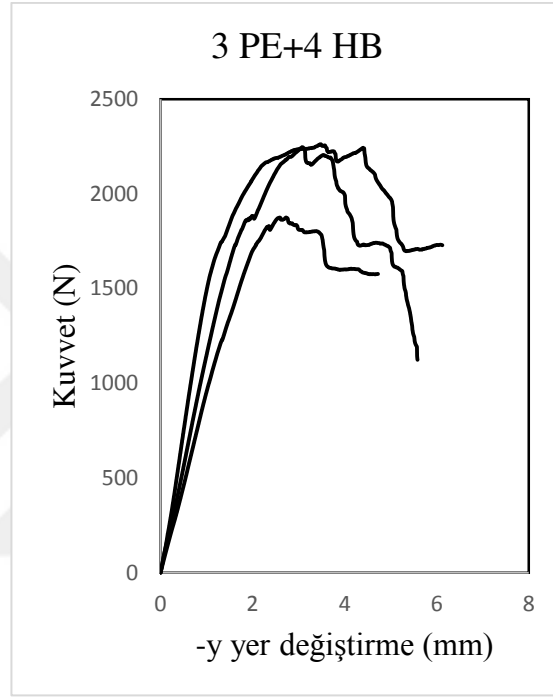
Şekil 3.10 a)'da verilen tabaka dizilimine uygun olarak 3 tabaka polietilen matrisli ve 2 tabaka karbon-aramid kumaş takviyeli olarak üretilen numunelerde çentik açıldıktan sonra çekme cihazında aynı özellikteki 3 adet numune kullanılarak 0.5 mm/dk hız ile çekildiğinde deney sonucu Şekil 4.13'de 3PE+2HB çentiklinin her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Çentikli 3 polietilen matrisli 2 hibrid fiber takviyeli kompozit (3PE+2HB)plağın kuvvet yer değiştirme grafiği.

4.7. Üç Polietilen Matrisli Dört Hibrid Fiber Takviyeli Kompozit Plakın Çekme Testi

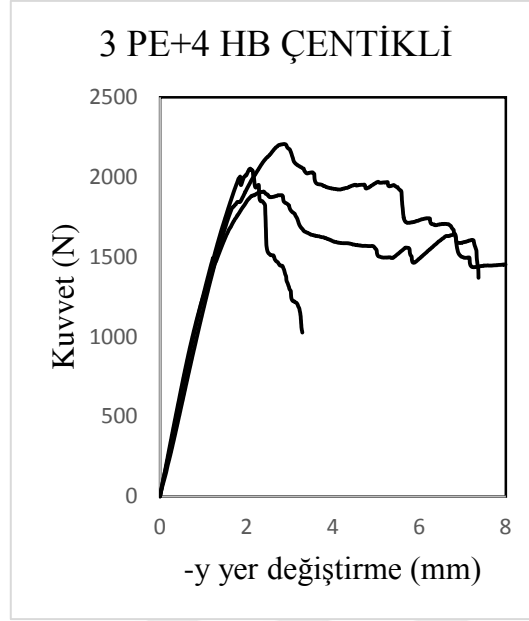
Şekil 3.10 b)'de ki tabaka diziliminde 3 polietilen matrisli ve 4 karbon-aramid hibrid fiber takviyeli kompozit plak üretimi yukarıda anlatıldığı gibi üretimi gerçekleştirilmiş ve plaktan elde edilen numuneler aynı özellikteki 3 adet numune kullanılarak çekme testine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda Şekil 4.14'de 3PE+4HB'in her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği elde edilmiştir.



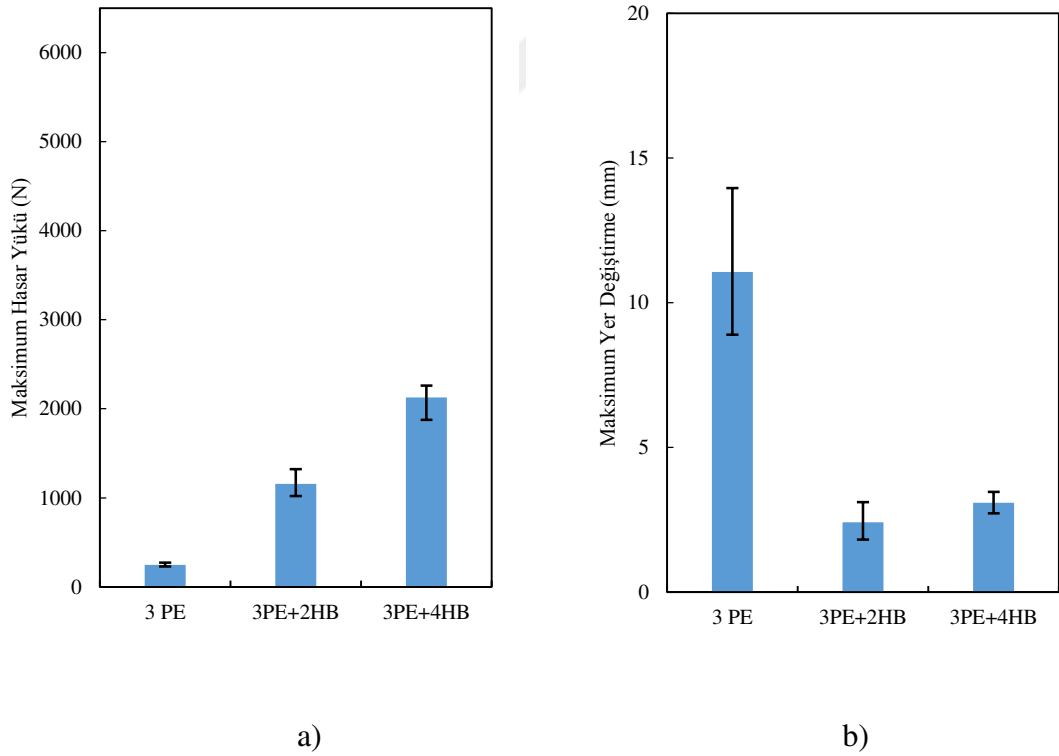
Şekil 4.14. Üç polietilen matrisli dört hibrid fiber takviyeli kompozit (3PE+4HB) plakın kuvvet-yer değiştirme grafiği.

4.8 Çentikli Üç Polietilen Matrisli Dört Hibrid Fiber Takviyeli Kompozit Plakın Çekme Testi

3 polietilen matrisli 4 hibrid fiber takviyeli kompozit plaktan (3PE+4HB) elde edilen deney çubuklarına çentik açılarak aynı özellikteki 3 adet numune çekme testine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda Şekil 4.15'de 3PE+4HB' in her bir numunesi için elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği elde edilmiştir.

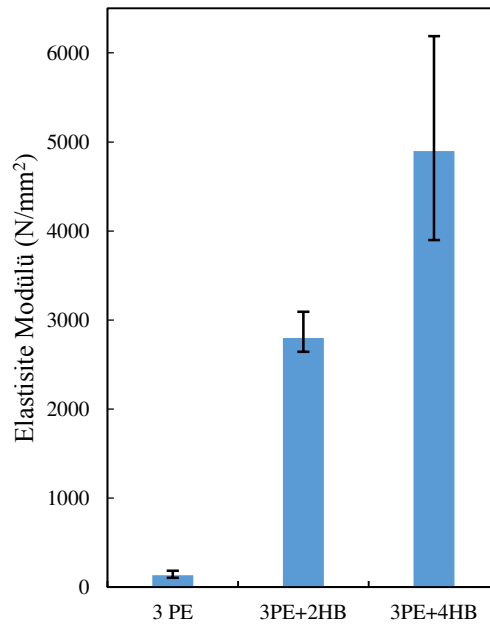


Şekil 4.15. Çentikli 3 polietilen matrisli 4 hibrid fiber takviyeli kompozit (3PE+4HB) plağın kuvvet-yer değiştirme grafiği.



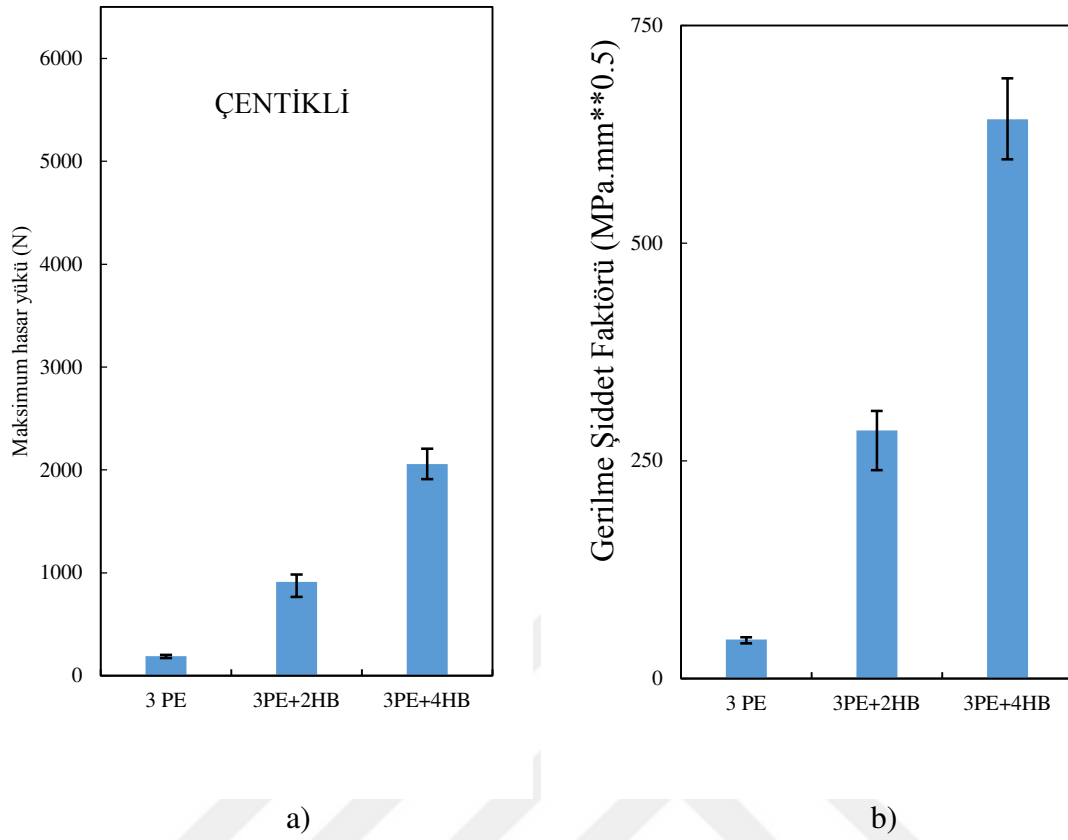
Şekil 4.16. Polietilen matrisli kompozit plağa hibrid fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Maksimum yer değiştirmesine etkisi

Şekil 4.16 a)'da maksimum hasar yükü 1.5 mm et kalınlığında 3 tabakalı polietilen plak için 246 N, 2 tabakalı karbon-aramid hibrid fiber takviyeli plak için 1156 N ve 4 tabakalı karbon-aramid hibrid fiber takviyeli plak için 2128 N olarak elde edilmiştir. 3 tabakalı polietilenli plağa 2 hibrit kumaş katılması hasar yükünü 4.6 katına çıkarırken 4 hibrid kumaş katılması 8.6 katına çıkarmıştır. Karbon-aramid hibrid kumaş takviyesi miktarı hasar yükünü oldukça artırmıştır. Şekil 4.16 b)'de yer değıştirme değeri 3 tabakalı polietilen plak için 11 mm, 2 tabakalı hibrid takviyeli plak için 2.4 mm ve 4 tabakalı hibrid takviyeli plak için 3.1 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Polietilen matrisli kompozit plağa hibrid fiber kumaş takviyesinin, elastisite modülüne etkisi

Şekil 4.17 b)'de elastisite modülü 3 tabakalı polietilen plak için 133 MPa, 2 tabakalı hibrid fiber takviyeli kompozit plak için 2799 MPa ve 4 tabakalı hibrid fiber takviyeli kompozit plak için 4896 MPa olarak elde edilmiştir. 3 tabakalı polietilen plağa 2 tabakalı hibrit fiber takviye edilmesi elastisite modülünü 21 katına çıkarırken 4 tabakalı hibrid fiber takviye edilmesi 36 katına çıkarmıştır.

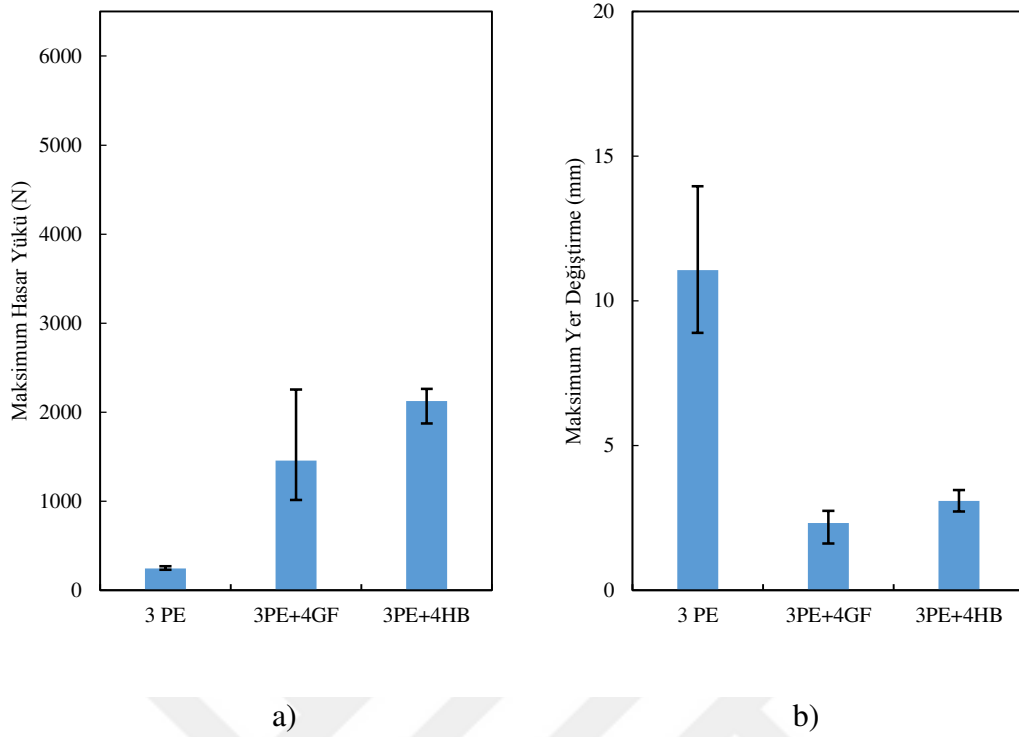


Şekil 4.18. Çentikli polietilen matrisli kompozit plağa hibrid fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Gerilme şiddet faktörüne etkisi

Şekil 4.18 a)'da çentikli numunelerin hasar yükünü göstermektedir. Çentik hasar yükünü 3 polietilenli plakta 246 N'dan 190 N'a, 2 tabakalı hibrid takviyeli plakta 1157 N'dan 957 N'a ve 4 tabakalı hibrid fiber takviyeli plakta 2128 N'dan 2057 N'a düşürmüştür. Çentik tüm numunelerde hasar yükünü nispeten düşürmüştür.

4.9. 3 Polietilen Matrisli Kompozit Plağa 4 Tabakalı Cam ve Hibrid Fiber Takviyesinin Etkisinin Karşılaştırılması

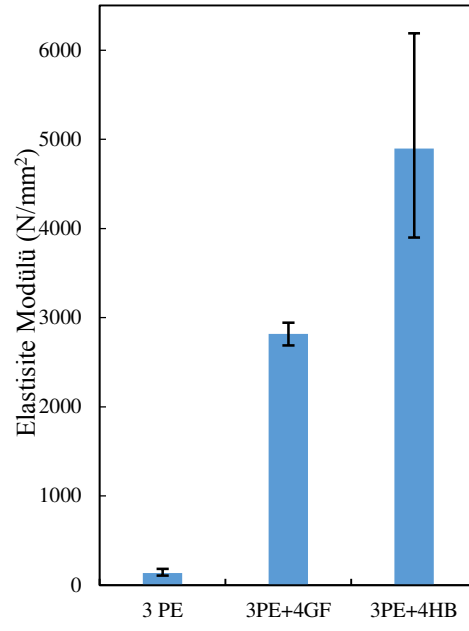
Üç polietilen matrisli kompozit plağa dört tabakalı cam ve hibrid fiber takviyesinin etkisinin karşılaştırılması Şekil 4.19 a ve b de sütun grafiği şeklinde verilmiştir.



Şekil 4.19. 3 Tabakalı polietilen matrisli kompozit plağa 4 tabakalı cam ve hibrid fiber takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Maksimum yer değiştirmeye etkisi

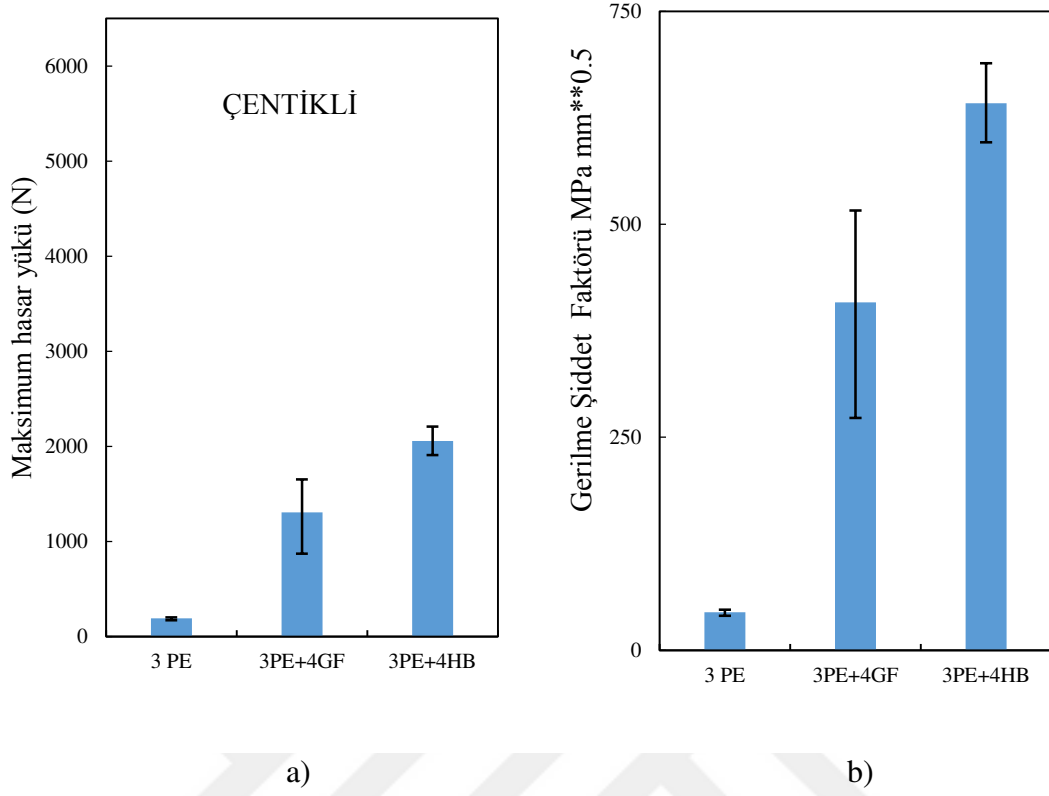
Şekil 4.19 a)'da hasar yükü: 3 tabakalı polietilen plakta 246 N, 4 tabakalı cam fiber takviyeli plakta 1456 N ve 4 tabakalı hibrid fiber takviyeli plakta 2128 N olarak elde edilmiştir. Polietilen matris içerisine fiber takviyesi hasar yükünü katılan fiberin mekanik özelliklerine bağlı olarak artırmıştır. Karbon-aramid kumaşın mekanik özellikleri cam kumaştan çok daha üstün olduğundan dolayı hasar yükünü daha fazla artırmıştır.

Şekil 4.19 b)'de yer değiştirme değerleri 3 tabakalı polietilen plak için 11 mm, 4 tabakalı cam fiber takviyeli plak için 2.3 mm ve 4 tabakalı hibrid fiber takviyeli plak için 3.1 mm olarak elde edilmiştir. Polietilen plak sünek olduğundan dolayı yer değiştirmesi, takviyeli plaklara göre oldukça yüksektir.



Şekil 4.20. 3 Tabakalı polietilen matrisli kompozit plağa 4tabakalı cam ve hibrid fiber kumaş takviyesinin, elastisite modülüne etkisi

Şekil 4.20’de Elastisite Modülü 3 katmanlı polietilen plak için 133 MPa, 4 katmanlı cam fiber takviyeli plak için 2817 MPa ve 4 tabakalı hibrid fiber takviyeli plak için 4896 MPa olarak elde edilmiştir. Hasar yükünde olduğu gibi elastisite modülünün artışı takviye elemanın mekanik özelliklerinin artmasıyla açıklanır.



Şekil 4.21. Çentikli 3 tabakalı polietilen matrisli kompozit plağa 4 tabakalı cam ve hibrid fiber kumaş takviyesinin a)Maksimum hasar yüküne, b)Gerilme Şiddet faktörüne etkisi

Şekil 4.21 a)'da numunelere açılan çentik 3 tabakalı polietilen plakta hasar yükünü 246 N'dan 190 N'a, 4 tabakalı cam fiber takviyeli plakta 1456 N'dan 1307 N'a ve 4 tabakalı hibrid fiber takviyeli plakta 21289 N'dan 2057 N'a düşürmüştür. Sınırlı miktarda her bir numune için açılan çentiğin hasar yükünü düşürdüğü gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Çalışmada polietilen matrisli cam fiber ve hibrid fiber takviyeli termoplastik kompozit plakalar laminasyon tekniği ile tabakalı üretilmiştir. Bu plakalardan 200x15x1.5 mm boyutlarında normal ve çentikli şekilde deney numuneleri hazırlanıp çekme testi yapılmıştır. Bu çekme testi sonucunda;

- 1.5 mm et kalınlığında 3PE, 3PE+2GF ve 3PE+4GF termoplastik kompozit plak için çizilen hasar yükü ve elastisite modülü grafiklerinden fiber tabaka sayısı arttıkça maksimum hasar yükünün ve elastisite modülünün artmış olduğu, maksimum yer değiştirmenin ise tabaka sayısının artışıyla arttığı ancak saf polietilen malzemeden üretilen 3PE için çizilen grafikte yer değiştirmenin daha fazla çıktığı görülmüştür.
- 1.5 mm et kalınlığında 3PE, 3PE+2GF ve 3PE+4GF çentikli termoplastik kompozit numunelerde tabaka sayısı arttıkça maksimum hasar yükü ve kırılma tokluğunda artma gözlenmiştir.
- 1.5 mm et kalınlığında 3PE, 3PE+2HB ve 3PE+4HB termoplastik kompozit plak için çizilen maksimum hasar yükü ve elastite modülü grafiklerinden fiber tabaka sayısı arttıkça maksimum hasar yükünün ve elastisite modülünün artmış olduğu maksimum yer değiştirmenin ise tabaka sayısının artışıyla arttığı ancak 3PE için çizilen grafikte maksimum yer değiştirmenin daha fazla çıktığı görülmüştür.
- 1.5 mm et kalınlığında 3PE, 3PE+2HB ve 3PE+4HB çentikli termoplastik kompozit numunelerde tabaka sayısı arttıkça maksimum hasar yükü ve kırılma tokluğunda artma gözlenmiştir.
- 1.5 mm et kalınlığında 3PE, 3PE+4GF ve 3PE+4HB termoplastik kompozit numunelerinden saf polietilen malzemeden üretilen 3PE, cam ve hibrid fiber takviyeli numunelerden maksimum hasar yükü daha fazla çıkmıştır. Çünkü yapısında ki yüksek rijitliğe sahip karbon fiberler büyük yer değiştirmeleri engeller. 3PE+4HB numuneleri de 3PE+4GF' ye göre maksimum hasar yükü daha fazla olduğu görülmüştür. 3PE numunelerinde maksimum yer değiştirme, elyaf takviyeli numunelerdeki maksimum yer değiştirmelerden daha fazladır.
- 1.5 mm et kalınlığında 3PE, 3PE+4GF ve 3PE+4HB çentikli termoplastik kompozit numuneler, maksimum hasar yükü ve kırılma tokluğu grafikleri açısından elyaf takviyeliler 3PE'e göre daha fazladır. 3PE+4HB ve 3PE+4GF çentikli termoplastik

kompozit numunelerde hibrid elyaf takviyeli termoplastik kompozit numunelerin maksimum hasar yükü ve kırılma tokluğu daha fazladır.

Tasarımcılar yüksek rijitlik ve hafiflik gerektiren yapılar da hibrid malzeme kullanımını bu noktada dikkate alabilirler. Ancak bu noktada cam fibere göre maliyet hesabı ortaya çıkar. Sıcaklığa bağlı olarak değişim gösteren ve termoset kompozitlere göre termoplastik malzemelerin kullanımı, ihtiyaç alanlarına göre tercih edilebilir.

Çalışmada imal edilen termoplastik kompozitler için darbe testleri ve burkulma analizleri yapılabilir. Ayrıca farklı yapılar için örneğin; bal peteği termoplastik kompozit malzemeler için de bu testlerin yapılması mümkün olabilir.

Yine termoplastik kompozit malzemenin laminasyon tekniği dışında farklı bir yöntemle imal edilip bu malzemelere uygulanacak çekme testleri sonuçları, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir. Fiber takviye açısı diğer bir değişken parametre olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Moussavi-Torshizi, S. E., Dariushi, S., Sadighi M., Safarpour, P. 2010.** A study on tensile properties of a novel fiber/metal laminates. Materials Science and Engineering.,
- [2] **Kansu Y.,** Cam Küre, Caco3 Ve Talk Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Marmara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü., İstanbul, 2005
- [3] **Bitirgiç Ç.,** Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında PP Malzemeye Katılan ABS Ve Cam Elyafın Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010
- [4] **Russo, P., Acierno, D., Simeoli, G., Lannace, S., Sorrentino, L. 2013.** Flexural and impact response of woven glass fiber fabric/polypropylene composites. Composites.,
- [5] **Baydar, D., Bekem, A., Doğu, M., Gemici, Z., Ünal, A. 2012.** Production and caracterization of continuous e-glass fiber reinforcement polypropylene composites. Journal of Engineering and Natural Science.,
- [6] **Mohammad Razavi-Nouri,** Fatemeh Jafarzadeh-Dogouri, Abduroul Oromiehie, and Amir Ershad Langroudi, Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Chopped Rice Husk Filled Polypropylene Composites, Iranian Polymer Journal 15 (9), 757-766, 2006
- [7] **S.Y. Fu, B. Lauke, E. Ma"der, C.-Y. Yue, X. Hu,** Tensile Properties Of Short-Glass-Fiber- And Short-Carbon-Fiber-Reinforced Polypropylene Composites, Composites: Part A 31, 1117–1125, 2000
- [8] **Onat,A.,(2015),** Sakarya meslek yüksek okulu, Makine ve Metal Teknolojileri B[21] Onat,A.,(2015), Sakarya meslek yüksek okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,Metalurji programı, Kompozit malzemeler ders notu, Sakarya.
- [9] **Suresh, S., Kumar, V. S. 2014.** Experimental determination of the mechanical behavior of glass fiber reinforced polypropylene composites. Procedia Engineering.

- [10] Boria, S., Obradovic, J., Belingardi, G. 2015. Experimental and numerical investigations of the impact behaviour of composite frontal crash structures. Composites., 79: 20-27.
- [11] URL 1: Özgen kimya erişim tarihi : 25.06.2019
: <http://www.ozgenkimya.com/Polipropilen.htm>
- [12] URL 2: özgün plastik erişim tarihi : 25.06.2019
<http://www.ozgunplastik.gen.tr/Polipropilen.htm>
- [13] URL 3: Diyadinet.com polipropilen erişimtarihi 26.06.2019
<https://www.diyadinet.com/bilgi-1269-polipropilen>
- [14] URL 4: Özgün plastik, Plastik hammadde toptan alım ve satımı, Erişim tarihi:27.06.2019 <http://www.ozgunplastik.gen.tr/Polipropilen.htm>
- [15] URL 5: Diyadinet. com polietilen Erişim tarihi: 26.06.2019
<https://www.diyadinet.com/bilgi-1200-polietilen>
- [16] Toğuşoğlu, Ç. 2011. Cam fiber ve grafit takviyeli naylon 6 matrisli kompozit malzemelerin bazı mekanik özellikleri ve aşınma mekanizmaları deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir
- [17] URL 6: uygun metal polyamid Erişim Tarihi : 26.06.2019
<http://www.uygunmetal.net/polyamid.aspx>
- [18] URL 7: Resinex Technyl Ürünler Poliamid Erişim Tarihi: 26.06.2019
<https://www.resinex.com.tr/urunler/technyl.html>
- [19] URL 8: Doğuş polimer Plastik , Polyamid Erişim tarihi: 30.06.2019
<http://dogusplastiksanayi.com/polyamid/>
- [20] URL 9: THE REINFORCER, Kompozit malzemeler,Takviye Elemanları 2. hafta, (2016), Erişim tarihi 27.06.2019
file:///C:/Users/TOSHIBA/Desktop/2nd+week_Raw_materials_turkce.pdf
- [21] URL 10: Seyrüsefer, Malzeme bilgisi, Bor elyaf, Erişim Tarihi : 30.06.2019
<http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/bor-elyaf%C4%B1.html>

- [22] **Özer, H. 2015.** Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerin deneysel olarak belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi,U.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği,Bursa
- [23] **URL 11: internet:** Turkchem Kimya Sanayi haber portalı erişim tarihi: 26.06.2019
<http://www.turkchem.net/havacilik-ve-savunma-sanayinde-ileri-kompozit-malzemenin-yeri.html>
- [24] **URL 12:** DOCPLAYER Havacılık Dünyasından Termoplastik Kompozitlere Genel Bir Bakış Erişim Tarihi: 26.06.2019 <https://docplayer.biz.tr/113102105-Havacilik-dunyasindan-termoplastik-kompozitlere-genel-bir-bakis.html>
- [25] **George Marsh,** Next step for automotive materials, Materials Today, p. 36, April 2003
- [26] **URL 13:** Plastik Malzemenin Özellikleri Ve İnşaat Sektöründeki Kullanım Yerleri, Sibel DEMİRASLAN, Erişim tarihi 26.06.2019
<http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/20962160825729430767297744.pdf>
- [27] **Mazumdar, S.K. 2002.** Composites manufacturing, materials, product, and pocess engineering. New York, 416 s.
- [28] **Yağcı, E. 2007.** Tabakalı kompozit ince plakların plak düzlemine dik yükleme etkisi altındaki eğilme analizi. Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [29] **Eker, A. A. 2011.** Plastik Matrisli Kompozitler Ders Notları. YTÜ Makine Mühendisliği Bölümü.
- [30] İnternet malzeme bilimi.net Erişim tarihi: 25.06.2019
<http://debis.deu.edu.tr/userweb//mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>
- [31] **Aktaş, M. 2010.** Kompozit malzeme ders notları. DEÜ Makine mühendisliği bölümü
- [32] **Aricasoy, Ç. 2011.** Kompozit Sektör Raporu. istanbul Ticaret Odası. İstanbul.

- [33] **Türkmen, İ. 2012.** Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa.
- [34] **URL 14:** Kompozit malzemeler ders notu mehmet aktaş erişim tarihi 25.06.2019
<http://debis.deu.edu.tr/userweb//mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>
- [35] **URL 15:** Poliya Tek başına kullanılan vakslar,Erişim Tarihi: 29.06.2019
<https://www.poliya.com/tr/kalip-ayirici-vakslar>
- [36] **URL 16:** Cam elyaf kumaş erişim tarihi: 25.10.2019
http://turkish.dustfiltercloth.com/photo/pl3947019alkali_black_white_woven_glass_fiber_cloth_800gsm_for_dust_collector.jpg
- [37] **Uğuz, A.** Kırılma mekaniğine giriş kitabı, sayfa no;123-125,
- [38] **Gür, M., SOLMAZ, M,Y. (2007).** Tabakalı kompozit plaklarda takviye malzemesi ve oryantasyon açısının gerilme analizine etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi araştırmaları. F.Ü Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ

ÖZGEÇMİŞ

Hilal Filiz ÖZTEKİN 1993 yılında Elazığ'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Orgeneral Bedrettin Demirel lisesinden mezun oldu. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Sürsürü Mah. Cihan Sokak. No:44/B D:8 Merkez/ELAZIĞ

Tel : (545) 362 27 22

E-posta : hilal9323@hotmail.com