

**T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜZEY ÇATLAKLI HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kaan ARSLAN

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı**

Nisan, 2020

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜZEY ÇATLAKLI HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kaan ARSLAN
(Y1713.080002)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye DAHİL

Nisan, 2020

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ



YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1713.080002 numaralı öğrencisi Kaan ARSLAN'ın "YÜZEY ÇATLAKLI HİBRİT KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 31.01.2020 tarihli ve 2020/02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Tezli Yüksek Lisans tezi 12.03.2020 tarihinde kabul edilmiştir.

	<u>Unvan</u>	<u>Adı Soyadı</u>	<u>Üniversite</u>	<u>İmza</u>
ASIL ÜYELER				
Danışman	Dr. Öğr. Üyesi	Lütfiye DAHİL	İstanbul Aydın Üniversitesi	
1. Üye	Prof. Dr.	Ömer Faruk ERKENDİRCİ	İstanbul Aydın Üniversitesi	
2. Üye	Doç. Dr.	Turgut GÜLMEZ	İstanbul Teknik Üniversitesi	
YEDEK ÜYELER				
1. Üye	Dr. Öğr. Üyesi	Vedat ÖZTÜRK	İstanbul Aydın Üniversitesi	
2. Üye	Prof. Dr.	Murat VURAL	İstanbul Teknik Üniversitesi	

ONAY

Prof. Dr. Ragıp Kutay KARACA
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans olarak sunduğum “Yüzey Çatlaklı Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../20..)

Kaan ARSLAN

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca bana bilgi ve tecrübeleriyle her türlü yardımda bulunan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye DAHİL'e ve diğer tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmasının başından sonuna kadar yanımda olan değerli arkadaşım Serkan KILIÇTEK'e teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca maddi ve manevi, her türlü desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2020

Kaan ARSLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	6
3.1 Kompozit Malzemelerin Matris Fazına Göre Sınıflandırılması.....	7
3.1.1 Metal matrisli kompozitler.....	9
3.1.2 Seramik matrisli kompozitler.....	10
3.1.3 Polimer matrisli kompozitler	11
3.1.3.1 Termoplastikler	11
3.1.3.2 Termosetler	12
3.2 Takviye malzemeleri	14
3.2.1 Cam elyaflar	15
3.2.2 Karbon elyaflar	18
3.2.3 Bor elyaflar	19
3.2.4 Aramid elyaflar	19
3.3 Kompozit Malzemelerin Takviye Fazına Göre Sınıflandırılması	21
3.3.1 Elyafli kompozitler	21
3.3.2 Parçacık takviyeli kompozitler.....	22
3.3.3 Tabakalı kompozitler	23
3.3.4 Hibrit kompozitler.....	24
3.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	25
3.4.1 Elle yatırma yöntemi	26
3.4.2 Hibrit el yatırması yöntemi	27
3.4.3 Püskürtme yöntemi	27
3.4.4 Vakum infüzyon yöntemi.....	28
3.4.5 Elyaf (filaman) sarma yöntemi	30
3.4.6 Reçine transfer yöntemi	31
3.4.7 Otoklav yöntemi.....	32
3.4.8 Pultrüzyon yöntemi	33
3.5 Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı	34
3.5.1 Düşük hızlı darbe	34
3.5.2 Enine darbe	35
3.5.3 Darbe testleri	35
3.5.4 Tabakalı kompozitlerde darbe sonrası meydana gelen hasar türleri	38

3.5.4.1 Matris hasarı.....	39
3.5.4.2 Delaminasyon.....	39
3.5.4.3 Fiber kopması.....	40
3.5.4.4 Nüfuziyet.....	40
4. MATERİYAL VE YÖNTEM.....	41
4.1 Materyal	41
4.1.1 Elyaf lar.....	41
4.1.2 Epoksi ve sertleştirici	41
4.2 Yöntem	42
4.2.1 Epoksinin hazırlanması ve sisteme verilmesi	44
5. DENEYLER VE BULGULAR	46
5.1 Yakma Deneyi.....	46
5.1.1 Deney numunelerinin hazırlanışı ve uygulanması	46
5.2 Çekme Deneyi	48
5.2.1 Deney numunelerinin hazırlanışı ve uygulanması	48
5.3 Charpy Deneyi.....	56
5.3.1 Deney numunelerinin hazırlanışı ve uygulanması	56
6. SONUÇ.....	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

KISALTMALAR

2c	: Yüzey Çatlı Genişliği
a	: Yüzey Çatlağı Derinliği
b	: Numune Yüksekliği
h	: Numune Kalınlığı
Kc	: Darbe Tokluğu
Ke	: Darbe Enerjisi
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
Pf	: Fiber Yoğunluğu
Pk	: Kompozit Yoğunluğu
PMK	: Polimer Matrisli Kompozitler
SMK	: Seramik Matrisli Kompozitler
t	: Numune Kalınlığı
W	: Numune Genişliği
Wf	: Fiber Ağırlığı
Wk	: Kompozit Ağırlığı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Reçinelerin kıyaslanması.....	14
Çizelge 3.2: Cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 4.1: Reçinenin Mekanik Özellikleri	41
Çizelge 4.2: Epoksinin Özellikleri.....	42
Çizelge 4.3: Kullanılan elyafların istif sıraları ve açıları.....	43
Çizelge 5.1: Yakma testi sonucu elde edilen veriler.....	47
Çizelge 5.2: Fiber hacim oranı tablosu	48
Çizelge 5.3: Çekme testi numune değerleri.....	49
Çizelge 5.4: Çekme testi sonuçları	52
Çizelge 5.5: Darbe enerjisi tablosu.....	58
Çizelge 5.6: Darbe tokluğu tablosu	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Matris malzemelerinin sınıflandırılması	9
Şekil 3.2: Metal matrisli kompozit örnekleri	10
Şekil 3.3: Sermaik matrisli kompozit örneği	11
Şekil 3.4: Elyaf dokuma çeşitleri	15
Şekil 3.5: Elyaf çeşitleri	20
Şekil 3.6: Değişik şekillerde yerleştirilmiş elyaflar	22
Şekil 3.7: Parçacık takviyeli kompozit	23
Şekil 3.8: Tabakalı kompozit	23
Şekil 3.9: Farklı takviye elemanlarına sahip hibrit kompozit	25
Şekil 3.10: Elle yatırma yöntemi (Kchany, 2015)	27
Şekil 3.11: Püskürtme yöntemi	28
Şekil 3.12: Vakum infüzyon yöntemi	29
Şekil 3.13: Filaman sarma yöntemi	30
Şekil 3.14: Reçine transfer yöntemi	32
Şekil 3.15: Otoklav yöntemi	32
Şekil 3.16: Pultrüzyon yöntemi	33
Şekil 3.17: Charpy ve Izod testleri	36
Şekil 3.18: Ağırlık düşürme test cihazı	38
Şekil 3.19: Kompozitlerde hasar türleri	38
Şekil 3.20: Matris hasarı türleri	39
Şekil 4.1: Çerçevenin oluşturulması ve vakslama işlemi	43
Şekil 4.2: Sistemin vakumlanması	44
Şekil 4.3: Epoksinin sisteme verilmesi	45
Şekil 4.4: Üretilen numuneler	45
Şekil 5.1: Yakma testi numunesi	47
Şekil 5.2: ASTM E-740 standartı	49
Şekil 5.3: 8L çekme testi numunesi teknik resmi	50
Şekil 5.4: Çekme testi numuneleri	50
Şekil 5.5: Yüzey çatlaklı çekme testi numuneleri	51
Şekil 5.6: Instron 3382 çekme testi cihazı	51
Şekil 5.7: 8L ve 8L (Ç) kuvvet - uzama grafiği	53
Şekil 5.8: 10L ve 10L (Ç) kuvvet - uzama grafiği	53
Şekil 5.9: 12L ve 12L (Ç) kuvvet - uzama grafiği	54
Şekil 5.10: Yüzey çatlaksız numunelerdeki deformasyon	55
Şekil 5.11: Yüzey çatlaklı numunelerdeki deformasyon	55
Şekil 5.12: Numunelerde meydana gelen hasar modları	56
Şekil 5.13: Charpy testi numunesi teknik resmi	56
Şekil 5.14: Darbe testi numuneleri	57
Şekil 5.15: Devotrans 1C darbe test cihazı	57
Şekil 5.16: Darbe testi sonrası numuneler	58

YÜZEY ÇATLAKLI HİBRİT KOMPOZİTİLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Hızla gelişen teknoloji ve üstün malzeme arayışı sebebiyle son yıllarda kullanılmakta olan en önemli malzemelerden biri kompozittir. Kompozit, iki ya da daha fazla farklı malzemenin makro seviyede birleşmesiyle, ortaya yeni bir malzeme çıkarma amacıyla üretilen malzemedir. Kompozit malzemelerin çok tercih edilmesinin nedeni, ihtiyaca göre matris ve takviye bileşenlerinin belirlenebilmesidir. Kompozit malzemeler, otomotiv, savunma ve uzay sanayi, havacılık ve spor malzemeleri gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, vakum infüzyon yöntemi ile 8, 10 ve 12 tabakalı olmak üzere değişik kalınlıklarda 3 adet cam – karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit plaklar üretilmiştir. Bu plaklardan standartlara uygun bir şekilde yakma, charpy ve çekme deneyi numuneleri elde edilmiştir. Kompozit malzemelerde yüzey çatlaklarının etkisini araştırmak için çekme deneyi numunelerinin yarısına yüzey çatlakları açılmıştır. Ardından numunelerin fiber hacim oranlarını, kırılma enerjisi, tokluğu ve mekanik özelliklerini belirlemek için numuneler üzerine yakma, charpy ve çekme testi uygulanmıştır.

Uygulanan testlerin sonucunda tabaka sayısı arttıkça yük dayanımının, darbe enerjisinin ve tokluğunun arttığı, yüzey çatlaklarının yük dayanımını önemli ölçüde düşürdüğü ve özellikle yüzey çatlaklı numunelerde kırılmanın çatlak bölgesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda charpy testi sonucunda numunelerde matris hasarı ve fiber kopması, çekme testi sonucunda ise fiber kopması ve yüksek oranda delaminasyon gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Hibrit kompozit, Cam elyaf, Karbon Elyaf, Yüzey Çatlakları*

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID COMPOSITES WITH SURFACE CRACKS

ABSTRACT

Because of the fast technology development and superior materials research, composites have become one of the most commonly used materials in recent years. Composite is a result of two or more material's macro level combination, to gain a new material. The reason of preferability of composites is the ability of choosing matrix and reinforcement phases according to the need. Composite materials are commonly used in automotive, defence, space, aviation and sports materials industry. In this study, 8, 10 and 12 layered, glass – carbon fiber reinforced, hybrid composite plaques were produced with vacuum infusion technique. Burning, charpy and tension test samples were obtained from the plaques according to the standarts. Half of the tension test samples were with surface cracks to research the affect of the cracks. Then, to determine fiber volume ratios, fracture energies, toughneses and mechanical properties of the samples, burning, charpy and tension tests were performed.

Results of the tests showed that as the number of layers increased, durability, impact energy and toughness were increased, surface cracks significantly lowered the durability of the samples and fracturing occured in the surface crack area. At the same time, matrix failure and fiber fracture were detected at the charpy test results and fiber fracture and delamination were detected at the tension test results.

Key Words: *Hybrid Composite, Glass Fiber, Carbon Fiber, Surface Crac*

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla gelişen teknoloji ile birlikte geçmişte kullanılan malzemelere göre üstün mekanik özelliklere sahip, üretimi kolay, hafif ve ekonomik malzeme arayışı hızlanmış ve bu nedenle kompozit malzemelere ihtiyaç artmıştır. İki veya daha fazla farklı malzemenin makro düzeyde yani birbirleri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemeye kompozit malzeme denmektedir.

Kompozitler matris ve takviye fazı olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Matris fazının ana görevi, takviye elemanlarını bir arada tutmak ve kompozitin karşıladığı yükü takviye elemanlarına aktarmaktır. Takviye fazının görevi ise kompozite yeni mekanik özellikler kazandırmak veya mekanik özelliklerini arttırmaktır.

Kompozit malzemeler matris ve takviye fazına göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar matris fazına göre:

- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler

Takviye fazına göre ise:

- Elyaf takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Hibrit kompozitler

Kompozit malzemelerin öne çıkan özellikleri yüksek elastiklik modülü, hafiflik, dayanımlı olmaları, elektrik ve ısı iletkenliği ile birlikte, korozyon direncinin yüksek olmasıdır. Bu özellikleri göz önüne alındığında kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, uzay, yapı ve inşaat, savunma, denizcilik ve spor gibi

birçok sektörde kullanılmaktadır. Sahip olduğu bu özellikler ve kullanım alanlarına rağmen kompozit malzemelerin de dezavantajları bulunmaktadır. Kullanılan takviye fazına göre anizotropik olmaları, üretimin maliyetli olması, bazı imalat yöntemlerinin zorluğu, üretim sonunda uygulanabilecek kesme veya delme işlerinin fiberlere zarar verme olasılığı sonucu kompozitin mekanik özelliklerinde düşüşe neden olabilmektedir.

Kompozit malzeme üretimi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasından hangisinin kullanılacağı seçilirken genel olarak şunlar göz önünde bulundurulur:

- Ne çeşit bir kompozit üretileceği
- Kompoziti oluşturacak matris ve takviye malzemeleri
- Maliyet

Kompozit malzeme üretiminde kullanılmakta olan üretim yöntemleri elle yatırma, püskürtme, vakum infüzyon, elyaf sarma, reçine transfer, otoklav ve pultrüzyon yöntemidir. Her malzemede olduğu gibi kompozit malzemeler de kullanıldıkları ortamda aldıkları darbe kuvvetleri nedeniyle hasara uğrayabilmektedir. Bu hasar malzeme içerisinde olabileceği gibi malzeme yüzeyinde de meydana gelebilmektedir. Yüzey hasarı veya çatlakları kompozit malzemelerin enerji absorpsiyon özelliği etkilemekte, yüzey çatlaklı bir kompozit malzemenin aldığı darbe alt tabakaları da etkileyip delaminasyon, matris ya da fiber hasarı oluşmasına sebep olmaktadır. Bunun gibi olumsuz koşullar kullanılmakta olan kompozit malzemedeki istenilen verimin alınamamasına sebep olabilmektedir.

Bu çalışmada farklı tabakalara sahip (8, 10, 12) hibrit kompozit plakalar kullanılmıştır. Bu plakalardan yüzey çatlaklı ve çatlaksız olmak üzere numuneler hazırlanmıştır. Bunlara çekme, darbe ve yakma deneyleri uygulanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan bir çalışmada; 8 ve 12 katlı, cam elyaf ve epoksi reçine kullanılarak, değişen fiber açılara sahip (0° , 30° , 60° , 0°) kompozit plakalar üretilmiş ve bunlar artan darbe enerjileri (10J, 20J ve 30J) altında darbe testine sokularak tabaka sayısının ve fiber açısının malzemenin darbe davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Darbe enerjisi arttıkça çökme miktarının arttığı gözlemlenmiş, 12 tabakalı numunelerin daha yüksek yük taşıma kapasitesi ve darbe dayanımına sahip olduğu görülmüştür (Öndürücü, A., Karacan, 2018).

Bir başka çalışmada; 12 katlı, cam fiber, karbon fiber ve epoksi reçine kullanılarak farklı oryantasyon açılara sahip (0° , 45° , twill, plain), 8 farklı hibrit kompozit elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Numunelerin gerilme ve yorulma davranışlarını incelemek amacıyla çekme ve yorulma deneyleri uygulanmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre fiber açısı 0° olan karbon-cam numunede en yüksek gerilme, 45° olan karbon-cam numunede ise en düşük gerilme gözlemlenmiştir. Yorulma gerilmesi olarak da en yüksek değer fiber açısı 0° olan numunede, en düşük değer 45° olan numunede görülmüştür. Plain karbon, twill cam fiber kullanılan numunenin sonsuz ömürlü olduğu tespit edilmiştir (İmak, 2015).

Reçine transfer yöntemi ile cam fiber kullanılarak 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı, değişken istif sıralamasına sahip, toplam 17 adet kompozit numune üretilmiş; tabaka sayısı, sıralaması ve fiber oryantasyonunun kompozit üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda artan tabaka sayısının ve kalınlığının dayanımı azalttığı, azalan tabaka kalınlığı ile birlikte artan elyaf oranının dayanımı arttırdığı görülmüştür. Fiber açısı düştükçe mukavemet değerleri de düşmektedir (Daban, Y. 2016).

8 katlı, cam elyaf ve karbon elyaftan oluşmuş, 4 adet hibrit kompozit numunelerine bükme testi uygulanmış ve karbon elyaf tabaka sayısının malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. A1 numunesinde hiç karbon elyaf kullanılmamışken, A2 numunesinde 2 tabaka, A3 numunesinde

4 tabaka, A4 numunesinde ise 6 tabaka karbon elyaf kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda karbon elyaf tabaka sayısının artmasıyla elastisite modülünün arttığı, sönümlenme oranlarının ise azaldığı gözlemlenmiştir (Utomo, Susilo, Raharja, 2016).

8 katlı, cam fiber epoksi reçine, karbon fiber epoksi reçine ve cam-karbon fiber epoksi reçine kullanılarak, 100 dakika 105°C sıcaklıkta 8 MPa basınçla preslenerek el yatırma yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemelerde çatlak büyüklüğünün, açısının ve yerinin kırılma tokluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. 4mm, 6mm ve 8mm boyutlarda, 0°, 30°, 45° ve 60° açılarında, malzemenin tek kenarına, çift kenarına ve merkezine çatlak açılmıştır ve numuneler 1 mm/dk hızda çekme deneyine tabi tutulmuştur. En yüksek kırılma tokluğu sadece karbon fiber kullanılmış kompozit malzemelerde, en düşük kırılma tokluğu ise sadece cam fiber kullanılmış kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir. Çatlak açısı yükseldikçe kırılma tokluğu azalmakta, çatlak boyutu yükseldikçe kompozitin taşıyabileceği yük miktarı azaldığı tespit edilmiştir (Arasan, 2014).

E-camı fiber ve epoksi reçine kullanılarak, 4 tabakalı üretilmiş kompozit malzemeler 50°C sıcaklıktaki tuzlu suda 7 gün süresince tutularak eskitilmiştir. Numuneler darbe deneyine sokularak absorbe edilen enerji miktarı ve hasar türleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde toplam deformasyon miktarının dikkate değer olmadığı, eskitilmiş numunelerin maksimum tepki kuvvetinin eskitilmemişlere göre daha yüksek olduğu ve eskitilmiş numunelerin sönümlediği enerjinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Yırtımcı, 2011).

3 tabakalı, 15mm kalınlığında, değişik açılarda takviye edilmiş (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°), cam fiber ve epoksi reçine, bor fiber ve epoksi reçine, karbon fiber ve epoksi reçine, cam-bor-karbon fiber ve epoksi reçine kullanılarak üretilmiş alüminyum tabakalı kompozit malzemelerin üzerine 0° ve 30° açılarında çatlaklar açılmış ve çekme yüküne maruz bırakılmış. Elde edilen sonuçlarda fiber açısının uygulanan yüke paralel olmaya yaklaşması ile alüminyum plakalarda meydana gelen gerilmelerin azaldığı ve çatlak açısının artmasıyla kayma gerilmelerinin arttığı görülmüş (Yalçın, Ergene, 2018).

Bazalt elyaf ve epoksi reçine kullanılarak 6 tabakalı kompozit boru, filaman sarma yöntemi ile üretilmiş ve SiO₂ nanopartikül katkısının yüzey çatlaklı ve çatlaksız numuneler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Numuneler üzerinde yorulma deneyleri yapılmıştır. SiO₂ katkısının yüzey çatlaklı ve çatlaksız numunelerin genel mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu, numunelerin maksimum teğetsel geriliminde ve yorulma dayanımında artış sağladığı görülmüştür (Demirci, 2015).

8 tabakalı, el yatırma yöntemiyle cam fiber ve epoksi reçine kullanılarak üretilmiş kompozit malzemeler üzerine farklı açılarda (15°, 30°, 45°, 60°, 75°) yüzey çatlağı açılmış ve çekme deneyi uygulanmış. Elde edilen sonuçlarda çatlak derinliği / levha kalınlığı yüksek olan numunelerde tabakalar arası ayrılma ve yüzeydeki çatlak ilerlemesi yüksek çekme kuvvetlerinde yani daha geç meydana gelmiş. Çatlak açısının artmasıyla yüzeydeki çatlak ilerleme hızı artmış. Açı arttıkça eksenel yükün de arttığı görülmüş (Canan, 2007) .

E-camı fiber ve epoksi reçine kullanılarak, filaman sarma metoduyla kompozit borular üretilmiş. Numuneler üzerine sığ ve derin olmak üzere yüzey çatlakları açılmış ve %0.5 ve %1 oranında nano malzeme takviyesi eklenmiştir. Numuneler statik iç basınç testine sokularak yorulma dirençleri, yorulma çatlak büyüme oranları ve kırılma toklukları incelenmiş. Test sonuçlarında takviye nano malzemenin olumlu etkileri gözlemlenmiş. Yüzey çatlaklı boru numunelerinin yorulma direncinin 7 kat arttığı, çatlak derinliği arttıkça dayanımın düştüğü, sığ yüzey çatlaklı bölgelerde yorulma hasarı görülürken derin yüzey çatlaklı bölgelerde yırtılma meydana geldiği gözlemlenmiştir (Taşyürek, 2014) .

4mm kalınlığında, 18 tabakalı, cam-karbon fiber ve epoksi reçine kullanılarak hibrit kompozit malzemeler üretilmiş. Malzemelerden birinde sadece ilk ve son tabakada karbon fiber kullanılırken diğerinde sadece orta tabakada kullanılmış. Numuneler üzerine çeşitli derinlik ve genişliklerde yüzey çatlağı açılmış ve darbe testleri yapılmış. Elde edilen sonuçlarda karbon fiberin içeride olduğu numunelerin dayanımının daha az olduğu, karbonun dış tabakalarda olduğu numunelerde ise daha az çökme olduğu görülmüş, çatlak derinliğinin artmasıyla malzeme dayanımının düştüğü gözlemlenmiş (Güneş, 2013).

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme kullanılan malzemelerin yetersiz kalan özelliklerini iyileştirmek ve istenen daha elverişli özellikleri sağlayan bir malzeme elde etmek amacı ile makro düzeyde iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi sonucunda oluşan malzemedir. Kompozit malzemeler anizotropik yapıdadırlar. Bir başka deyişle mekanik özellikleri yöne bağımlı olarak farklılık göstermektedir. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

Avantajları:

- Yüksek basma, çekme, yorulma ve darbe dayanımına sahiptirler.
- Isıya, korozyona, kimyasal maddelere ve değişik hava koşullarına karşı dayanıklıdırlar.
- Kolay şekil alma özellikleri vardır.
- Titreşim ve gürültü sönümlenme kabiliyetleri vardır.
- Karmaşık yapıda olan parçaların birleştirilerek, tek parça olarak üretilebilmesi sayesinde ekonomiktirler.
- Hafif olmaları ile beraber oldukça serttirler.
- Yama yapma metodu ile tamir edilebilirler.
- İçerdikleri malzemenin özelliklerine bağlı olarak iletken ya da yalıtkan özellik gösterebilirler.

Dezavantajları:

- Üretim aşamaları esnasında kompozit malzeme içerisinde kalabilecek hava kabarcıkları malzemenin yorulma dayanımını olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler anizotropiktir. İçerisindeki takviye elemanının yönüne bağlı olarak değişik mekanik özellikler gösterirler.

- Geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.
- Tabakalı kompozitlerde çekme, basma ve kesme yükleri altında tabakalar arası ayrılma ve delaminasyon meydana gelebilmektedir.
- Nemden etkilenirler. Dolayısıyla malzeme özellikleri olumsuz etkilenmektedir.
- Kompozit malzemelerden alınacak verim üretim şekline ve kalitesine tamamen bağlıdır.
- Üretimleri zor ve pahalıdır.
- Gevrek malzeme olmaları sebebiyle kırılındırlar.
- Üretim aşamalarında kurumaları için ısı ve zaman gerekmektedir.
- Bazı kompozit malzemeler kullanılmadan bekledikleri süre içerisinde özel çevresel koşullara ihtiyaç duyabilmektedir. Örneğin ortamın soğutulması ya da kompozitin dondurulması gerekebilir.
- Kompozit malzemelerde belirlenemeyen hasarlar oluşabilmektedir.

Kompozit malzemeler iki temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar matris bileşeni olarak adlandırılan ana bileşen ile yüksek mukavemet ve elastisite modülüne sahip takviye bileşenidir. Fiber olarak da adlandırılan takviye bileşeni, kompozitin darbe direncini sağlar. Kompozit malzeme üretiminde genellikle mukavemeti yüksek, rijit takviye elemanı, daha yumuşak yapıda olan matris içerisine dōşenmektedir. Takviye elemanları elyaf, parçacık, pul ve tabaka formunda bulunabilmektedir.

Kompozit malzemeler günümüz sanayisinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar; otomotiv, inşaat, tıp, yol, denizcilik, havacılık ve savunma, elektrik ve elektronik ve spor sanayi; bunlarla beraber ev ve iş aletleri üretimi şeklinde sıralanabilir (Nejabatı, 2014).

3.1 Kompozit Malzemelerin Matris Fazına Göre Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin ana bileşenlerinden biri olan matrislerin bazı temel görevleri bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- Takviye elemanlarını mekanik hasarlara ve kimyasal etkilere karşı korumak

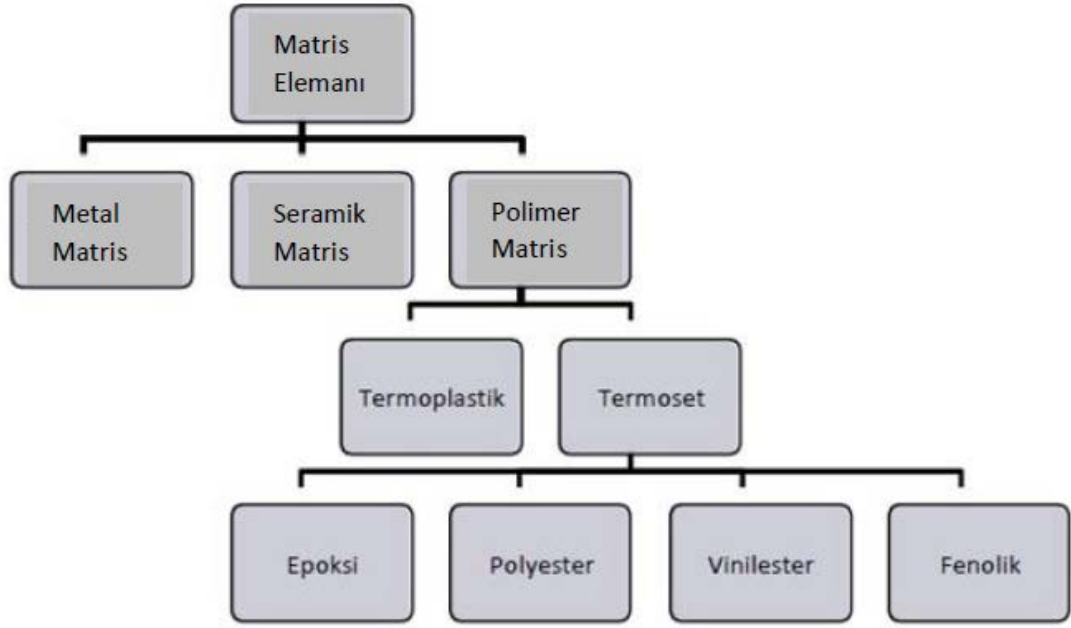
- Malzemeye uygulanan yükü takviye malzemelerine eşit olarak dağıtmak
- Takviye malzemelerini bir arada tutmak
- Malzemeye iyi bir yüzey kalitesi sağlamak

Matrislerin başlangıçta düşük viskoziteye sahip olması sonrasında da kolay bir şekilde katı forma geçerek takviye malzemelerini çevreleyebilmesi gerekmektedir.

Matrislerin mekanik özellikleri takviye malzemeleri ile kıyaslandığında daha düşüktür. Buna karşın kompozit malzemelerin yorulma ve basma dayanımı, ısı direnç ve ısı genleşme katsayısı gibi mekanik özellikleri üzerinde etkisi bulunmaktadır (Arasan, 2014). Aynı zamanda kompozit malzemelerde yük taşıma görevini üstlenen takviye malzemelerinin kendi fonksiyonlarını yerini getirebilmesi açısından da matrislerin mekanik özelliklerinin etkisi büyüktür.

Matris ve takviye malzemesi arasındaki bağ kuvvetinin gücü ile kompozit malzemede oluşabilecek çatlakın ilerleme şekli arasında bir ilişki vardır (Arasan, 2014). Bağ kuvveti yüksek ise matris ya da takviye malzemesinde oluşabilecek bir çatlak yön değiştirmeden ilerlemektedir. Bu durumda kompozit gevrek malzeme özelliği gösterdiği için kopma yüzeyi parlaktır. Bağ kuvveti düşükse takviye malzemeleri boşlukta gibi davranır ve bu nedenle kompozit malzeme zayıflar. Orta düzeyde bir bağ kuvvetinde matris ya da takviye malzemesinde başlayabilecek bir çatlak takviye malzeme doğrultusunda ilerler. Bu nedenle kompozit malzeme sünek malzeme özelliği gösterir ve kopma yüzeyi lifli olur.

Matris malzemeleri genel olarak metal, seramik ve polimer olmak üzere üç tipte bulunmaktadır. Polimer matris malzemeleri çeşitlerinden en çok kullanılanlar polyeester, vinilester, epoksi, fenolik ve silikon reçinelerdir. Kompozit malzeme yüksek mukavemet gerektirmeyecek ortamlarda kullanılacak ise matris malzemesi olarak polyeester reçine kullanılır. Gelişmiş kompozit üretiminde ise çoğunlukla epoksi reçine kullanılmaktadır (Arasan, 2014). Şekil 3.1’de matris malzemelerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 3.1: Matris malzemelerinin sınıflandırılması

3.1.1 Metal matrisli kompozitler

Hafif metaller plastiklerden daha iyi elastisite modülü, elektrik ve ısı iletkenliği, mukavemet ve tokluk değerlerine sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda çalışabilme ve bu özelliklerini koruyabilme yeteneğine sahip olduğu için matris malzemesi olarak avantajlıdır. Bu özelliklerin yanı sıra MMK'lerin PMK'lerle kıyaslandığında alev almama ve organik akışkanların sebep olduğu korozyona dirençli olma özelliklerine de sahiptir. Ancak MMK'lerin imalatı zordur, özgül ağırlıkları yüksek, bazılarının korozyon direnci düşük ve her tür takviye malzemesi ile iyi düzeyde bağ oluşturamazlar (Yırtımcı, 2011). Ayrıca büyük yapılarda kullanılmaları maliyetlidir.

Genellikle matris fazı olarak alüminyum, magnezyum, bakır ve titanyum gibi hafif metaller kullanılmaktadır. Takviye fazı olarak ise süreksiz ve sürekli elyaflar, parçacıklar ve viskerler tercih edilmektedir. Süreksiz elyaf olarak silisyumkarbür visker, kırılmış alüminyum oksit ve alüminyum oksit parçacıkları, sürekli elyaf olarak ise silisyumkarbür, bor ve alüminyum oksit kullanılmaktadır. Takviye fazının hacimce oranı %10-60 arasında olmaktadır.

Endüstride pek çok kullanım alanına sahiptir. Havacılık, otomotiv ve savunma sanayisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Nejabatı, 2014). Şekil 3.2'de metal matrisli kompozit örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.2: Metal matrisli kompozit örnekleri

Kaynak: Yırtımcı, 2011

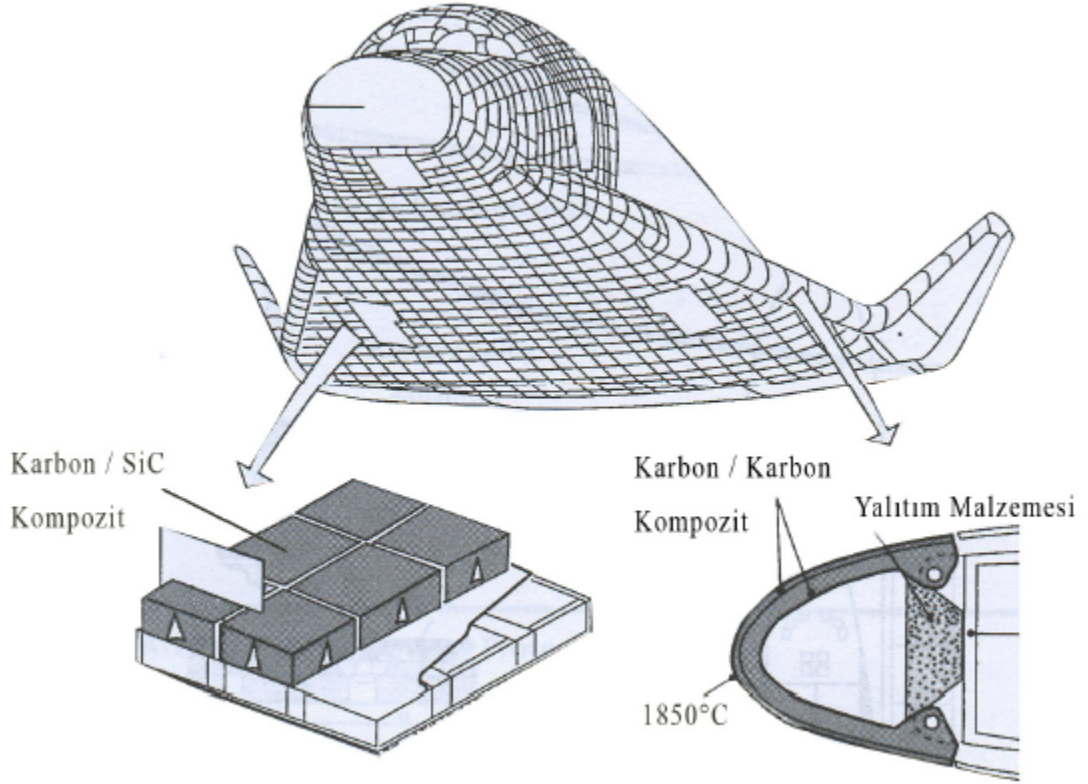
3.1.2 Seramik matrisli kompozitler

Seramikler inorganik bileşiklerdir. Doğada kayaların dış etkiler sonucu parçalanması ile ortaya çıkan kil, kaolen gibi maddelerin yüksek sıcaklıklarda pişmesi ile elde edilen malzemelerdir (Nejabati, 2014). Seramik matrisli kompozitlerin üstün özellikleri; yüksek elastiklik modülüne sahip olmaları, düşük yoğunlukları, inert olmaları ve bunların yanı sıra 2000°C'nin üstündeki sıcaklıklarda da çalışabilmeleridir. Diğer taraftan SMK'lerin en önemli eksisi gevrek bir yapıya sahip olmalarıdır. Aynı zamanda mekanik dirençleri düşüktür. Kırılgan yapıda olmalarından dolayı kullanım alanları yüksek ısıya sahip alanlar ile sınırlanmıştır (Utomo, Susilo, Raharja, 2016), (Arasan, 2014).

SMK'lerin mekanik özelliklerinin azalmasına neden olabilecek etkenler; yapıda oluşabilecek çatlaklar ve mikro düzeydeki boşluklardır.

Seramik matrisli kompozitlerin imalatında sürekli ve süreksiz takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Sürekli fiberlerin kullanılması mukavemet ve tokluk değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Bunun sebebi fiberlerin çatlağın ilerlemesini durdurmasıdır.

SMK'lerin kullanım alanları fren diskleri, savunma sanayi ve turbo jet motorlarıdır. Şekil 3.3'de seramik matrisli kompozit örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.3: Sermaik matrisli kompozit örneği

Kaynak: Arasan, 2014

3.1.3 Polimer matrisli kompozitler

Günümüzde üretilmekte olan kompozit malzemelerin büyük çoğunluğunda polimer esaslı matrisler kullanılmaktadır (Mağdala, 2009).

Plastikler sentetik malzemeler olup monomerlerden oluşan zincir şeklinde bir yapıdadırlar. Bir monomer polimerizasyon metoduyla diğer monomer molekülleri ile birleşerek tekrarlanan ünitelerden oluşan bir makromolekül meydana getirir. Metal matrislere göre daha düşük mukavemet, süneklik ve tokluğa sahip olmalarıyla beraber seramik matrislere göre daha iyi fiber bağ dayanımına ve yük taşıma kabiliyetine sahiptirler [7]. Hafif ve kolay işlenebilmeleri sayesinde çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptirler. Termoplastik ve termoset olarak ikiye ayrılırlar.

3.1.3.1 Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri çizgisel yapıya sahiptir ve van der waals bağı ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu bağlar zayıf olduğu için termosetler rijit yapıya

sahip değildir. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda viskoziteleri düşer ve yumuşarlar. Yüksek kırılma tokluğuna sahiptirler, sertleşmek için çözücülere gerek duymadıkları için sağlıklı bir iş ortamı sağlarlar ve kütleme işlemiyle tekrar kullanılabilirler (Mağdala, 2009). Bu nedenle ekonomiktirler. Asetol reçineler, akrilikler ve PVC gibi vinil esaslı plastikler termoplastikler arasındadır.

3.1.3.2 Termosetler

Termoplastiklerin aksine termosetler rijit yapıdadır ve tekrar kullanılabilir değildirler. Yapısal uygulamalarda, daha geniş sıcaklık aralığında yüksek sürünme direncine sahip olduklarından dolayı termoplastikler yerine termosetler tercih edilir (McBride, 2016). Polimerizasyon ile elde edilirler. Termosetlerin fiziksel ve mekanik özellikleri moleküllerinin yoğunluğuna, büyüklüğüne ve bağ uzunluğuna bağlıdır (Nejabatı, 2014). Epoksi reçineler, polyester reçineler, vinilester reçineler ve fenolik reçinler termosetlerdendir.

Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler iki ya da daha fazla bileşenden oluşan, kürlenmiş polimer reçinelerdendir. Açık renkli, sıvı halde olup sertleştirici ile karıştırıldıklarında veya fırınladıklarında bir süre sonra katılaşırlar ve plastik görünümünde olurlar.

Epoksi reçinelerin pahalı olmak ve düşük viskoziteye sahip olmak gibi dezavantajları olsa da aşağıdaki avantajlara sahip olmaları nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2013).

- Aşınma, elektrik ve çözücüler ile kimyasallara karşı direnci yüksektir. Dayanımı alkali ortamlarda fazladır.
- Takviye malzemeleri ile iyi bağ kurabilme özelliği vardır. Çok çeşitli yüzeylerde üstün yapışma özelliğine sahiptir.
- Esnekliğe ve sertliğe sahiptir. Uçucu değildirler.
- Isıya, neme ve suya karşı yüksek direnci vardır.
- Çok katlı malzeme üretiminde uygulanması kolaydır.

- Kompozit malzeme üretiminde cam veya karbon fiberler ile kullanıldıklarında elde edilen malzemenin mukavemeti yüksek olmaktadır.

Epoksi reçinelerin günümüzde kullanıldığı alanlar giderek artmaktadır. Bu kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Spor aleti üretimi
- Otomotiv sektörü
- Denizcilik sektörü
- Uzay aracı, radar ve uydu üretimi
- Havacılık sektörü
- Müzik aleti üretimi

Polyester Reçineler

Genellikle cam elyaf kullanılarak üretilen kompozitlerde kullanılan polyester reçineler soğuk ve rutubete duyarlıdır. Katı, sıvı termostat ve termoplast olarak bulunmaktadır. Polyester reçinelerin sertleşmesi için sertleştirici maddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Sertleşme süresi sertleştiricinin eklenme oranı ve çevre sıcaklığına bağlıdır.

Polyester reçinelerin hava koşullarına, sert ve kimyasal maddelere karşı direnci yüksektir. Mekanik ve kimyasal mukavemetleri 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda yüksektir. Sertleşmeden önce düşük viskoziteye sahip olup aynı zamanda ucuzdurlar (İmak, 2015), (Daban, 2016).

Bunun yanında polyester reçineler sertleşme esnasında yüksek oranda kendilerini çekerler. Bu oran %5-12 seviyesinde olabilir. Bu kendini çekme hareketi takviye malzemesinin basma gerilmesine maruz kalmasına ve burkulmasına sebep olabilir. Bunun yanında dezavantaj olarak alkali ve bazik ortamlarda düşük korozyon direncine sahip olması ve bünyesine su alarak bozunması gösterilebilir (Yırtımcı, 2011).

Vinilester Reçineler

Vinilester reçineler mekanik özellikleri bakımından polyester reçinelere benzemektedir. Matris ve takviye malzemeleri arasında güçlü bağ kurmaktadır. Yüksek mekanik özelliklere ve kimyasal dayanıma sahip

olmalarının yanında asitlere, bazlara, suya ve korozyona karşı da dayanıklıdırlar.

Matris çeşitlerinden epoksi, polyester ve vinilester reçinelerin maksimum çekme dayanımı ve elastisite modülleri yönünden karşılaştırılması Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Reçinelerin kıyaslanması

Reçineler	Maksimum çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
Epoksi Reçine	90-110	3,5-7,0
Polyester Reçine	2,5-4,0
Vinilester Reçine	90	4,0

Fenolik Reçineler

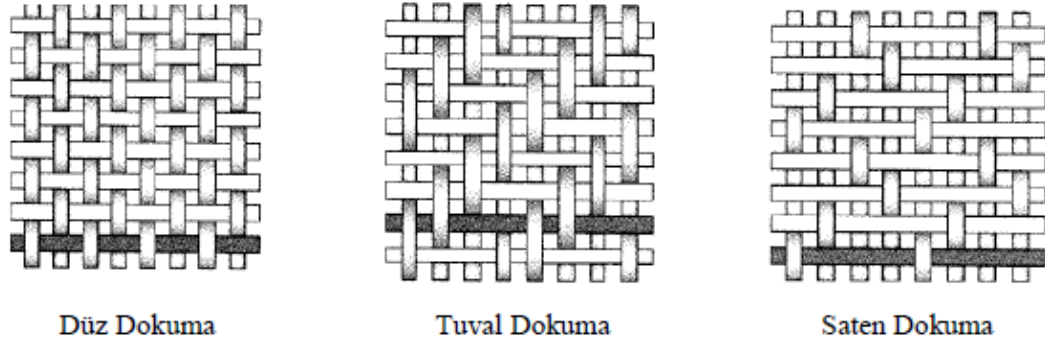
Kullanıldıklarında daima selüloz elyaflar ve dolgu malzemeler ile birleştirilirler. Yüksek sıcaklık direncine sahiptir fakat mekanik özellikleri düşüktür.

3.2 Takviye malzemeleri

Takviye malzemeleri kompozit malzeme üretiminde kullanılan ve matris içerisinde bulunup malzemeye uygulanan yükü taşıyan elemanlardır. Dolayısıyla kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini direkt ve yüksek derecede etkilemektedirler. Bu nedenle takviye malzeme seçimi yapılırken kompozit malzemenin kullanılacağı yer göz önünde bulundurulmalıdır. Takviye malzemeleri düşük yoğunluğa sahip olmaları ile beraber yüksek sertliğe, elastiklik modülüne ve korozyon direncine sahiptirler (Şahin, 2015).

Takviye malzemeleri kısa ya da uzun yapıda olabilir. Kısa takviye elemanları üretim sürelerinin kısa ve maliyetlerinin ucuz olması nedeniyle, uzun ve sürekli takviye elemanları ise üretimlerinin daha kolay ve stabil olması nedeniyle tercih edilirler.

Günümüzde üretilen kompozit malzemelerde kullanılmakta olan en önemli takviye malzeme elyaflardır. Bu elyaflar çeşitli boyut ve şekillerde kullanılır ve cam, karbon, aramid ve bor elyaflar olarak sıralanabilir. Elyafların mukavemeti yöne bağlıdır ve tek doğrultuya yönelmiş elyaflar diğer doğrultudan gelecek bir yük altında istenen verimi gösteremeyecektir. Bu nedenle elyaflar her iki yönde yüksek mukavemete sahip olmaları için kumaş halinde dokunurlar (Arasan, 2014). Şekil 3.4'te elyafların dokuma çeşitleri görülmektedir.



Şekil 3.4: Elyaf dokuma çeşitleri

Kaynak: Nejabati, 2014

Elyaflar ince çaplı olarak üretilmektedir ve bu sayede yapısal hata ihtimalleri en aza indirilmiştir. Ayrıca, tane boyutlarının ve çaplarının küçük olarak üretilmesi, boy/çap oranlarının artmasıyla matris tarafından elyaflara aktarılan yükün artması ve elastisite modülünün yüksek olması elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olduğunun göstergeleridir (Yırtımcı, 2011).

3.2.1 Cam elyaflar

Cam fiberleri oluşturan maddeler genel olarak silikon dioksit (SiO_2), kalsiyum oksit (CaO), alüminyum oksit (Al_2O_3), boronoksit (B_2O_3) ve kimi metaloksitlerdir (Çelikkanat, 2002).

Kompozit malzeme imalatında genellikle epoksi ya da plastik reçineler ile kullanılan cam elyaflar en sık kullanılan takviye malzemelerindendir. Mekanik özelliklerinin yüksek ve fiyatlarının uygun olması sayesinde kompozit imalatında önemli bir yere sahiptirler. Mukavemet ağırlık oranları iyi düzeydedir. Elastisite modülü alüminyum alaşımlara göre yüksektir fakat karbon ve aramid elyaflara göre düşüktür.

Atmosfere, çeşitli organizmalara ve kimyasal malzemelere karşı dirençleri iyidir. Suyu içlerine çekmezler fakat çekme mukavemetleri nemli ortamlarda azalır. Bunun nedeni nem etkisiyle matrisle elyaf arasında çözülme olmasıdır. Termal genleşme katsayıları birçok alüminyum, çelik alaşımı ve plastikten daha düşüktür. Aynı zamanda yalıtıkcıdır. Cam elyafların kullanılabilir oldukları sıcaklık aralığı geniştir. 500 °C'ye kadar yumuşamaz ve rijitliği ile sürünme direnci sıcaklık arttıkça artmaktadır (Metin, 2008). Bu sayede yalıtımın gerektiği durumlarda cam elyaf içeren kompozitler kullanılabilir. Cam elyafların mukavemeti elyafın içeriğine, lif çapına ve çekim sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Mukavemeti etkileyen bir diğer etken de malzemenin yüzey kalitesidir. Zarar görmüş bir yüzeye sahip cam elyafın mukavemeti önemli miktarda düşmektedir (Çelikkat, 2002).

Cam elyaf üretiminde silik kumuna çeşitli katkı malzemeleri katıldığında elde edilen malzeme bu katkıların etkisiyle değişik özellikler kazanır. Farklı çeşitlerde cam elyaf bulunmaktadır.

- Alkali Camı (A): Yüksek oranda alkali içermektedir. Elektrik iletkenliği ve kimyasal direnci iyidir. En sık kullanılmakta olan cam elyaf çeşidi olup pencere ve şişelerde kullanılmaktadır.
- Alkali Rezistant Cam (AR): Alkaliye dayanımı olan cam bileşkesidir. Genellikle çimento için takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.
- Korozyon Camı (C): Kimyasal çözeltilere karşı yüksek miktarlarda direnci olduğundan depolama tanklarında kullanılırlar.
- Elektrik Camı (E): Düşük miktarda alkali içerdiği için yalıtkan özelliğe sahiptir. Yüksek mukavemete ve su direncine sahiptir. Takviye elemanların üretiminde çok sık kullanılmaktadır.
- Yüksek Mukavemet Camı (HS): Yüksek mukavemetli cam elyaf türüdür. İçeriğinde Silika, Aluminai Magnezyum ve az oranda diğer oksitlerden bulunmaktadır.
- Mukavemet Camı (S): HS camı ile benzer yapıya sahiptir ve giderek artan bir kullanım oranına sahiptir. Yüksek sıcaklık değerlerinde iyi derecede yorulma direncine ve E camı ile kıyaslandığında %33 oranında daha yüksek

çekme mukavemetine sahiptir (Yırtımcı, 2011). Hava ve uzay endüstrisinde kullanılmaktadır.

Cam elyaf türlerinin mekanik özelliklerinin kıyaslanması aşağıda verilen Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2: Cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri

Özellikler	Cam Türü			
	A	C	E	S
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik Modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme Mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl Genleşme Katsayısı (m/m/°Cx10 ⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0

Cam elyafların genellikle kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Otomotiv sektörü
- Spor aletleri ve çeşitli ekipmanlar
- Korozyona dirençli ürünler
- Konstrüksiyon
- Uzay ve uçak sektörü
- Fiber optik kablolar

3.2.2 Karbon elyaflar

Kompozit malzeme üretiminde en sık kullanılan takviye malzemesi cam elyaf olmasına rağmen günümüzde gelişmiş kompozit malzeme üretiminde genellikle karbon elyaflar kullanılmaktadır (Demirel, 2007) . Karbon elyafların yapısında %90 oranında karbon bulunmaktadır. Cam elyaflara göre daha dayanıklı ve hafiftir fakat aynı zamanda daha pahalıdır ve basma mukavemetleri düşüktür.

Karbon elyaflar epoksi reçineler ile birlikte kullanıldığında malzemeyi oldukça dayanıklı ve sert hale getirirler. Karbon elyaflar pahalı oldukları için kullanım alanları cam elyaflara göre daha sınırlıdır. Aynı zamanda kırılğan bir yapıya sahiptirler. Karbon lifleri içindeki tabakalar kuvvetli kovalent bağlar ile bağlıdır. Fakat bu aynı zamanda eğilme gerilmesine maruz kalındığında kolay kırılmaya olanak vermektedir (Çelikkanat, 2002).

Karbon elyafların en öne çıkan özellikleri düşük yoğunluğa sahip olmalarıyla beraber yüksek çekme mukavemetine ve tokluğa sahip olmalarıdır. Karbon elyaflar aynı zamanda yüksek sürünme mukavemetine sahiptir ve nemden etkilenmez. Ayrıca yorulma direncine, düşük termal genişleme katsayısına ve yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Karbon elyafları çeşitli kategorilere göre sınıflandırmak mümkündür (Çelikkanat, 2002).

Mukavemete Göre:

- Ultra Yüksek Mukavemet (UHS): 5 GPa'dan daha fazla mukavemete sahip olup mukavemet / sertlik oranı $2 \cdot 10^{-2}$ ile $3 \cdot 10^{-2}$ arasında olan karbon elyaflardır.
- Yüksek Mukavemet (HS): 3 GPa'dan daha fazla mukavemete sahip olup mukavemet / sertlik oranı $1,5 \cdot 10^{-2}$ ile $2 \cdot 10^{-2}$ arasında olan karbon elyaflardır.
- Modüle Göre:
 - Ultra Yüksek Modül (UHM): 500 GPa'dan fazla modülü sahip olan karbon elyaflardır.
 - Yüksek Modül (HM): 300 ile 500 GPa arasında modülü, $5 \cdot 10^{-3}$ ile $7 \cdot 10^{-3}$ arasında mukavemet / modül oranı olan karbon elyaflardır.
 - Orta Modül (IM): 300 GPa'ya kadar modülü, yaklaşık 10^{-2} mukavemet / modül oranı olan karbon elyaflardır.

- Düşük Modül (LM): 100 GPa'dan az modüle sahip karbon elyaflardır.
- Son İşlem Sıcaklığına Göre:
- 2000 °C üzerinde son ısıl işlemi olan karbon elyaflar: Yüksek modüle sahip karbon elyaflardır.
- 1500 °C üzerinde son ısıl işlemi olan karbon elyaflar: Yüksek mukavemetli karbon elyaflardır.
- 1000 °C üzerinde son ısıl işlemi olan karbon elyaflar: Düşük modül ve mukavemete sahip karbon elyaflardır.

Karbon elyafların kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Çelikkanat, 2002).

- Otomotiv sektörü
- Gemi sektörü
- Uçak ve uzay sektörü
- Spor aletleri üretimi
- Mühendislik çalışmaları

3.2.3 Bor elyaflar

Kendi içerisinde kompozit yapıda olan bor elyaflar çekirdek adı verilen ince bir flamanın üzerine bor kaplanması ile üretilir. Yüksek çekme mukavemeti ve elastisite modülüne sahiptirler. Cam elyaflar ile kıyaslandığında benzer yoğunluk değerine sahip olsalar da mukavemetleri 5 kat daha fazladır. Oda sıcaklığında katı halde olan metallere benzerdir. Maliyetleri yüksektir ve seyrek, sert ve kırılabilir olmaları sebebiyle imalatı klasik yöntemler gibi yapılamamaktadır (Yırtımcı, 2011).

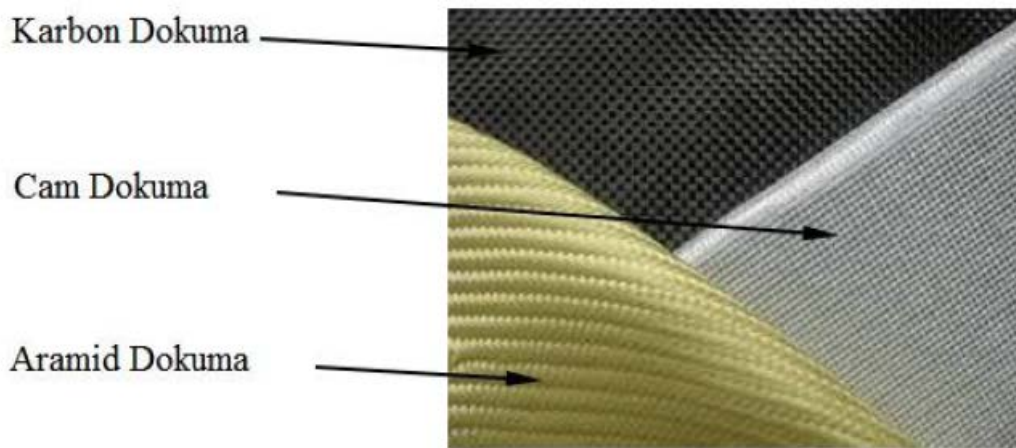
3.2.4 Aramid elyaflar

Aramid elyaflar "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır (Şahin, 2015). Polyamidler uzun zincir yapıdan oluşan polimerlerdir. Molekül yapısında 6 adet karbon ve bunları birbirine bağlayan hidrojen atomları bulunmaktadır. Farklı türlerde aramid elyaf bulunmaktadır. Bunlar Kevlar 29, Kevlar 49, Kevlar 149 ve Kevlar 981 olarak sıralanabilir (Çelikkanat, 2002).

Aramid elyaflar cam elyaflardan daha hafif ve rijit yapıdadır. Yüksek çekme mukavemetine, düşük maliyete ve yüksek darbe direncine sahiptir. Kopma mukavemeti moleküllerin oryantasyonuna, ağırlığına ve kristallığe bağlıdır. Kolay şekil alma özellikleri vardır. Bunun nedeni gevrekliklerinin düşük olmasıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara karşı sönme dayanımları ile elektrik ve korozif dirençleri de yüksektir. Oldukça yüksek dayanım/yoğunluk oranına sahiptirler [3-4]. Diğer taraftan aramid elyafların ışığa karşı dayanımı genellikle düşüktür. Örneğin yaklaşık üç ay güneşe maruz kalan bir aramid elyafların mukavemetinde büyük ölçüde azalma görülmektedir. Bu nedenle dış ortamlarda kullanılacak aramidlerin korunması için kaplanması önerilir.

Aramid elyafların kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Koruyucu malzeme üretiminde (zırh, çelik yelek, sıcaklığa karşı yalıtkan olarak ya da tehlikeli spor ve iş kıyafetleri).
- Elyaf takviyeli plastik kompozit üretiminde (termoset ve termoplastik kompozitler).
- Endüstriyel malzeme imalatında (ısıya dayanıklı keçeler, kablo, kayış ve halatlar, inşaat mühendisliği materyalleri).
- Çimento (bina taban ve tavanları, inşaat mühendisliği malzemeleri).
- Motor contaları, fren, debriyaj balataları ve radyal tekerlek üretimi.



Şekil 3.5: Elyaf çeşitleri

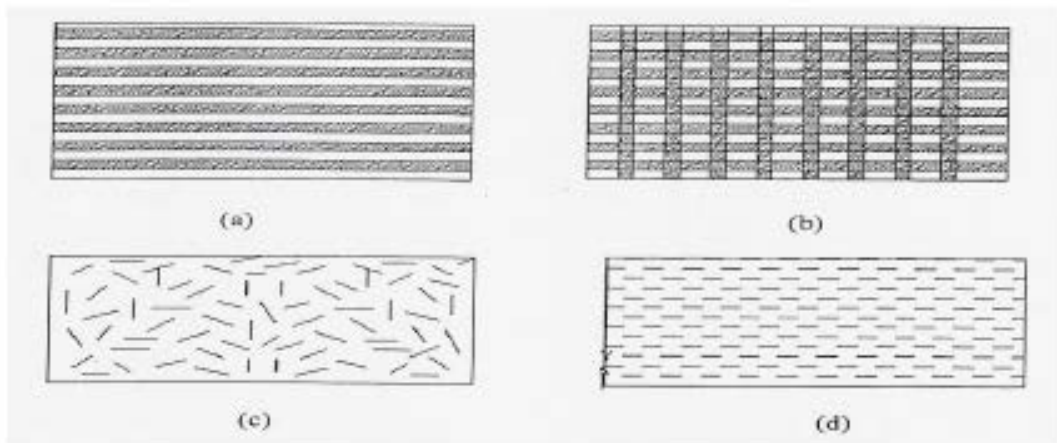
3.3 Kompozit Malzemelerin Takviye Fazına Göre Sınıflandırılması

3.3.1 Elyafli kompozitler

Bu tip kompozitler ince yapılı elyafların matris yapıyla birleşmesi sonucunda meydana gelmektedir. Kullanım alanında yük taşıma olan bu kompozitlerde matris, üzerine uygulanan yükün elyaflara iletilmesini sağlar. Sert, yüksek mukavemetli ve elastik elyaflar kompozit malzemelerin çekme ve yorulma dayanımını iyileştirir. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan elyafların aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması beklenir (Karadağ, 2017).

- Fiber doğrultusunda yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımı,
- Kullanım süresi boyunca kararlı olması,
- Fiberler arasında mekanik özellik farklılığı olmaması,
- Fiberlerin düzenli kesite sahip olması.

Kompozit malzemenin dayanımını etkileyen faktörlerden birisi elyaf ile matris arasındaki bağıdır. Matris yapıda kalabilecek boşluklar elyaflara olan teması azaltacaktır. Elyafın matris içerisindeki yerleşim şekli de kompozitin dayanımını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Değişik şekillerde matris içerisine yerleştirilmiş elyaflar Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



- a) Tek yönlü sürekli fiber kompozit
- b) Örgü formunda fiber kompozit
- c) Rastgele yönlenmiş süreksiz fiber kompozit

d) Yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozit

Şekil 3.6: Değişik şekillerde yerleştirilmiş elyaflar

Kaynak: Yıldızhan, 2013

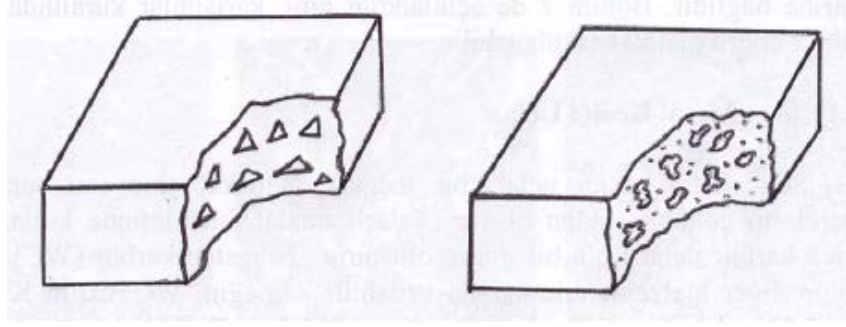
Sürekli fiberlerle üretim çoğunlukla daha kolay olmasıyla beraber tasarımdaki serbestlikte büyük ölçüde etkilenmektedir. Maksimum mukavemet değeri matris içerisindeki elyafların kompozit üzerine uygulanan yüke paralel, uzun ve kesintisiz bir şekilde yerleştirilmesi ile elde edilir.

3.3.2 Parçacık takviyeli kompozitler

Matris malzemesinin içerisinde rijitliği ve mukavemeti arttırmak amacıyla partüküller şeklinde takviye malzemesinin bulunması ile elde edilen kompozit malzeme türüdür. Bu kompozit malzemenin mukavemeti takviye parçacıkların sertliğine bağlı olarak değişmektedir. Matris içerisindeki parçacıklar her yönde aynı mekanik özellikleri gösterdiği zaman bu kompozit izotropik yani yöne bağımsız olur (Karadağ, 2017). Takviye parçacıkları kübik, küresel, plaket şeklinde, dikdörtgensel veya diğer şekillerde olabilir. Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde metaller, polimerler ve seramikler matris malzemesi olarak kullanılabilir.

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler çoğunlukla eş eksenli seramik parçacıkların sonlu hacimlerde metallere veya alaşımlara kabaca dağıtılmasıyla imal edilirler. Seramik-metal kompozitlere sermetler örnek gösterilebilir. Bu imalat yöntemleri katı ve sıvı hal üretim yöntemleri olmak üzere 2 gruba ayrılır Parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin imalatı genellikle toz metalürjisi yöntemiyle yapılmaktadır. Ayrıca karıştırmalı döküm yöntemi de sık kullanılan bir yöntemdir.

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler metal alaşımları ile karşılaştırıldığında metal matrisli kompozitler yüksek mukavemet, aşınma direnci, sıcaklık özellikleri ve rijitlik gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Bu kompozitleri kullanım alanları savunma, otomotiv ve havacılık sanayi, deniz araçları, spor aletleri, gaz türbin motorları, bilgisayar ve eğlence sektörü olarak sıralanabilir. Parçacık takviyeli kompozitlerin şematik görüntüsü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

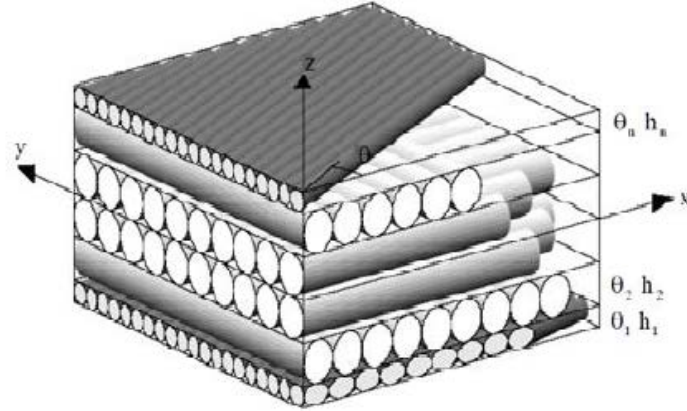


Şekil 3.7: Parçacık takviyeli kompozit

Kaynak: Karadağ, 2017

3.3.3 Tabakalı kompozitler

Farklı özelliklerde en az iki levha malzemenin yan yana ya da üst üste dizilmesiyle meydana gelen kompozit türüdür. Kompozit malzeme türlerinin en eskilerindedir. Üretimde kullanılan tabakaların özelliklerine göre yük taşıma, rijitlik, aşınma ve korozyon direnci gibi özelliklerin gerektiği alanlarda kullanılabilirler (İmak, 2015). Şekil 2.8’de bir tabakalı kompozit malzeme görülmektedir.



Şekil 3.8: Tabakalı kompozit

Kaynak: Nejabati, 2014

Tabakalı kompozitler genellikle en az iki tabakadan oluşmaktadır. Fakat mukavemet ve diğer mekanik özelliklerin önemli olduğu ve birbirine dik doğrultuda olan kompozit tabakaların benzer özellik göstermesi beklendiği durumlarda en az üç ya da daha çok sayıda tabaka kullanılmaktadır (Gençoğlu, 2011).

Tabakalı kompozit malzemeler yaygın olarak uçakların yapılarında, kanatların ve kuyrukların yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda yine uçaklarda yaygın olarak kullanılmakta olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzemelerdendir (Yıldızhan, 2013).

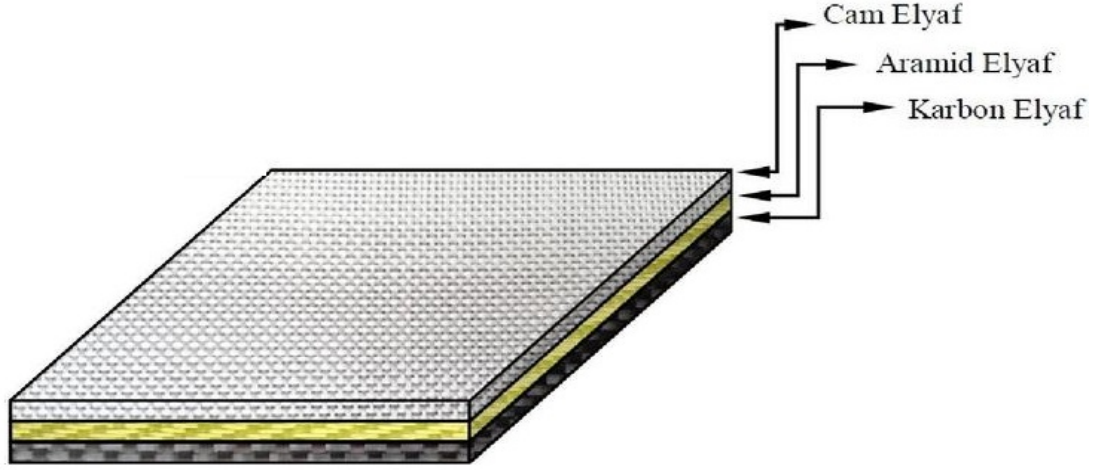
3.3.4 Hibrit kompozitler

Kompozit malzemelerin kırılma uzaması ve tokluğu gevrek fiberler yerine sünek fiberler kullanılmasıyla kayda değer bir oranda yükselmektedir. Bu konuda yüksek sertliğe ve geniş kırılma uzamasına sahip olması sayesinde metal fiberler örnek gösterilebilir. Ancak yoğunluklarının yüksek olması bir dezavantajdır. Diğer taraftan polimer fiberler düşük yoğunluğa sahiptir ve sünektir, fakat düşük sertliğe ve sınırlı ısı direncine sahip olması gibi dezavantajları vardır. Malzemelerin bu tür dezavantaj veya sınırlamaları ile hafif ve aynı zamanda sert malzeme arayışı hibrit kompozit kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Hibrit kompozitler genellikle en az iki tür takviye malzemesi kullanılan kompozit malzemelerdir (Kchany, 2015). Bu sayede farklı takviye malzemelerinin güçlü olduğu taraflar bir araya getirilmiş olur. Örneğin aramid elyaflar toktur, fakat basma mukavemeti yüksek değildir. Grafitler ise düşük tokluğa sahiptir ve pahalıdır, fakat basma mukavemetleri yüksektir. İki elyaflın üretilen bir kompozit malzemede birlikte kullanılması ile ortaya çıkan hibrit kompozit yüksek tokluğa ve basma mukavemetine sahip olurken aynı zamanda ucuz olur. İstenilen özellikleri elde etmek için üretim sırasında tabakaların dizilimi değiştirilebilir (Aktaş, 2015). Değişik takviye elemanlarına sahip bir hibrit kompozitin şematik görüntüsü Şekil 3.9'da verilmiştir. Hibrit kompozitler, günümüzde ileri teknoloji ürünleri kullanılan savunma ve uzay endüstrisinde üstün avantajlarından olan hafiflik ve yüksek mukavemet nedeniyle çok tercih edilmektedir. Hibrit kompozitler çekme gerilmesi altındayken aniden hasar meydana gelmez. İlk olarak daha gevrek olan elyaf hasara uğrar, ardından hasar diğer tür elyafa aktarılır. Takviye fazı gerilimi daha fazla taşıyamayacak duruma geldiğinde hasar matrise aktarılır. Sonuçta kompozit hasarı, matristeki hasar ile aynı zamanda meydana gelir (Kayıran, 2018).

Hibrit kompozitler değişik tiplerde üretilebilir. Bunları aşağıdaki gibi 3 grupta toplayabiliriz:

- Matris içinde iki ya da daha fazla tabaka bulunur. Tabakaların her biri belirlenmiş bir yönde takviye malzemesi içerir ve her tabakada belirli bir tür elyaf kullanılır. Tabakalar hibrit kompozitin kullanılacağı alana göre istenildiği gibi yerleştirilir.
- Aynı tabakada iki ya da daha fazla elyaf karışım olarak yer alır ve kullanılacak alana göre tabakalar birleştirilir.
- Metal matrisli tabakaların ve reçine matrisli tabakaların birlikte yer aldığı süper hibritler elde edilebilir (Yıldızhan, 2013).



Şekil 3.9: Farklı takviye elemanlarına sahip hibrit kompozit

Kaynak: Kchany, 2015

3.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

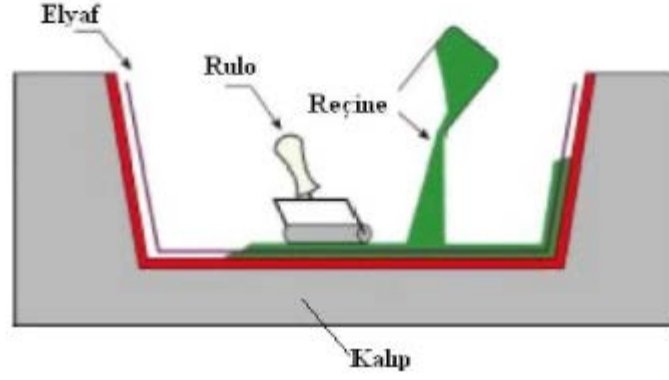
Kompozit malzeme üretimi yapmak için tercih edilebilecek birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler arasından tercih yapabilmek için en önemli parametreler kompozitin kullanılacağı alan ve üretim maliyetidir. Üretim maliyeti de doğrudan tasarım, performans ve malzeme tercihi gibi etkenlere bağlıdır. Üretimde kullanılacak kompozit bileşenlerini doğru şekilde seçmek maliyeti büyük miktarda azaltmaktadır. Üretim öncesinde yorulma, korozyon dayanımı, tokluk, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirlik, düşük ağırlık ve tamir kolaylığı gibi etkenler göz önüne alınarak planlama yapılması üreticiye uzun

vadede büyük kolaylık sağlayacaktır. Kompozit malzeme üretiminde el yatırması, püskürtme, vakum infüzyon, pultrüzyon, filaman sarma, otoklav ve reçine tranfer yöntemleri kullanılmaktadır [13-14].

3.4.1 Elle yatırma yöntemi

Bu yöntem kısaca; üretim yapılacak kalıp üzerine takviye malzemesi olarak kullanılacak elyafların yatırılarak reçinenin elyaflara emdirilmesidir. İşlem aşamalarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Yanen, 2016) :

- Üretim planlamasına uygun kompozit bileşenlerinin seçilmesi
- Gerekli olan malzeme miktarının hesaplanması
- Kullanılacak kalıbın hazırlanması
- Kalıba kalıp ayırıcının sürülmesi
- Elyafın reçine ile iyice ıslatılması
- El yatırması ile üretilen kompozitin kalıpta kürleşmesi için bekletilmesi
- El yatırması yönteminde üretim sonrası yüksek verim alınması için elyafın reçine ile iyice ıslatılmasına ve baloncuk oluşmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü matris içerisinde sıkışan hava baloncukları hatalı malzeme üretimine neden olabilir (Saroya, Meena, 2011) . Bu yöntemde kullanılan reçineler genellikle polyester ve epoksidir fakat fenolik ve vinilester reçineler de tercih edilebilir.
- El yatırması yönteminin avantajları ucuz başlangıç ücreti, kolay imalat, ustalık gerektirmemesi ve büyük ebatlı parça üretimine uygun olması, dezavantajları ise üretim esnasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan açığa çıkan gazların sağlığa zararlı olması, düşük sayıda üretilere uygun olması ve düşük tekrarlanabilirlik olarak sıralanabilir (Khakzad, 2017). Elle yatırma yöntemi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Elle yatırma yöntemi (Kchany, 2015)

3.4.2 Hibrit el yatırması yöntemi

Hibrit el yatırması yöntemi el yatırması yöntemine benzemektedir. Aralarındaki fark üretim yapılacak kalıbın üzerine vakum torbası geçirilmesi ve fazla reçinenin vakumlanmasıdır (Khakzad, 2017). Bu sayede elde edilen kompozit malzemelerin el yatırması yöntemi ile kıyaslandığında yüksek fiber/hacim oranına ve düşük boşluk oranına sahip olur. Ancak bu yöntem maliyeti ve kullanılan malzeme miktarını arttırmaktadır.

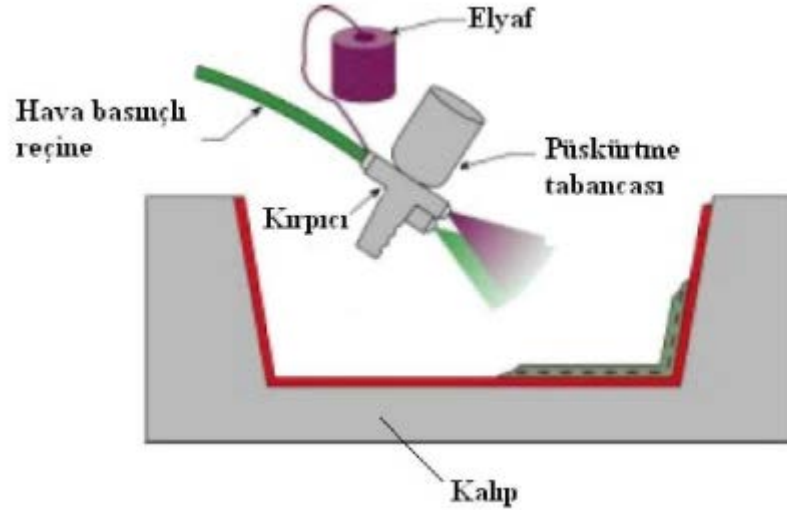
3.4.3 Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi kırılmış elyaf ve reçineden oluşan bir karışımın püskürtme tabancası ile bir kalıp içine ya da dışına püskürtülmesidir. Karışımda kullanılacak sürekli elyaf 3-5 cm'lik boyutlarda kesilir. Püskürtme işlemi sonrasında reçinedeki havayı almak ve düzgün bir yüzey elde etmek için rulolama yapılır. Üretim oda sıcaklığında yapılmalıdır. Kullanılan reçineler epoksi ya da polyesterdir.

Püskürtme yönteminin el yatırması yöntemi ile benzerlikleri bulunmaktadır. İki yöntemde de içeride hava kalmamalı, katalizör ve reçine iyi bir şekilde karıştırılmalıdır. Aynı zamanda püskürtme yönteminde şekillendirilmiş yapılara veya güçlendiricilere gerek yoktur. Püskürtme yöntemi, elle yatırma yöntemine göre daha ucuz ve hızlıdır. Çünkü elyafların ucuz olan şerit formları kullanılmaktadır (Hüner, 2008). Bu yöntem ile üretilen bir kompozitin elyaf/reçine oranı, elle yatırma yöntemine göre daha düzgündür. Bu sayede mukavemeti yüksek geniş ebatlı kompozitler elde edilebilir (Akbay, 2012).

Püskürtme yönteminin avantajları senelerdir sıklıkla kullanılması ve kalıplama maliyetinin ucuz olması, dezavantajları ise kullanılan kırpık elyafların sürekli elyaflara göre daha düşük mekanik özelliklere sahip olması, reçine emiliminin fazla olması ile ağırlığın artması, kullanılacak reçinenin fazla sitren içermesinin onu daha zararlı yapması ve düşük viskoziteye sahip olmasının malzemeyi delme olasılığını arttırması olarak sıralanabilir.

Püskürtme yönteminin genellikle kullanıldığı alanlar mukavemetin fazla önemli olmadığı alanlardır. Bunlara örnek olarak otomobil kaportaları, basit duvarlar, kayıklar, düşük yük altında kalan yapısal paneller, küvet ve yüzme havuzlarının iç yüzeyi ve karavan gövdeleri gösterilebilir (Hüner, 2008). Püskürtme yöntemi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Püskürtme yöntemi

Kaynak: Hüner, 2008

3.4.4 Vakum infüzyon yöntemi

Vakum infüzyon yönteminin temel prensibi vakumlanmış bir ortam içinde reçinenin ilerleyerek elyafı ıslatmasıdır. Üretim yapılacak ortamda taban düz olmalı, pürüz içermemeli ve temizlenmiş olmalıdır (Özen, 2018). Üretim el değmeden gerçekleşir ve reçine kullanım miktarı kontrol altında tutulabilir. Reçine elyaf üzerine aynı miktarda dağılır ve elyaf tarafından eşit miktarda emilir. Böylece kumaş katlanması, hava kabarcığı ve reçine birikintisi gibi problemlerle karşılaşmaz. Ayrıca vakumlu bir ortamda üretim

gerçekleştirdiğinden reçine – katalizör karışımından açığa çıkan gazlar solunmaz (Yanen, 2016) .

Vakum infüzyon yönteminin avantajları geleneksel el yatırması yöntemine göre daha yüksek elyaf oranı olan lamineler üretilmesi, el yatırması yöntemine göre daha az hava boşluğu içermesi, kütleme vakumlu ortamda gerçekleştiği için meydana gelen zararlı gazların insan sağlığını olumsuz etkilememesi, malzemede daha iyi elyaf/reçine oranı elde edilmesi ve üst kalıp yerine torba kullanılması nedeniyle maliyetin düşmesidir. Dezavantajları ise kütleme işlemi sırasında teknik hataları nedeniyle oluşabilecek boşluklar ve ıslanmayan bölgeler, kullanıldıktan sonra tekrar kullanılabilirliği olmayan torbaların maliyeti arttırması ve ustalık gerektirmesidir. Vakum infüzyon yöntemi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



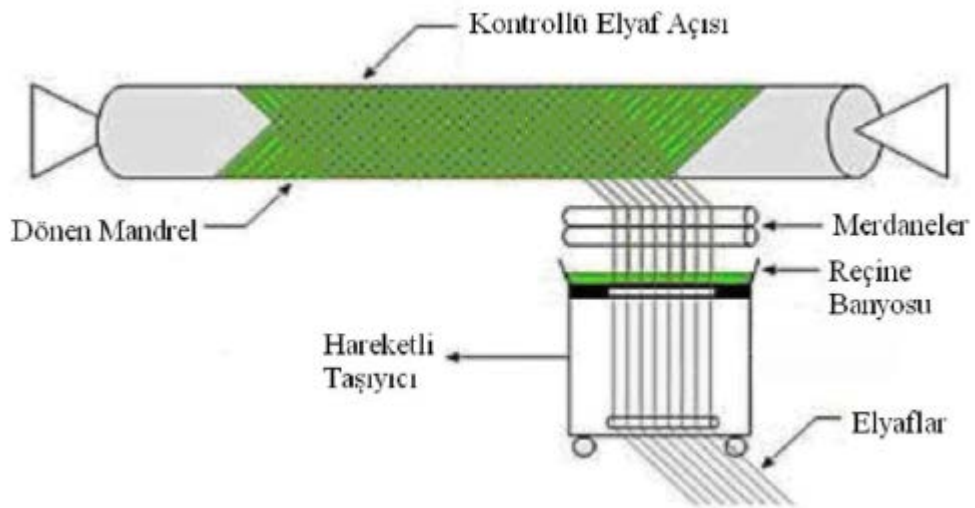
Şekil 3.12: Vakum infüzyon yöntemi

Kaynak: Kchany, 2015

3.4.5 Elyaf (filaman) sarma yöntemi

Elyaf sarma yöntemi özel şekle sahip malzemelerin imalatına uygundur ve temel prensibi sürekli elyaf liflerinin makaradan çekilerek dönmekte olan bir mil etrafına sarılmasıdır. Bu sargı aletlerinin tasarımı kullanıma özel yapılabildiği için dönüş hızları isteğe göre ayarlanarak istenen açıda sarım yapılabilir. Ünitiform yapı ve elyaf konumu konusunda kontrol imkanı büyüktür. Sürekli lifler mil etrafına düzlemsel veya helisel olarak sarılabilir. Islak ve kuru olarak iki farklı sarım türü vardır. Kuru sarımda, elyaf lifleri önceden reçine emdirilmiş formda kullanılır. Islak sarımda ise sürekli elyaf lifleri reçine havuzuna daldırılır. İstenilen miktarda elyaf lifi sarıldıktan sonra kütle yapılıır. Malzeme sertleştikten sonra milden ayrılır. Çoğunlukla yapıştırıcı olarak elyaflar arasında termoset reçineler tercih edilir. Elyaf olarak ise cam, karbon ve aramid elyaflar kullanılmaktadır (Demirci, 2015). Bunlar arasında fiyat açısından en uygun olan cam elyaf en sık tercih edilen takviye elemanıdır.

Üretim bir mil üzerine elyaf liflerinin sarılması şeklinde olduğu için iç yüzeyi pürüzsüz parçaların üretiminde kullanılır. Örneğin silindirik kap ve boru, şaft, basınçlı tank, spor aletleri, yel değirmeni paneli, helikopter ve uçak imalatında kullanılmaktadır. Filaman sarma yöntemi Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Filaman sarma yöntemi

Kaynak: Kchany, 2015

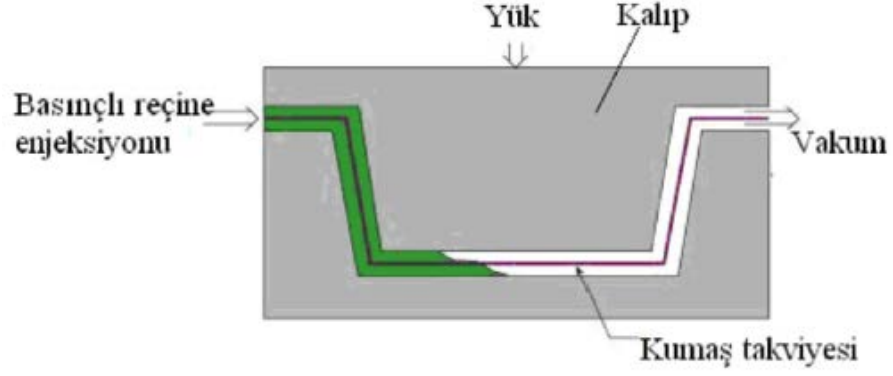
3.4.6 Reçine transfer yöntemi

Reçine transfer yöntemi takviye elemanı olarak sürekli elyaf kullanılan kompozitlerin imalatında kullanılan sıvı kompozit kalıplama metodudur ve büyük miktardaki kompozitlerin hızlıca üretiminde kullanılabilecek en verimli yöntemlerdendir. Bu yöntemde takviye malzemesi olarak keçe, cam veya karbon elyaflar, reçine olarak ise polyester, epoksi, fenolik ya da vinilester reçineler tercih edilir. Genellikle plastik kompozitlerin ya da seramik kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Bu üretim yönteminde elyaflar kalıba boşluğu dolduracak şekilde yerleştirilir, ardından kalıp kapatılır. Elyaflar kalıp içerisinde sürüklenmemelidir, bu yüzden matris içinde yavaş çözünen reçine ile kaplanır (Akbaş, 2012). Reçine, kalıp içerisine basınç altında pompalanır. Bu işlem soğuk, ılık ya da en fazla 80 °C sıcaklıklarda olan kalıplarda uygulanabilir. Elyafların reçineyi iyice emmesi ve içeride kalan havanın dışarı çıkması için vakum kullanılmalıdır. Bazen elyafların reçine ile daha iyi ıslanabilmesi için kalıp içerisine ön enjeksiyon ile reçine basılabilmektedir (Sönmez, 2009).

Reçine transfer yönteminin diğer yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi elde edilen malzemenin pürüzsüz bir yüzeye ve nizami bir kalınlığa sahip olmasıdır (Akbaş, 2012). Bir diğer önemli avantaj ise çok sayıda karmaşık şekle sahip kompozitlerin üretilmesidir. Bu yöntem ile üretilen düşük ağırlığa sahip malzemeler havacılık veya otomotiv alanlarında kullanılabilir ve yakıt tüketiminin düşürülmesine yardımcı olur. Bu yöntemle üretilen kompozitler düşük hava boşluğu oranına sahiptir ve iyi derecede mekanik performans gösterirler. Ayrıca üretim kapalı kalıpta gerçekleştiği için sağlığa zararlı gazlar solunmamış olur.

Diğer taraftan, reçine transfer yöntemi erkek ve dişi kalıp gerektirdiğinden pahalıdır ve ağırdır. Üretim esnasında reçinenin elyafları ıslatmadığı alanlar kalırsa bu malzeme kullanılamaz olur. Bu tür olaylar maliyeti artırır. Ayrıca bu yöntem çoğunlukla küçük parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Reçine transfer yöntemi Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Reçine transfer yöntemi

Kaynak: Kchany, 2015

3.4.7 Otoklav yöntemi

Otoklav basıncın, ısının ve emiş gücünün kontrol edildiği basınçlı bir kaptır (Akabay, 2012). Otoklav kalıplama ise vakum infüzyon üretim yönteminin bir değişkesidir. Otoklav kalıplama yönteminde kürlenme esnasında yüksek basınç ve sıcaklık kullanıldığı için boşluksuz kalıplama yapılabilmektedir. Kürlenme basıncı çoğunlukla 3,4 – 6,8 atm arasındadır fakat üretim şartlarına göre değişiklik gösterebilmektedir (Yanen, 2016) . Üretimde yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen epoksi gibi reçineler kullanılmaktadır. Otoklav kalıplama yöntemi, yüksek mukavemetli, ön emdirilmiş elyaflar kullanılarak yüksek mukavemet/ağırlık oranı gösteren kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Bu kompozitler uçak ve füze gibi araçlarda kullanılır. Otoklav yöntemi Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



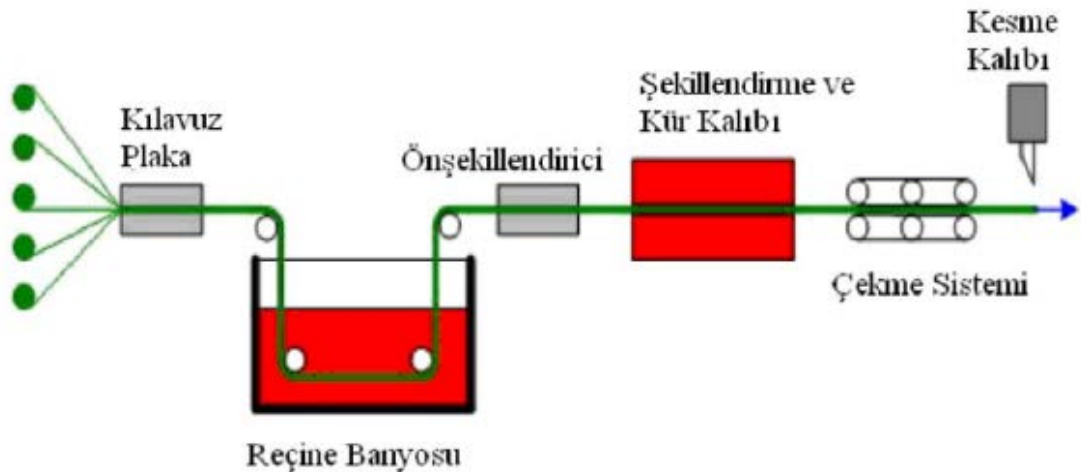
Şekil 3.15: Otoklav yöntemi

Kaynak: Kchany, 2015

3.4.8 Pultrüzyon yöntemi

Pultrüzyon yöntemi, boru, profil ve çubuk gibi sürekli uzunluklardan ve sabit kesitlerden oluşan parçaların imalatında kullanılır (Tanoğlu, Toğulga, 2014). İsminden de anlaşılacağı üzere metal malzemelerin ekstrüzyonuna benzemektedir. Üretim aşamalarında fiber malzemeler reçine emdirme banyosundan geçirilir. Ardından reçine emdirilmiş fiberler 120 - 150 °C'ye ısıtılmış kalıba sokulur ve şekillendirme işlemi yapılır. Bu kalıplar çoğunlukla krom kaplı çelikten üretilmektedir. Şekil verilmiş fiber-reçine demeti polimerize olmak üzere ısıtılmış başka bir kalıba sokulur. Sertleştirilen parça diğer bir işleme ihtiyaç duymaz ve kalıptan çıkabilir.

Pultrüzyon yöntemi, bir alt yapı gereksinimi olan ve teknik olarak uygulaması bazı yöntemlere göre daha zor olabilen bir üretim yöntemidir (Alemdaroğlu, Kayran, 2007). Bunun nedeni üretim işlemlerinin kolay gözükmesine rağmen, kullanılan fiberin hacmi ve reçine ile ıslanma kalitesi, çekme hızı, kalıp sıcaklığı gibi çeşitli faktörlerin elde edilen kompozitin kalitesi üzerinde etkisi olmasıdır. Diğer taraftan üretimde sürekli elyaflar kullanıldığı için elyaf yönünde yüksek mukavemet sağlanmış olur. Bu yöntemle sabit kesitli profil ürünleri seri olarak ucuza üretilebilmektedir (Hüner, 2008). Pultrüzyon yöntemi Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Pultrüzyon yöntemi

Kaynak: Kchany, 2015

3.5 Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı

Mühendislik çalışmalarında kullanılan bir malzemenin, dışarıdan alabileceği herhangi bir darbe karşısında gereken tepkiyi vermesi ve ortaya beklenin dışında bir sonuç çıkmaması istenir. Malzemenin kullanıldığı yere ve kullanım amacına göre etkisi altında kalabileceği darbeler çeşitli şekillerde olabilir. Bununla beraber alınan darbelere karşı verilecek tepki de malzeme tarafından belirlenmektedir (Yüce,2007). Örneğin, metal bir malzemenin aldığı hasar sonrasında verdiği tepki elastik uzama ve plastik şekil değişimi olarak gerçekleşmektedir. Darbe sonrası alınan hasarlar metallerin plastik şekil değiştirebilmelerinden dolayı, çoğunlukla endişe verici olarak düşünülmez. Çünkü metaller uzayıp akarak koparlar. Yani bu kopma aniden olmaz.

Kompozit malzemelerde meydana gelen bir darbe hasarı, alınan darbenin çeşidine göre darbeye temas etmeyen yüzeylerde oluşabilir, delaminasyon yani tabakalar arası ayrılma olarak meydana gelebilir. Kompozit malzemelerde darbe, malzemenin yapısında büyük değişimler oluşturmaz, çoğunlukla mikroskobik boyutta veya küçük hasarlar oluşabilir (Sönmez, 2009). Kompozit malzeme plastik matrisli ise çoğunlukla kırılmalıdır. Bu sebeple, üzerine etki eden darbeyi elastik şekil değişimi, matris kırılması, delaminasyon ve fiber kopması şeklinde soğurabilirler.

Kompozit malzemelerde tabakalar arası kesme ve normal gerilmeleri, tabakalar arası mukavemetin düşük olması nedeniyle ilk kopmaya yol açan gerilmelerdir. Kompozitin aldığı darbeden aktarılacak enerji miktarını, malzemenin bu enerjiyi absorbe edebilmesi için meydana gelecek hasar modları belirleyecektir. Bu sebeple, tabakalı kompozit malzemelerde alınan bir darbenin açığa çıkaracağı hasarı belirlemek için darbe hızının bilinmesi gerekmektedir (Yüce,2007).

3.5.1 Düşük hızlı darbe

Genellikle darbeler düşük hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere iki çeşittir. Malzemenin rijitliğine, mekanik özelliklerine ve darbe uygulayacak olan cismin kütle ve rijitliğine göre 1 ile 10 m/s arasındaki hızlar düşük hızlar olarak nitelendirilir (Potoğlu, 2012). Buna örnek olarak, bir malzemenin üzerine üretim ya da bakım sırasında bir cismin düşmesi gösterilebilir.

Kompozit malzemeler düşük hızlı darbelerin yol açtığı iç yapıda oluşan deformasyonlara karşı hassastır. Bu darbeler genellikle malzemenin dış tabakasında hasara yol açmazken iç hasara neden olabilirler. Kompozit malzemenin iç yapısında olabilecek deformasyonlar kritik olabilir çünkü bu deformasyonlar mekanik özellikleri büyük ölçüde azaltır ve malzeme ömrünü kısaltır. Düşük hızlı darbelerde hasar alan malzemenin dinamik yapısal tepkisi de oldukça önemlidir. Bunun nedeni temas süresinin, malzemenin gelen darbeye tepki vermesi için yeterli uzunlukta olmasıdır. Bunun sonucunda, daha fazla enerji esnek olarak soğurulur (Potoğlu, 2012).

Darbe türünü belirlemek için darbe sonrası ortaya çıkan hasarlar da incelenebilir. Yüksek hızlı darbe, delinme şeklinde oluşmuş fiber kopması, düşük hızlı darbe ise delaminasyon (tabakalar arası ayrılma) veya matris kırılması gözlemlenerek belirlenir (Kara, 2006). Malzemeye darbe uygulayan cismin altında kalan alan, gerilme dalgası yüzey boyunca dağılırken düzgün olarak deformasyona uğrar.

3.5.2 Enine darbe

Kompozitlerin en dayanıksız oldukları gerilim tabakaya veya fibere dik olan gerilimdir. Bunun nedeni malzemenin tabaka düzleminde kalınlık doğrultusuna göre daha dayanıklı olmasıdır. Kompozitlerin bu tür darbelere karşı verdiği tepki, malzemeyi oluşturan tüm bileşenlerin kendi mekanik özelliklerine, darbe uygulayan cismin şekline, kütesine ve hızına bağlıdır (Kara, 2006). Darbe düşük hızlı ise yüzeyde açık bir şekilde görülebilen hasara neden olmayabilir. Ancak iç yapıda, tabakalar arası ayrılmaya (delaminasyon), matris çatlamasına ya da fiber kopmasına sebep olabilir. Bu tür hasarlar malzemenin dayanımında büyük düşümlere neden olur.

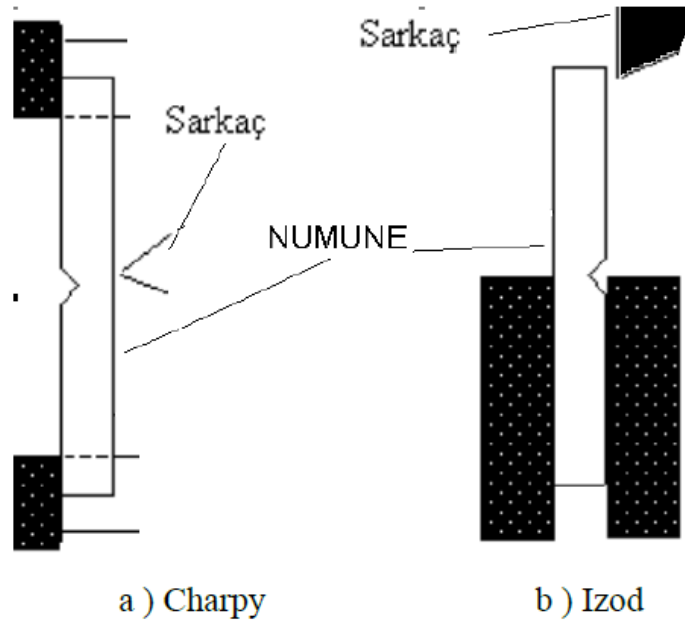
3.5.3 Darbe testleri

Bir kompozit malzemenin darbeye karşı direncini, kompozitin fibere dik yönüne, yani enine alabileceği darbenin benzerini yapan testler yardımı ile belirlemek mümkündür. Bu darbeyi meydana getirmek için çeşitli testler mevcuttur, fakat kompozitlerin darbe davranışlarını belirlemek için uluslararası ya da tesisler veya araştırmacılar arasında standart olarak kabul edilen bir teknik

bulunmamaktadır. Günümüzde kompozitlerin darbe davranışlarını belirlemek için aşağıdaki deney yöntemleri ve cihazları kullanılmaktadır (Yüce,2007):

- Charpy ve Izod testleri
- Gaz silah testleri
- Ağırlık düşürme testleri

Düşük hızlı darbe testi için kullanılan ilk test düzeneği Charpy ve Izod testleridir. Charpy ve Izod testleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Charpy testinde iki tarafından mesnetlenmiş, serbest duran ve ortasına u ya da v şeklinde bir çentik açılmış bir numune bulunmaktadır. Test için numuneye orta kısmından bir sarkaç ile vurulmaktadır.



Şekil 3.17: Charpy ve Izod testleri

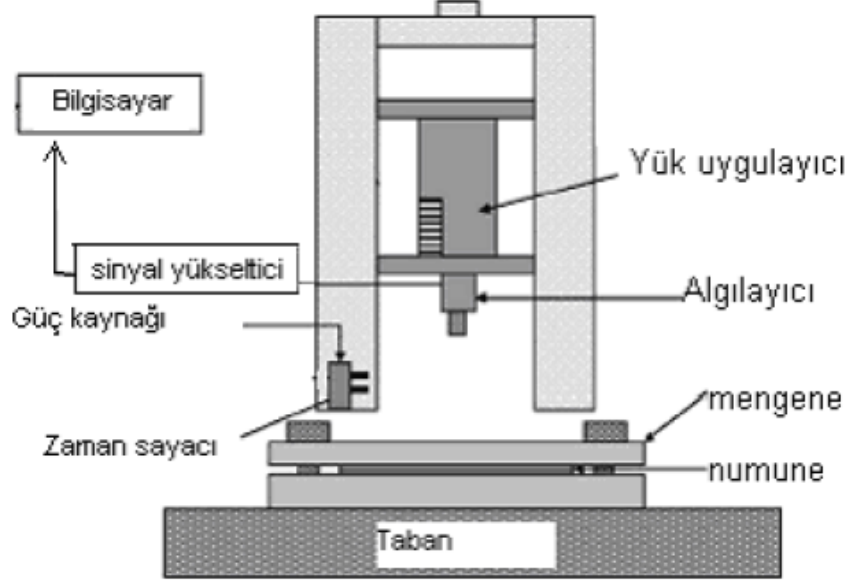
Kaynak: Özen, 2018

Izod testi çoğunlukla polimerler için kullanılmaktadır (Benli, 2010). Bu test, Charpy testi ile büyük benzerlikler göstermektedir. Izod yönteminde numune iki taraftan değil, bir taraftan mesnetlenir ve çentik numunenin sabitlendiği yerden açılır. Sarkaç ise darbeyi mesnetsiz tarafa iletir. İki düzenekte de darbe dayanımını hesaplamak için sarkacın darbe sonrası çıktığı yüksekliğe bakılır. Sarkacın ilk bırakıldığı yükseklikteki enerjiden en son çıkabildiği yükseklikteki enerji çıkarılarak absorbe edilen enerji hesaplanmış olur. Buna göre, sarkaç

darbe sonrası ne kadar az yükselebiliyorsa malzeme o kadar çok enerji soğurmuş, yani malzemenin dayanımı o kadar yüksek olmuş olur.

Gaz silah testi genellikle büyük parçalar ve 60 m/s ile 240 m/s arasında değişen yüksek hızlar için kullanılmaktadır. Bu test düzeneğinin dört temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlar bir basınç regülatörü, bir tank, bir selenoid valf ve bir hız algılama cihazıdır. Bir gaz filtresi tarafından temizlenen gaz basınç regülatörüne aktarılır. Bu basınç regülatöründen iki yüksek ve alçak basınç ölçer ve bir alçak basınç valfi bulunmaktadır. Yüksek ve alçak basınç ölçerler tankın basıncını ve sağlanan basıncı ayrı ayrı okur. Alçak basınç valfi tank çıkış basıncını düzenler. Tank içindeki basınç selenoid valfin açılmasıyla dışarı bırakılır ve mermi silah namlusu boyunca ilerleyerek bir hız algılama cihazından geçer. Bu cihaz darbe öncesi mermi hızını hesaplar. Bazı durumlarda bu cihaz yerine yüksek hız kameraları kullanılabilir. Gaz daha önceden belirlenmiş bir değere ulaştığı zaman selenoid valf açılır ve hızlanmış mermi numuneye darbe uygulamak üzere namlu içerisine gönderilir.

Ağırlık düşürme testlerinin kullanımı son senelerde artış göstermiştir. Bu testler ile çeşitli değişkenler bulunabilir ve elde edilen sonuçlar değerlendirilebilir. Ağırlık düşürme testi ile ivmelenme veya yer değiştirme belirlenebilir. Böylece yükteki, ivmelenmedeki ve yer değiştirmedeki değişim bulunur. Elde edilen veriler ile darbe enerjisi – zaman veya darbe yükü – zaman grafikleri bulunabilir, absorbe edilen enerji ile malzemenin kırılması arasında bağlantı kurulabilir. Ağırlık düşürme test cihazı genel hatlarıyla Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Bu deneyi oluşturan parçalar: Numune yada tüp içine yerleştirilen yük ölçüm cihazı, darbe anından önceki tüp hızını belirleyen fotoelektrik hücreler ve darbe anını kaydetmek için kullanılan yüksek hız kamerasıdır (Yüce,2007). Ağırlık düşürme testi cihazı Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

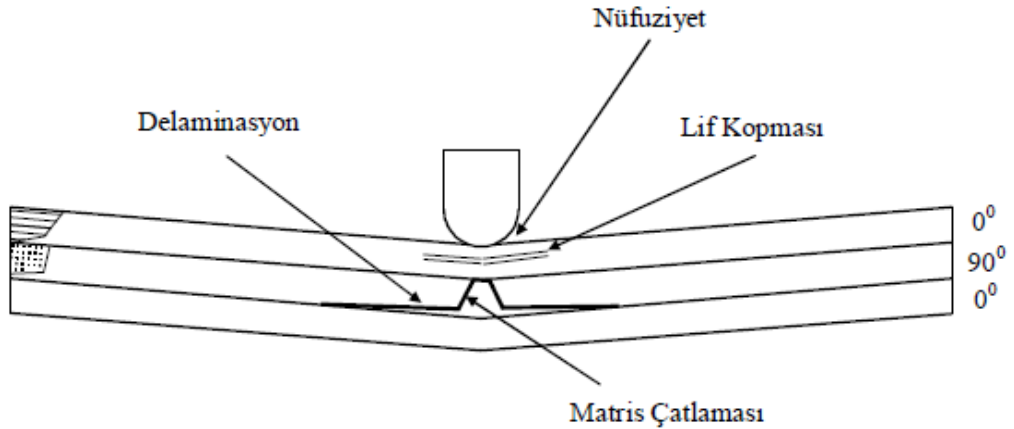


Şekil 3.18: Ağrlık düşürme test cihazı

Kaynak: Özen, 2018

3.5.4 Tabakalı kompozitlerde darbe sonrası meydana gelen hasar türleri

Kompozit malzemelerin darbe karşısında gösterdiği hasar davranışları, uygulamalarda ciddi sorunlar doğurabileceğinden, dikkat edilmesi gereken bir sorundur. Kompozitler genellikle statik veya dinamik yüklemeler altında hasara karşı duyarlıdır (Canan, 2007) . Tabakalı kompozit malzemelerde, yapılarının heterojen ve anizotropik olması nedeniyle dört çeşit hasar türünün meydana gelmesi mümkündür. Bu hasar modları Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

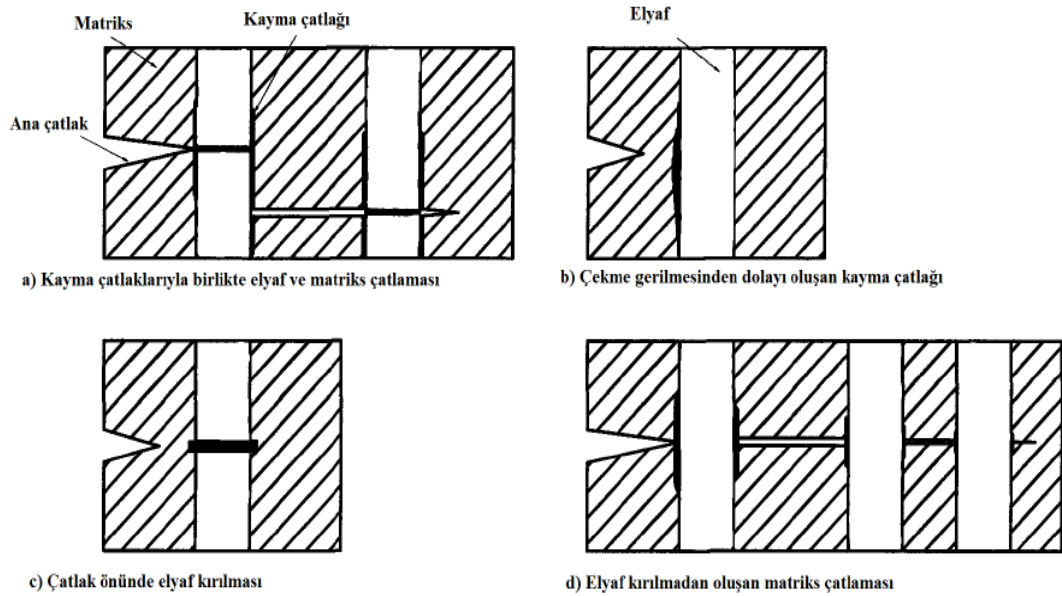


Şekil 3.19: Kompozitlerde hasar türleri

Kaynak: Özen, 2018

3.5.4.1 Matris hasarı

Kompozit malzemenin düşük hızlı, enlemesine aldığı darbe sonucu meydana gelen ilk hasar türü matris hasarıdır ve bu çoğunlukla matris kırılması olarak meydana gelir. Matris hasarı aynı zamanda elyaf ile matris arasındaki bağların kopması olarak da meydana gelebilir. Bu hasar, tek yönlü fiberlerden üretilmiş kompozitlerde, çoğunlukla fiber yönüne paralel düzlemde meydana gelir (Bozkurt, 2011). Üst ve orta tabakalardaki matris kırılması, darbeyi uygulayan cismin altından başlamaktadır. Fiber ile matris arasındaki bağlanma mukavemetinin zayıflaması ile ayrılma olayı meydana gelir (Taşyürek, 2014). Malzemenin aldığı darbe sonrası daha karmaşık ve ön görülmesi zor olan matris hasarları da bulunmaktadır. Normal gerilmelerin tabakanın enine kayma mukavemetinden fazla olduğu durumlarda çekme çatlakları oluşmaktadır. Enine kayma gerilmeleri, orta düzleme göre belirli bir açıda bulunan kayma çatlakları oluşumunda da etkilidir (Bozkurt, 2011). Matris hasarı türleri Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Matris hasarı türleri

Kaynak: Yırtımcı, 2011

3.5.4.2 Delaminasyon

Bu hasar türü, değişik fiber düzenine sahip tabakaların arasında, matrisin fazla olduğu kısımlarda oluşan bir kırılmadır. Delaminasyonun meydana gelmesinin en önemli nedeni tabakaların arasındaki eğilme rijitlik farklılıkları ve eğilmeden

kaynaklanan gerilimlerdir (Bozkurt, 2011). Eğilme rijitlik farklılıkları tabakalar arasındaki değişik fiber düzlemleri nedeniyle meydana gelmektedir. Delaminasyona neden olan diğer faktörler ise kompozit malzemenin özellikleri, tabaka kalınlıkları ve yığılma düzeni olarak gösterilebilir. Malzemenin enine aldığı darbe sonrası meydana gelen delaminasyon, bir eşik değeri geçildiğinde ve matris kırılması meydana gelmiş ise oluşur. Delaminasyona sebep olan matris kırılmaları, kritik matris kırılmaları olarak adlandırılır (Yırtımcı, 2011).

3.5.4.3 Fiber kopması

Fiber kopması çoğunlukla matris kırılması ve delaminasyon meydana geldikten daha sonra oluşur. Gevrek yapılı elyaf kullanımında daha baskın olarak görülebilmektedir (Esendemir, Caner, 2018). Fiber kopmasını meydana getiren önemli nedenler aşağıdaki gibidir.

- Yüksek miktarda bölgesel gerilimler ve nüfuziyet tarafından meydana gelen etkiler. Bu etkiler darbe uygulayan cismin alt bölgesinde gerçekleşmektedir.
- Yüksek miktarda eğilme gerilmeleri. Bu gerilimler darbe almayan bölgede gerçekleşmektedir.

3.5.4.4 Nüfuziyet

- Nüfuziyet, makroskobik boyutta bir hasar türüdür ve darbe uygulayan cismin malzemeyi delme miktarını ifade etmektedir. Elyaf / hacim oranı birbirinin aynısı olan farklı ebatlardaki malzemelerde darbe uygulayan cismin nüfuziyet bölgesi neredeyse aynıdır (Bozkurt, 2011). Nüfuziyetin oluştuğu darbeler genel olarak balistik veya balistik üzeri hız seviyelerindeki darbelerden meydana gelmektedir. Delinmenin meydana gelmesi için ihtiyaç duyulan eşik darbe enerjisi, karbon elyaf takviyeli plastik kompozitlerde malzeme kalınlığının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır (Yırtımcı, 2011). Kompozit malzemenin balistik hız seviyesinde aldığı bir darbe sonucu nüfuziyet oluşan alandan darbe uygulayan cisim boyutunda bir parça kopup dışarı çıkmaktadır. Kesilip çıkan bu parçayla absorbe edilen enerji, toplamda absorbe edilen enerjinin yaklaşık %50-60'ını oluşturmaktadır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

Kompozit plaka üretimi için kullanılan malzemeler şunlardır:

- Elyaf lar (cam ve karbon)
- Vinilester epoksi ve sertleştirici

4.1.1 Elyaf lar

Bu çalışmada kullanılan karbon ve cam fiber TETRAKTİS Kompozit firmasından temin edilmiştir.

Elyaf lar seçilirken üretim yöntemi olan vakum infüzyon tekniğine uygun olacak şekilde seçilmiştir.

4.1.2 Epoksi ve sertleştirici

Bu çalışmada kullanılan epoksi reçine DURATEK firmasından temin edilmiştir. Kullanılan epoksinin kodu DTE 1152'dir. Kullanılan reçinenin mekanik özellikleri Çizelge 4.1'de, epoksinin özellikleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Reçinenin Mekanik Özellikleri

Eğilme Dayanımı (Mpa)	ISO 0178	160±% 10
Elastiklik Modülü (Mpa)	ISO 0178	4360±% 10
Kopmadaki Uzama	ISO 0178	% 6.9±% 10
Çekme Dayanımı (Mpa)	ISO 0527	80±% 10
Çekme Elastiklik Modülü (Mpa)	ISO 0527	3300±% 10
Kopmadaki Uzama	ISO 0527	% 5-6±% 10
Izod Darbe Dayanımı	ISO 0180	17kJ/m ² ±% 10

Çizelge 4.2: Epoksinin Özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	1.044±%5
Kırılma İndisi	1.565±%5
Asit Değeri	max 10 mg KOH/gr
Viskozite	450±%30

4.2 Yöntem

Tabakalı hibrit kompozit üretiminde kullanılmak üzere vakum infüzyon yöntemi seçilmiştir. Bu metodun seçilmesindeki sebepler şöyle sıralanabilir:

- Takviye fazı oranını arttırıp matris fazı oranını azaltarak kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde artış beklenmektedir.
- Kullanılan elyafların matris tarafından homojen bir şekilde ıslanmasını sağlamaktır.
- Kaliteli yüzeyler elde etmek.
- Bu yöntemle üretilen kompozitler daha güçlü ara yüzeye sahiptirler.

İlk adım olarak elyaf kumaşlar 580 x 580 mm boyutlarında kesildi. Numunelerin orijinal boyutları 560 x 560 mm olarak tayin edildi. Buradaki fazla olan 20 mm, kenar hatalarını düzeltmek amacıyla bırakıldı Orijinal boyut olan 560 x 560 mm ise deneylerde kullanılacak numune sayıları göz önüne alınarak hesaplandı. Daha sonra üretimin yapılacağı alüminyum masa üzerinde elyaf boyutlarından daha büyük olacak şekilde, çift taraflı bantlar yardımı ile kare bir çerçeve oluşturuldu. Bu çerçeve içerisine kalıp ayırıcı vaks, 5'er dakika aralıklarla toplam 3 defa olacak şekilde sürüldü. Şekil 4.1'de çerçevenin oluşturulması ve vakslama işlemi görülmektedir.



Şekil 4.1: Çerçevenin oluşturulması ve vakslama işlemi

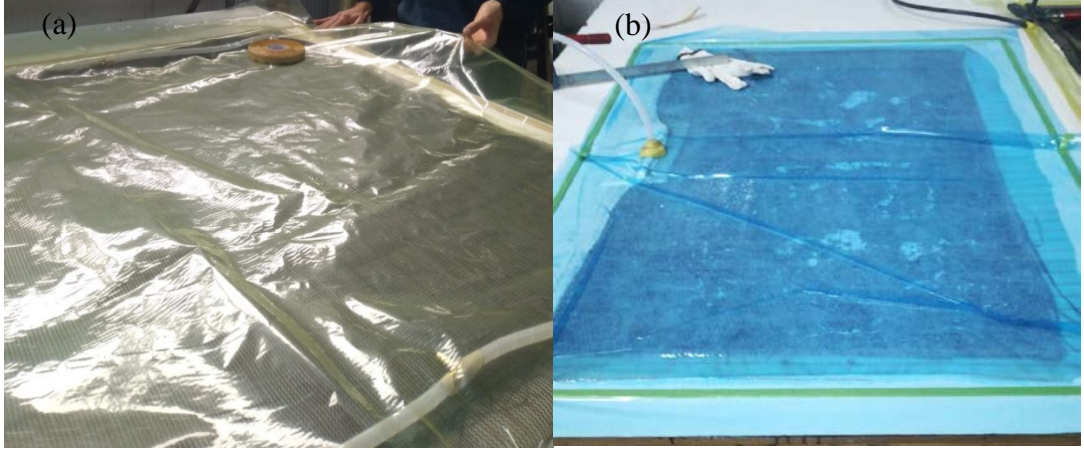
Vakslama işleminin ardından hazırlanmış olan karbon ve cam elyaflardan en iyi mekanik özellikleri alabilmek için malzemeler uygun açı ve istif sırasına göre üst üste konuldu. Bu dizilimin üzerine önce kompoziti kolayca çıkarabilmek için peel-fly, sonra reçinenin düzgün bir şekilde akışını sağlamak için ise akış filesi yerleştirildi. Çizelge 4.3'te kullanılan elyafların istif sıraları ve açıları gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Kullanılan elyafların istif sıraları ve açıları

Numune Adı	İstifleme Sırası	İstifleme Açısı	Kalınlık (mm)
8L	K/C/K/C/K/C/K/C	45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°	1.44
10L	K/C/K/C/K/C/K/C/K/C	45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°	2
12L	K/C/K/C/K/C/K/C/K/C/K/C	45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°/45°/0°	2.29

- Reçinenin sisteme giriş ve çıkışını kontrol edebilmek için akış hortumları yeterli boyutlarda kesildi. Reçinenin sisteme gireceği kısma T boru düzeneği yerleştirilmiş ve akış hortumu bu düzeneğe bağlanmıştır. Çıkış için ise tek yönlü akış hortumunun bir ucu sisteme bağlanmış, diğer ucu ise akış tankına bağlanmıştır.

- Son olarak Şekil 4.2’de görüldüğü gibi hazırlanmış olan sistemin üzerini kapatmak için uygun boyutlarda vakum torbası kesildi. İlk aşamada çerçeve oluşturmak için kullanılan çift taraflı bantların yardımıyla da vakum torbası kapatıldı. Sonrasında vakum pompası -1 atmosfer basınç altında çalıştırıldı. Sistemin hava kaçağı olup olmadığı kontrol edildi.



(a) vakum torbasının kapalı hali

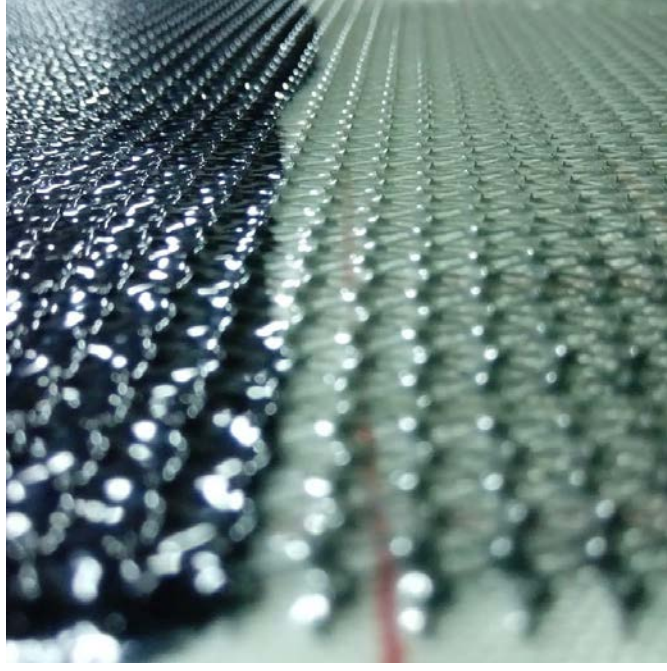
(b) vakumlanmış hali

Şekil 4.2: Sistemin vakumlanması

4.2.1 Epoksinin hazırlanması ve sisteme verilmesi

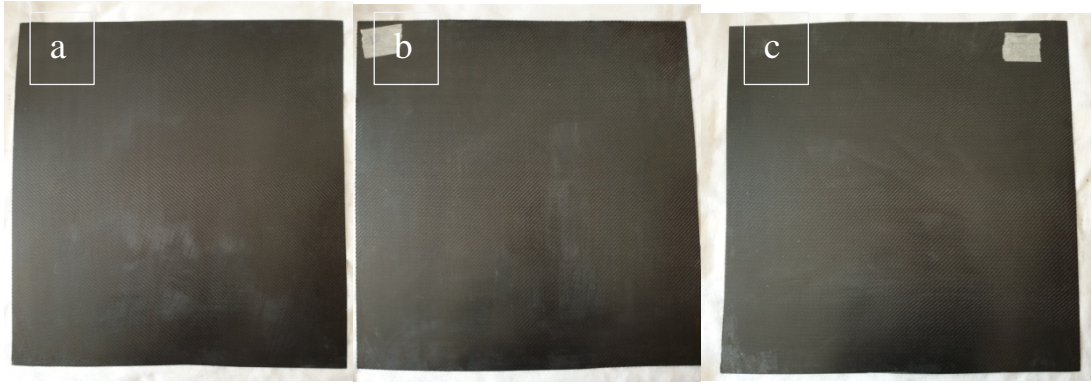
Toplam fiber ağırlığının %79’u kadar epoksi ve %21’i kadar ise sertleştirici kullanıldı. Toplam fiber ağırlığı baz alınarak gerekli epoksi miktarı hazırlanıp bir beher içerisinde döküldü. Aynı şekilde sertleştirici de hazırlanarak epoksinin bulunduğu beher içerisine ilave edildi. Daha sonra bu karışım mekanik karıştırıcı yardımı ile 30 dakika boyunca karıştırıldı.

Daha önceden hazırlanmış olan vakum infüzyon sisteminin giriş kısmında yer alan akış hortumu içerisinde reçine bulunan beher içine daldırıldı. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi vakum pompası çalıştırılarak reçine sistem içerisine verildi. Akış gözlemlendi ve elyaflar tamamen ıslanana kadar sistem çalıştırıldı. Sisteme fazla gelen epoksi ile çıkış hortumu yardımıyla akış tankına aktı.



Şekil 4.3: Epoksinin sisteme verilmesi

Otomatik olarak çalışan vakum pompası krleme süresi olan 12 saat boyunca belli aralıklarla çalışarak sistemi vakum altında tuttu. Bu srenin sonunda vakum kapatıldı ve sistem açılarak Şekil 4.4’de görülen numuneler alındı.



a) 8 katlı plak

b) 10 katlı plak

c) 12 katlı plak

Şekil 4.4: Üretilen numuneler

5. DENEYLER VE BULGULAR

5.1 Yakma Deneyi

Yakma testi fiber takviyeli kompozitlerin reçine/fiber oranını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Deney sonucu elde edilen veriler aşağıdaki formülde yerine konarak fiber hacim oranı hesaplanmaktadır.

$$V_f = (W_f/p_f) / (W_k/p_k)$$

Yukarıdaki denklemde:

W^f =Fiber ağırlığı

p^f = Fiber yoğunluğu

W_k =Kompozit yoğunluğu

p_k =Kompozit yoğunluğu

5.1.1 Deney numunelerinin hazırlanışı ve uygulanması

Yakma testi numuneleri ASTM D-8524 standartlarına uygun bir şekilde hazırlandı. Üretilmiş olan tabakalı hibrit kompozitten 25x25 mm boyutlarında numuneler kesilerek Şekil 5.1'de görüldüğü gibi yakma numuneleri hazırlandı. Her bir kompozit numune için birer tane olmak üzere toplam 3 tane (8, 10, 12) hazırlandı.



Şekil 5.1: Yakma testi numunesi

İlk olarak, numuneler hassas terazide tartıldıktan sonra 450 °C’de kül fırınına yerleştirildi ve 30 dakika boyunca reçine tamamen uzaklaştırılana kadar yakıldı. Yakma işlemi bittikten sonra karbon ve cam elyaflar hassas terazide yeniden tartıldı. Yakma testi sonucunda uçan matris miktarı hesaplanarak Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: Yakma testi sonucu elde edilen veriler

Numune	/ Kompozit	Fiber Ağırlığı	Uzaklaştırılan
Ağırlıklar (g)	Ağırlığı		Matris
8L	0.806	0.697	0.109
10L	1.37	1.209	0.161
12L	1.31	1.177	0.133

8 tabakalı numune için fiber hacim oranının hesaplanması aşağıdaki gibidir. Tüm numuneler için hesaplanan oranlar Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

$$V_f = (W_f/p_f) / (W_k/p_k)$$

$$V_f = (0.697/2.2) / (0.806/1.56)$$

$$V_f = \%61$$

Çizelge 5.2: Fiber hacim oranı tablosu

Numune	Fiber Hacim Oranı (%)
8L	%61
10L	%62.3
12L	%63.7

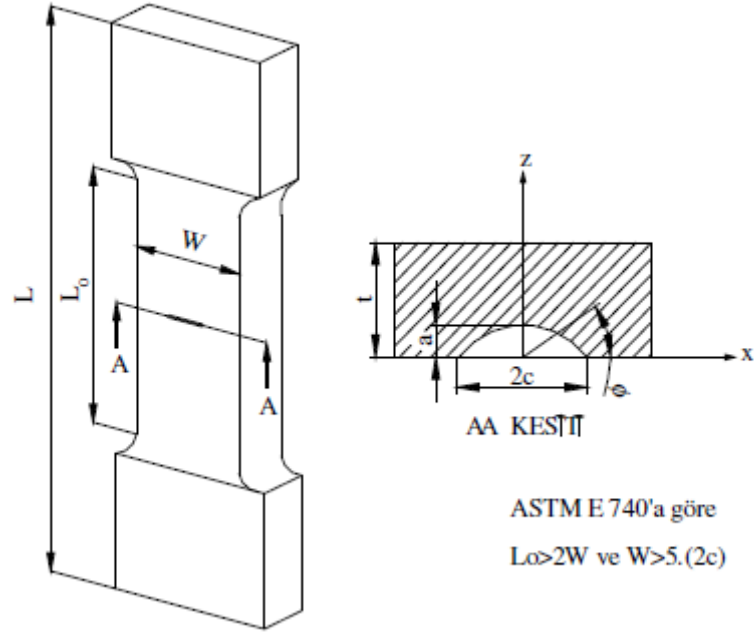
5.2 Çekme Deneyi

Çekme deneyinde malzemelere, genellikle dik yönde bir germe kuvveti uygulanırken malzemelerin bu kuvvet karşısında gösterdiği davranış incelenmektedir. Bu deney sonucunda elde edilen veriler ile malzemenin mekanik özellikleri hesaplanmaktadır. Çekme testi düzeneği, biri sabit ve diğeri hareketli olan iki farklı çeneden oluşmaktadır. Deney, numunenin bu çenelere bağlanması ve hareketli çenenin numuneye kuvvet uygulamasıyla başlamaktadır. Kuvvet sayesinde numunede oluşan uzama, cihazın bağlı olduğu bilgisayara kaydedilmektedir. Çekme testi için hazırlanan numuneler standartlar doğrultusunda dairesel veya dikdörtgen olacak şekilde malzemenin cinsine göre hazırlanmaktadır.

5.2.1 Deney numunelerinin hazırlanışı ve uygulanması

Numuneler ASTM A-320 standartlarına uygun bir şekilde 20x250 mm olacak şekilde kesildi. Her plaka için 3 adet normal, 3 adet de yüzeyinde çatlak bulunan 6 adet numune hazırlandı. Hazırlanan numune sayısı toplam 18 tanedir.

Deney numunelerine yüzey çatlakları ASTM E-740 standartlarına uygun bir şekilde açılmıştır. Bu standarta göre numunelerde $L_o > 2W$ ve $W > 5x(2c)$ şartına uyulmuştur. Yüzey çatlak ölçütleri, $2c = 3$ mm ve $a = 1$ mm olarak belirlenmiştir. ASTM E-740 standartı ve yüzey çatlağı Şekil 5.2’de görülmektedir. Burada, $2c$: çatlak genişliği, a : çatlak derinliği, t : numune kalınlığı, W : numune genişliği ve L : numune uzunluğudur.



Şekil 5.2: ASTM E-740 standardı

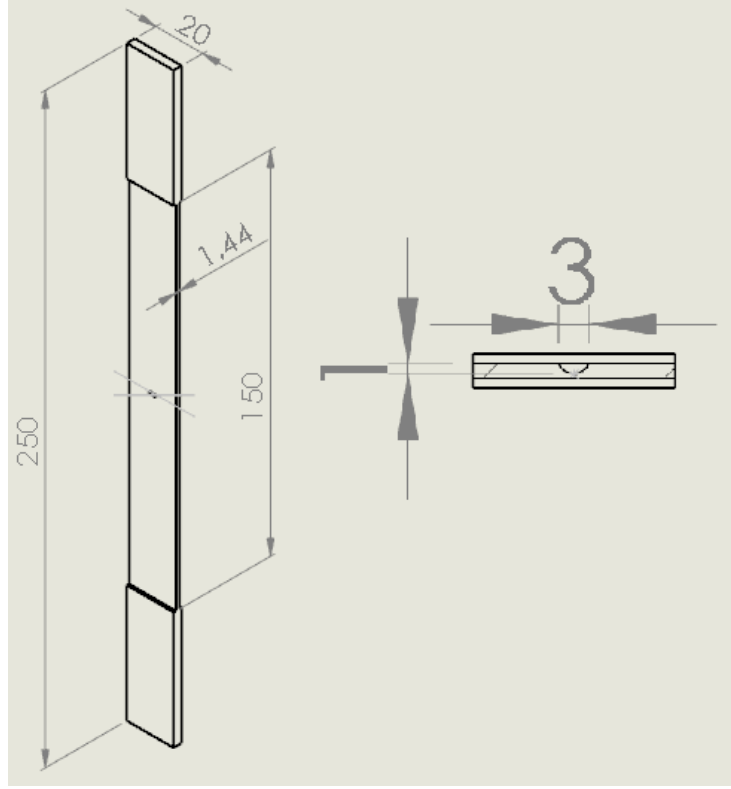
Numune ve yüzey çatlakları değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Çekme testi numune değerleri

Numune	L (mm)	L _o (mm)	W (mm)	t (mm)	a (mm)	2c (mm)
8L	250	150	20	1.44	1	3
10L	250	150	20	2	1	3
12L	250	150	20	2.29	1	3

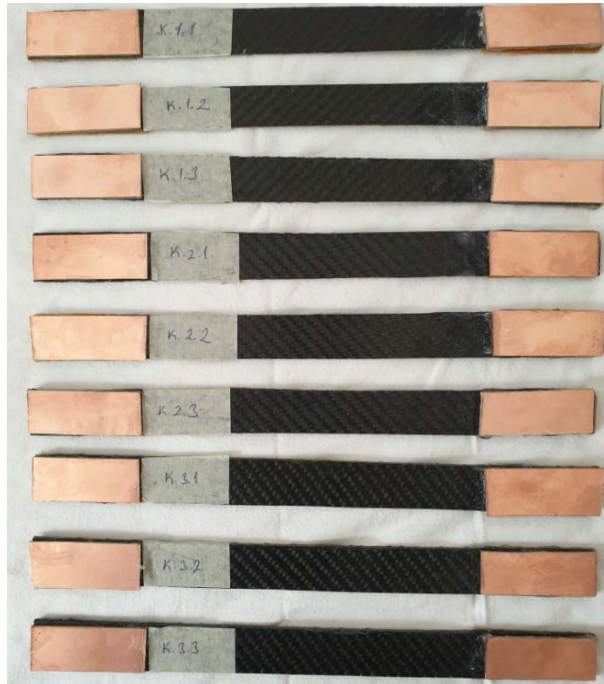
Numunelerin çekme cihazına bağlanabilmesi için numunelerin iki ucuna, önüne ve arkasına olacak biçimde bakır plaklar yapıştırıldı. Böylece çekme işlemi boyunca numuneler çeneler tarafından sabit bir şekilde tutulması sağlandı.

8 tabakalı, yüzey çatlaklı çekme testi numunesinin teknik resmi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

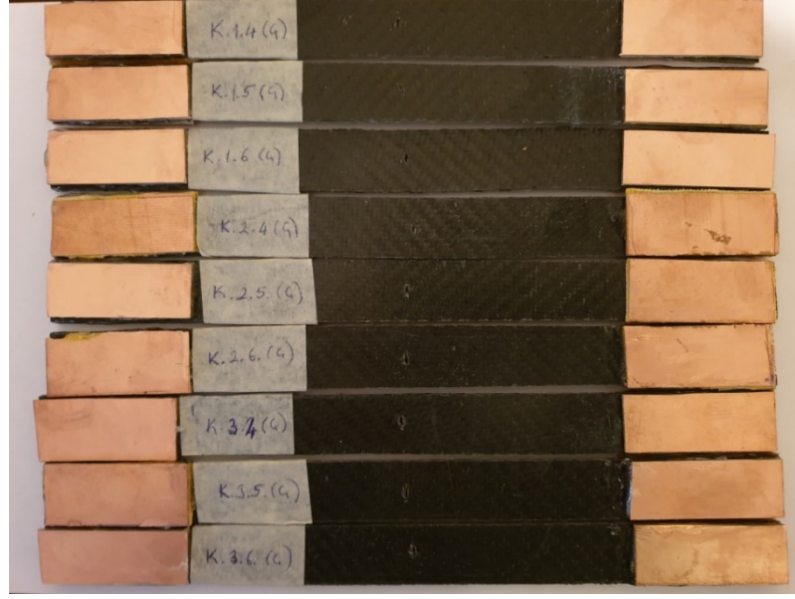


Şekil 5.3: 8L çekme testi numunesi teknik resmi

Şekil 5.4'te çekme testi numuneleri, Şekil 5.5'te ise yüzey çatlaklı çekme testi numuneleri görülmektedir.



Şekil 5.4: Çekme testi numuneleri



Şekil 5.5: Yüzey çatlaklı çekme testi numuneleri

Bu deney Yeditepe Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında 100 kN'luk Instron 3382 cihazı ile yapıldı. Deney cihazı Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Instron 3382 çekme testi cihazı

Çekme deneyi oda sıcaklığında, hız 3mm/dk olacak şekilde uygulandı. Deney, numuneler tümüyle deforme olana ya da kırılana kadar devam ettirildi. Deney

bittiğinde numuneler test cihazından çıkarıldı ve cihazdan bilgisayara aktarılan bilgiler, excel dosyası olarak kaydedildi. Elde edilen bilgiler ile aşağıdaki formüller kullanılarak Çizelge 5.3'teki sonuçlar hesaplandı.

Elastisite modülü (E), maruz bırakılan gerilimin birim uzamaya olan oranıdır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

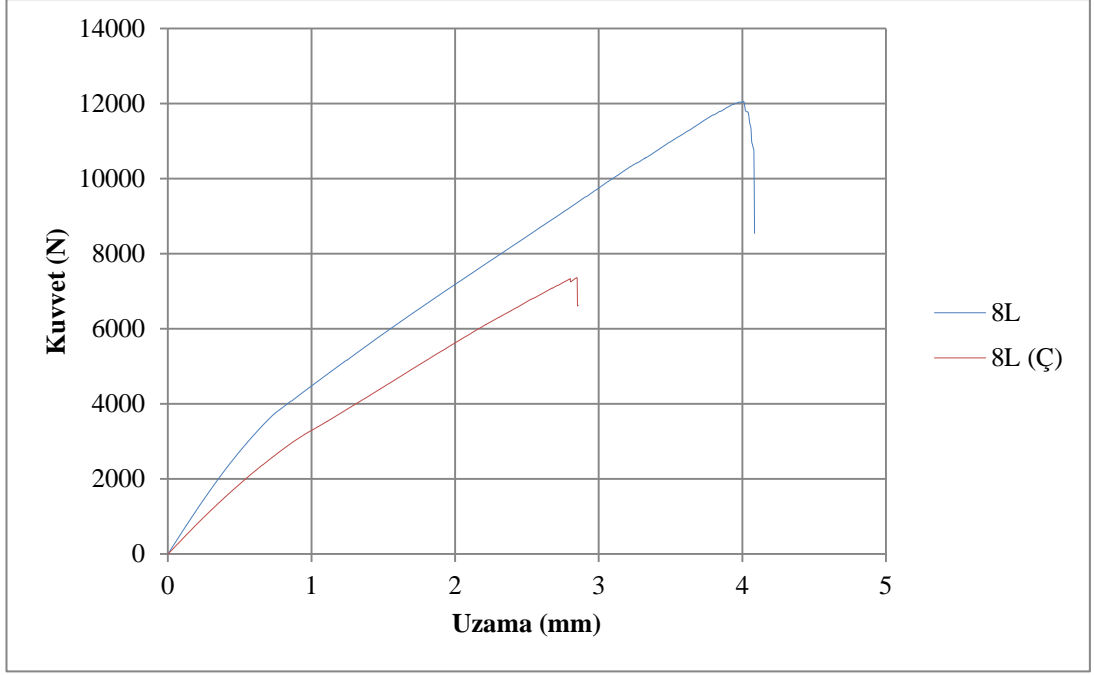
Yüzde uzama ($\epsilon\%$), malzeme uzunluğundaki değişimin ilk uzunluğa bölümüdür.

$$\epsilon\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$$

Çizelge 5.4: Çekme testi sonuçları

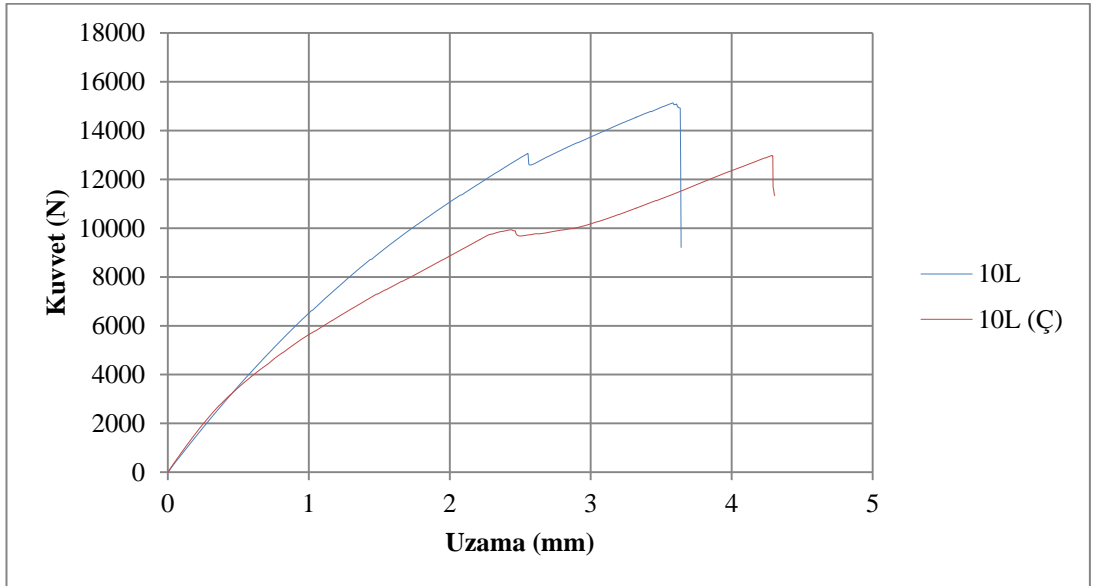
	σ_{\max} (N)	$\epsilon\%$	E (N/mm ²)	ρ_k (g/cm ³)	Vf (%)	t (mm)
8L	12055.14	2.72	443203.67	1.56	%61	1.44
8L(Ç)	7363.81	1.91	385539.79	1.56	%61	1.44
10L	15129.91	2.42	625202.89	1.57	%62.3	2
10L(Ç)	12969.14	2.87	451886.41	1.57	%62.3	2
12L	27562.67	3.24	850699.69	1.60	%63.7	2.29
12L(Ç)	22202.54	3.86	575195.34	1.60	%63.7	2.29

8 tabakalı, normal ve yüzey çatlaklı numunelere uygulanan çekme testi sonucunda Şekil 5.7'deki grafik elde edilmiştir. Çatlaksız numunenin taşıdığı maksimum yük 12055.14 N, uzama miktarı 4.0859 mm'dir. Çatlaklı numunenin taşıdığı maksimum yük ise 7363.81 N, uzama miktarı 2.8582 mm'dir.



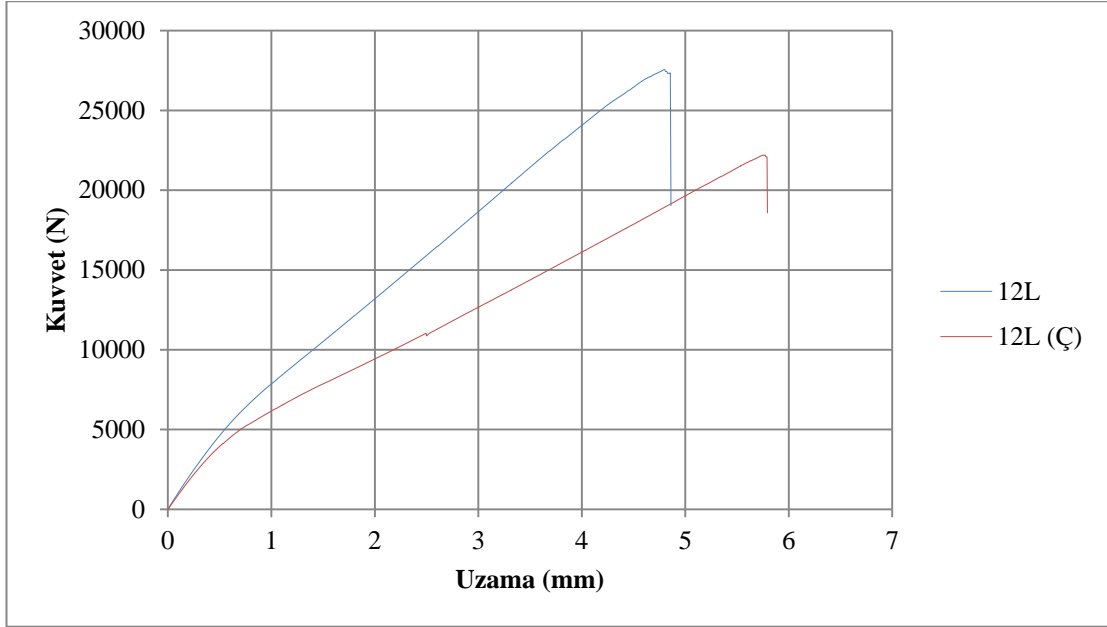
Şekil 5.7: 8L ve 8L (Ç) kuvvet - uzama grafiği

10 tabakalı, normal ve yüzey çatlaklı numunelere uygulanan çekme testi sonucunda Şekil 5.8'deki grafik elde edilmiştir. Çatlaksız numunenin taşıdığı maksimum yük 15129.91 N, uzama miktarı 4.0859 mm'dir. Çatlaklı numunenin taşıdığı maksimum yük ise 12969.14 N, uzama miktarı 4.3051 mm'dir.



Şekil 5.8: 10L ve 10L (Ç) kuvvet - uzama grafiği

12 tabakalı, normal ve yüzey çatlaklı numunelere uygulanan çekme testi sonucunda Şekil 5.9'daki grafik elde edilmiştir. Çatlaksız numunenin taşıdığı maksimum yük 27562.67 N, uzama miktarı 4.8617 mm'dir. Çatlaklı numunenin taşıdığı maksimum yük ise 22202.54 N, uzama miktarı 5.7938 mm'dir.



Şekil 5.9: 12L ve 12L (Ç) kuvvet - uzama grafiği

Deney sonrası yüzey çatlaksız numunelerde meydana gelen deformasyon Şekil 5.9'da, yüzey çatlaklı numunelerde meydana gelen deformasyon ise Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Yüzey çatlaksız numunelerdeki deformasyon



Şekil 5.11: Yüzey çatlaklı numunelerdeki deformasyon

Şekil 5.11’de numunelerde meydana gelen hasar modları gösterilmiştir. Test sonucu numunelerde meydana gelen tabaka ayrılması net bir şekilde görülmüştür. Bunun yanında özellikle yüzey çatlaklı numunelerde fiber kopması da meydana gelmiştir.

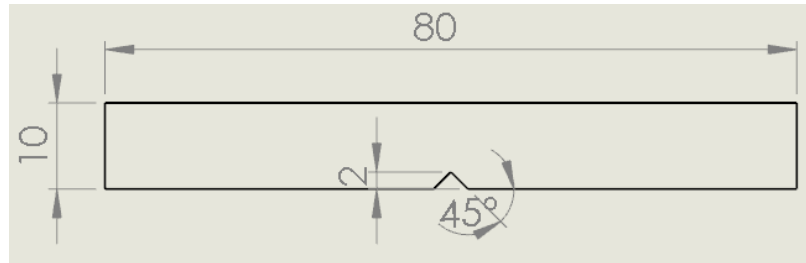


Şekil 5.12: Numunelerde meydana gelen hasar modları

5.3 Charpy Deneyi

5.3.1 Deney numunelerinin hazırlanışı ve uygulanması

Numuneler ASTM D-2587 standartlarına uygun bir şekilde 10x80 mm olacak şekilde kesildi. Şekil 5.11'deki teknik resimde görüldüğü gibi numunelere 2 mm girinti olacak şekilde, 45 derecelik çentik açıldı.



Şekil 5.13: Charpy testi numunesi teknik resmi

Charpy testi numuneleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Test için her tabakadan ikişer olacak şekilde, toplam 6 adet hazırlandı.



Şekil 5.14: Darbe testi numuneleri

Deney İstanbul Aydın Üniversitesi Aziz Sancar Teknoloji Merkezi'ndeki CD 1C modeli Devotrans test cihazında yapıldı. Kullanılan cihaz Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Charpy testi sonucu malzemenin darbe enerjisi ve darbe tokluğu elde edildi.



Şekil 5.15: Devotrans 1C darbe test cihazı

Hazırlanan numuneler tabaka sayısına göre cihaza yerleştirildi. Bunun ardından 12J'e sahip çekiç ilk yükseklik seviyesine çıkarıldı. Daha sonra serbest bırakılan çekiç yardımıyla numuneye darbe uygulandı. Numune kırıldıktan sonra barın durduğu yer okunarak kaç J'de kırıldığı tespit edildi. Kırılan numunelerde hasar modlarından matris hasarı ve fiber kopması görüldü. Şekil 5.14'te Charpy testi sonrasında kırılan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 5.16: Darbe testi sonrası numuneler

Charpy testi sonrasında elde edilen değerler Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5: Darbe enerjisi tablosu

Numune	Darbe Enerjisi (J)
8L	2.7
10L	4.1
12L	5.2

$$K_c = \frac{K_e}{(bh)}$$

Yukarıdaki formülde K_c darbe tokluğu (kJ/m^2), K_e darbe enerjisi (J), b ve h sırasıyla numune yüksekliği ve kalınlığıdır. Çizelge 5.6'da numunelerin darbe enerjisi ve darbe tokluğu gösterilmiştir.

Çizelge 5.6: Darbe tokluğu tablosu

Numune	Darbe Enerjisi (J)	Darbe Tokluğu (kJ/m^2)
8L	2.7	187.5
10L	4.1	205
12L	5.2	227

6. SONUÇ

Bu çalışmada kullanılacak hibrit kompozitlerin üretiminde takviye bileşeni olarak cam ve karbon elyaf, matris bileşeni olarak da vinilester epoksi reçine tercih edilmiştir. Tabaka sayısının etkisini gözlemlemek için 8, 10 ve 12 tabakalı olmak üzere 3 farklı kalınlıkta üretim yapılmış, yüzey çatlağının etkisini gözlemlemek için çekme testi numunelerinin 6 tanesine yüzey çatlağı açılmıştır. Ardından numunelerin fiber hacim oranlarını, mekanik özelliklerini, kırılma enerjisi ve tokluğunu belirlemek için numunelere yakma, çekme ve charpy testleri uygulanmıştır. Test sonucu elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

- Yakma testinden elde edilen sonuçlara göre fiber hacim oranları, 8L, 10L ve 12L için sırasıyla %61, %62.3 ve %63.7'dir.
- Yüzey çatlaksız numunelerin çekme testi sonuçlarına göre taşıyabildikleri maksimum yük, 8L için 12055.14 N, 10L için 15129.91 N ve 12L için 27562.67 N'dur.
- Yüzey çatlaklı numunelerin çekme testi sonuçlarına göre taşıyabildikleri maksimum yük, 8L için 7363.81 N, 10L için 12969.14 N ve 12L için 22202.54 N'dur.
- Yüzey çatlaklı numunelerin çekme testi sonuçları, yüzey çatlaksız olanlarla kıyaslandığında yüzey çatlağının, numunelerin mekanik özelliklerini gözle görülebilir miktarda düşürdüğü gözlemlenmiştir.
- Yüzey çatlaklı numunelerde çekme testi sonucu oluşan kırılma, çatlağın olduğu bölgede meydana gelmiştir.
- Çekme testi sonucu numunelerde hasar modlarından fiber kopması ve delaminasyon meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Charpy testi sonuçlarına göre numunelerin darbe enerjisi, 8L için 2.7 J, 10L için 4.1 J ve 12L için 5.2J'dür.

- Charpy testi sonucu elde edilen darbe enerjileri ile hesaplanan darbe tokluğu değerleri, 8L, 10L ve 12L için sırasıyla 187.5 kJ/m^2 , 205 kJ/m^2 ve 227 kJ/m^2 'dir.
- Charpy testi sonucu numunelerde hasar modlarından matris hasarı ve fiber kopması meydana gelmiştir.
- Numunelerin fiber hacim oranları arttıkça darbe enerjisinin ve darbe tokluğunun arttığı gözlemlenmiştir.
- Çekme ve Charpy testi sonuçlarına göre numunelerin tabaka sayısı arttıkça mekanik özelliklerinin, darbe enerjisinin ve darbe tokluğunun arttığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbay, T.** (2012). “*Kök Çatlağa Sahip Kompozit Kirişlerde Yanal Burkulmanın Deneysel Ve Nümerik Analizi*”. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Aktaş, O.** (2015). “*Hibrit Kompozitlerin Titreşim Davranışlarının İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Alemdaroğlu, N., Kayran, A.** (2007). “*Vakum Torba Yöntemi İle Kompozit Malzemeden Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması*”. Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 48, Sayı 566, 14-21.
- Arasan, Ş.** (2014). “*Hibrit Kompozitlerin Kırılma Tokluğunun Belirlenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak.
- Benli, S.** (2010). “*Behaviour Of Composite Materials Under Impact Loading*”. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bozkurt, L.** (2011). “*Hibrit Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Davranışı*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Canan, F.** (2007). “*Açılı Yüzey Çatlaklı Cam Epoksi Kompozit Malzemelerin Kırılma Davranışları*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çelikkanat, A.B.** (2002). “*Teknik Tekstiller*”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Daban, Y.** (2016). “*Kompozit Plakalarda Farklı Tabaka Sayısı, Farklı Yapı Ve İstifleme Sırasına Bağlı Optimum Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Demirci, M.T.** (2015). “*SiO₂ Nanopartikül Katkısının Yüzey Çatlaklı Ve Çatlaksız Bazalt Elyaf Takviyeli Kompozit Boruların Yorulma Davranışlarına Etkisi*”. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Demirel, A.** (2007). “*Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu*”. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Esendemir, Ü., Caner, A.Y.** (2018). “*Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi*”. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1), 207-215. Doi: 10.19113.sduf
- Gençoğlu, M.** (2011). “*Tabakalı Kompozit Levhalarda Burkulma Analizi*”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Güneş, A.** (2013). “*Üzerinde Yüzey Çatlağı Bulunan Hibrid Tabakalanmış Kompozit Levhaların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Hüner, Ü.** (2008). “*Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- İmak, A.** (2015). “*Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışlarının Analizi*”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- İmak, A.** (2015). “*Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışlarının Analizi*”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kara, M.** (2006). “*Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Karadağ, M.** (2017). “*B₄C Partikül Takviyeli Bakır Matrisli Elektrik İletken Kompozit Üretimi*”. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kayıran, H.F.** (2018). “*Farklı Ortam Koşullarına Maruz Hibrit Kompozit Plakalarda Burkulma Davranışının İncelenmesi*”. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kchany, S.A.A.** (2015). “*Hybridization Effects on Tensile and Flexural behavior of Laminated Composite Plates*”. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Khakzad, F.** (2017). “*Grafen Katkılı Cam/Epoksi Nanokompozit Plakaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mağdala, M.Ö.** (2009). “*Isı Kalkanları İçin Kalıplanabilir Karbon Fenolik Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu*”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- McBridge, A.K.** (2016). “*Mechanical Behavior Of Hybrid Glass/Steel Reinforced Epoxy Composites*”. University of Connecticut, USA.
- Metin, M.** (2008). “*E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerde Düşük Hızlı Darbe Hasarının Burkulma Özelliklerine Etkisi*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Nejabati, A.** (2014). “*Kompozit Levhaların Darbeden Sonra Bası Davranışının İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Öndürücü, A., Karacan, A.** (2018). “*Tabakalı Cam Elyaf / Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi*”. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(3), 435-447. Doi: 10.21923/jesd.363292.
- Özen, U.** (2018). “*Kompozit Sandviç Panel Üretimi Ve Üretilen Panellerin Hasar Kriterlerine Göre Karşılaştırılması*”. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Potoğlu, U.** (2012). “*Sandviç Kompozit Plakaların Darbe Davranışları*”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Saroya, A.S.S., Meena, V.** (2011). “*Study Of Mechanical Properties Of Hybrid Natural Fiber Composite*”. National Institute of Technology Department of Mechanical Engineering, Rourkela, India.
- Sönmez, M.** (2009). “*Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme*”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Şahin, E.** (2015). “*Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama Yöntemiyle Kompozit Malzeme Üretimi*”. Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- Tanoğlu, M., Toğulga, M.** (2014). “*Kompozit Malzemeler Ve Jeotermal Uygulamaları*”. Jeotermal Enerji Semineri, İzmir.
- Taşyürek, M.** (2014). “*Yüzey Çatlaklı Ve Çatlaksız $\pm 55^\circ$ Filaman Sarım Cnt Takviyeli Ctp Kompozit Boruların Mekanik Özelliklerinin Ve İç Basınç Etkisi Altındaki Yorulma Davranışlarının Araştırılması*”. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Utomo, J.T., Susilo, D.D., Raharja, W.W.** (2016). “*The Influence Of The Number And Position Of The Carbon Fiber Lamina On The Natural Frequency And Damping Ratio Of The Carbon-Glass Hybrid Composite*”. International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology, AIP Conf. Proc. 1788, 030046-1-030046-6. Doi: 10.1063/1.4968299.
- Yalçın, B., Ergene, B.** (2018). “*Farklı Malzemelere Sahip Hibrid Kompozitlerde Çatlağın Mekanik Davranışlara Etkisinin Analizi*”. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(4), 616-625.
- Yanen, C.** (2016). “*Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yıldızhan, A.** (2013). “*Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı*”. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yılmaz, E.** (2013). “*Epoksi/Kaolin Kompozitlerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yırtımcı, A.Y.O.** (2011). “*Kompozit Levhalarda Yüzey Formunun Ve Çevresel Aşınmanın Darbe Performansına Etkisi*”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yüce, İ.** (2007). “*Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi*”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Kaan Arslan

Doğum Tarihi ve Yeri: 14.09.1992 / Üsküdar

E-posta : kaanarslan_hp@hotmail.com

Öğrenim Durumu

Yüksek Lisans: : İstanbul Aydın Üniversitesi
: Makine Mühendisliği 2017-2020

Lisans: : Namık Kemal Üniversitesi
: Makine Mühendisliği 2010-2016

Lise: : Semiha Şakir Anadolu Lisesi
2006-2010

Mesleki Deneyi

Aksöz Asansör : Stajyer
Mart 2016 - Mart 2016

Uşaklıgil : Stajyer
Tel Çit Sanayi Ağustos 2014 - Ağustos 2014

Uşaklıgil : Stajyer
Tel Çit Sanayi Temmuz 2013 - Temmuz 2013