

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT  
MALZEMELERİN AŞINMA PERFORMANSININ  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Dilek ASİ**

**DANIŞMAN**

**Yrd.Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2008**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA**  
**PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**DİLEK ASİ**

**DANIŞMAN**  
**Yrd.Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2008**

## ONAY SAYFASI

Yrd.Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ danışmanlığında,  
Dilek ASİ tarafından hazırlanan  
CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ  
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca  
03/06/2008  
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Yrd.Doç.Dr. Mustafa TOPARLI	
Üye	Yrd.Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ	
Üye	Yrd.Doç.Dr. İsmail ÖZDEMİR	

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Dilek ASİ

**Afyon Kocatepe Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd.Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ

Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler yüksek dayanımları, hafiflikleri ve kolay üretilibilmeleri sayesinde uzay, otomobil, deniz ve savunma sanayisi gibi değişik uygulama alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Epoksi reçine, matris malzemesi olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sanayi uygulamalarındaki kompozit malzemelerin kullanımındaki artış, çalışma koşulları altındaki kompozit malzemelerin davranışlarının bilinmesini gerektirir. Aşınma deneysel davranışlarının bilinmesini gerektiren önemli parametrelerden birisidir. Bu çalışmada, dokuma ve örme kumaş şeklindeki cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde kuru el yatırma tekniği uygulanmıştır. Bu teknik, aralarına reçine karışımı sürülen kumaşların birbiri üzerine istiflenmesi şeklindeki prosesi içerir. Kompozit malzemelerin aşınma testleri blok-bilezik test metodu kullanılarak yapılmıştır. Aşınma deneyleri, 10, 20, 30, 40 N gibi dört farklı yük altında ve 770 d/dak hızında yapılmıştır. Deneylerdeki aşınma ağırlık kaybı olarak tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları 1, 2, 3, 4 km kayma mesafesinden sonra ölçülmüştür. Test üç benzer numunede yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Bu çalışmada, artan uygulama yükü ve kayma mesafesiyle kompozit malzemelerin aşınma kaybının arttığı bulunmuştur. Ayrıca, dokuma cam kumaş takviyeli epoksi kompozit malzemeler örme cam kumaş takviyeli epoksi kompozit malzemeler ile karşılaştırıldığında daha yüksek aşınma dayanımı göstermişlerdir.

2008, 62 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Cam elyafı, epoksi reçine, dokuma kumaş, örme kumaş, aşınma.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

The Investigation of Wear Behaviour of Glass Fibre Reinforced Composite Materials.

Dilek ASİ

**Afyon Kocatepe University**  
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**  
Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assist.Prf. Alaattin AKTAŞ

Glass fiber reinforced polymer matrix composites have extensively been used in various fields such as aerospace, automobile, marine, and defense industries owing to their high strength, lightness and ease of fabrication. Epoxy resin as matrix are widely used in the production of glass fiber composites. In industrial applications, the increase in the use of composite materials means that it is necessary to know their behaviour under working conditions. Wear is an important parameter and its experimental behaviour must be known. In this study, the wear behaviour of glass fibre reinforced epoxy composites with reinforcements of woven roving and knitting glass fabric are experimentally investigated. Dry hand lay-up technique is employed to produce the composites. The procedure involves stacking the fabric one above the other with the resin mix evenly spread between the fabrics. The wear tests were performed by using a block on ring test method. Tests were performed for the speeds of 770 rpm at four different loads of 10, 20, 30 and 40N. Wear in the experiments was determined as weight losses. The weight losses were measured after sliding distances of 1, 2,3 and 4 km. The test is done on three repetitive samples and the average value is reported. From this investigation, it was found that the wear loss increases with the increasing applied load and sliding distances. Also, the woven roving glass fabric reinforced epoxy composite materilas showed higher wear resistance compared to the knitting glass fabric reinforced epoxy composite materilas.

2008, 62 pages

**Keywords:** Glass fibre, epoxy resin, woven fabric, knitting fabric, wear testing.

## TEŞEKKÜR

Malzeme bilimi günümüzde teknoloji konusunda en önde gelen bilim dallarından birisidir. Malzemelerden beklenen en iyi performansı elde etmek için normal standart malzemelere ek olarak yeni malzemelerin elde edilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi konusunda sürekli yeni araştırmalar yapılmaktadır. Bu yeni malzeme türlerinden birisi de hiç kuşkusuz kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler arasında cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeler en çok kullanılan kompozit malzemelerdendir. Bilindiği gibi malzemelerden beklenen özelliklerden biriside aşınma dayanımıdır. Bu tez çalışmasında dokuma ve örme kumaş şeklindeki cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin kuru ortamda blok-bilezik şeklindeki aşınma dayanımı özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışma boyunca bana yol gösteren, yakın ilgisini esirgemeyen, bilgilerinden son derece yararlandığım danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen eşim Doç.Dr.Osman ASİ'ye ve cam elyafının örme kumaş şeklinde hazırlanmasında yardımcı olan değerli hocam Doç.Dr. Mevlüt TERCAN'a teşekkür ederim. Çalışmamızda kullandığımız kompozit malzemenin yapımında yardımcı olan İZOREEL Kompozit İzole Malzemeleri San. Ve Tic. Ltd. Şti. Yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

Dilek ASİ

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>TEŞEKKÜR</b>	iii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	vii
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	viii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	ix
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b>	4
2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.1.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler	6
2.1.2 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler	7
2.1.3 Tabakalı Kompozitler	8
2.1.4 Karma Kompozitler	8
2.2 Kompozit Malzemelerin Temel Bileşenleri	9
2.2.1 Matris Malzemeleri	9
2.2.1.1 Epoksi Reçineleri	11
2.2.1.2 Polyester reçineleri	11
2.2.1.3 Yüksek Sıcaklık Reçineleri	12
2.2.2 Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları (Elyaf lar)	12
2.2.2.1 Cam elyaf lar	13
2.2.2.2. Karbon Elyaf ı	16
2.2.2.3 Aramid Elyaf ı	16
2.2.2.4 Bor Elyaf ı	17
2.2.2.5 Yüksek Sıcaklık Elyaf ları	18
2.3 Kompozit Malzemelerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler	18
2.3.1 Elyaf Hacim Oranı	18
2.3.2 Elyaf Şekli ve Doğrultusu	18
2.3.3 Elyaf Çap ı ve Boy/Çap Oranı	19

2.3.4 Matris Malzemenin Özellikleri	19
2.3.5 Elyaf Geometrisinin Etkisi	20
2.3.6 Üretim Metodu ve Parametrelerin Etkisi	20
2.3.6 Mikro Yapının Etkisi ve Porozite	21
2.4 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	21
2.5 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	22
2.6 Sürtünme ve Aşınma	26
2.6.1 Sürtünme	26
2.6.2 Aşınma	28
2.6.2.1 Aşınma Çeşitleri	28
2.6.2.2 Aşınmaya Etki Eden Faktörler	32
2.6.2.3 Aşınma Deneyleri	33
2.7 Literatür Araştırması	35
2.8 Çalışmanın Amaçları	39
<b>3. MATERYAL METOT</b>	40
3.1 Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretimi	40
3.2 Aşınma Deneyi	45
3.2.1 Aşınma Deneyi Numuneleri	47
<b>4. BULGULAR</b>	49
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	56
<b>6. KAYNAKLAR</b>	58
<b>7. ÖZGEÇMİŞ</b>	62



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

F	Uygulanan yük
HB	Brinell sertlik
HRC	Rockwell C sertlik
k	Aşınma katsayısı
L	Kayma mesafesi
V	Aşınan hacim
v	Hız

### 2. Kısaltmalar

EMK	Sıvı metal karıştırma metodu
PEEK	Polyetheretherketone
PMC	Polimerik matrisli kompozit
PTFE	Politetrafloretillen
PVB	Polyvinylbutyral
SEM	Elektron tarama mikroskobu
TM	Toz metalurjisi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 (a) Parçacık takviyeli, (b) Elyaf takviyeli, (c) Tabakalı Kompozit malzemeler	4
Şekil 2.2 Elyaf ve reçine kullanarak kompozit malzemenin üretilmesi	6
Şekil 2.3 (a) Sürekli ve (b) kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemeler	7
Şekil 2.4. Uydu bileşenleri olarak kullanılan kompozit yapılar	24
Şekil 2.5 Ticari uçaklarda kullanılan kompozit yapılar	25
Şekil 2.6 Askeri uçaklarda kullanılan kompozit yapılar	26
Şekil 2.7 Bilezik-blok şeklindeki aşınma deney setinin mekanizması	34
Şekil 2.8 Disk-pim şeklindeki aşınma deney setinin mekanizması	34
Şekil 3.1 Aşınma deneyi cihazının (a) katı model ve (b) teknik resim olarak görünüşü	45
Şekil 3.2 a) Kullanılan numunenin görünüşü, b) Numune ölçüleri, c) Aşındırıcı bileziğin boyutları	47
Şekil 4.1 Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları değişimleri	50
Şekil 4. 2 Örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları değişimi	50
Şekil 4.3 Numunelerin 1 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması	51
Şekil 4.4 Numunelerin 2 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması	52
Şekil 4.5 Numunelerin 3 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması	52
Şekil 4.6 Numunelerin 4 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması	53

## RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 2.1	Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması	23
Resim 2.2	Kompozit malzemedan yapılmış otomobil ön paneli	24
Resim 3.1	Dokuma cam elyaf kumaşlarının genel görünüşü	40
Resim 3.2	Üretilen dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzeme plakasının genel görünüşü.	41
Resim 3.3	Örme kumaşın genel özellikleri ve görünüşleri	41
Resim 3.4	Üretilen örme cam kumaş takviyeli kompozit malzeme plakasının genel görünüşü	42
Resim 3.5	Dokuma şeklindeki cam elyaf takviyesinin kesilmesi	42
Resim 3.6	Reçinenin hazırlanması	43
Resim 3.7	Kompozit malzemenin prese konulmadan önceki görünüşleri	43
Resim 3.8	Kompozit malzemenin prese yerleştirilmesi	44
Resim 3.9	Kompozit malzemenin kenarlarının kesilmesinde kullanılan testere	44
Resim 3.10	Aşınma deney cihazının genel görünüşü.	46
Resim 3.11	Numunenin ve aşındırma bileziğinin temas yerinin görünüşü	46
Resim 3.12	Hassas terazinin genel görünüşü	48
Resim 4.1	Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzeme numunelerinin aşınma deneyleri sonrası görünüşleri. (a) 10 N, (b) 20 N, (c) 30 N, (d) 40 N	54
Resim 4.2	Örme cam elyaf takviyeli kompozit malzeme numunelerinin aşınma deneyleri sonrası görünüşleri. (a) 10 N (b) 20 N, (c) 30 N, (d) 40 N	55

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1 Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları	49
Çizelge 4.2 Örne cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları	49

## 1. GİRİŞ

Malzeme, mühendisin yapmış olduğu tasarımı gerçekleştirebilmesi için kullanmış olduğu maddelerdir. Tasarımı gerçekleştirilirken kullanılan malzemeden genel olarak aşağıdaki özellikler beklenir (Can 2006):

- \* Gerilmelere karşı dayanıklı olması
- \* Aşınma dayanımının yüksek olması
- \* Yüksek sıcaklığa dayanıklı olması
- \* Elektrik ve ısı iletkenliğinin iyi olması, bazı durumlarda kötü olması
- \* Üretilmesinin ve şekillendirilebilmesinin kolay olması
- \* Hafif olması
- \* Korozyona karşı dayanımının iyi olması
- \* Fiyatının uygun olması

Makine parçalarının yapımında kullanılan malzemeler ise aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

- \* Metaller
- \* Seramikler
- \* Polimer malzemeler

Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu üç ana grubun yanında, kompozit malzemeler, yarı iletkenler ve biomalzemeler gibi ana malzemelerden türetilmiş malzemelerde vardır.

Kompozit malzemeler özellikle II. Dünya savaşı esnasında ve daha sonra üzerinde önemle durulan ve araştırmalar yapılan malzeme çeşitlerinden birisidir. Malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranının önemli olduğu özellikle savunma sanayinde, deniz taşımacılığında, uzay sektöründe önemi çok büyüktür.

Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla saydaki, aynı veya farklı guruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedede toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır.

Bu malzemeler, belirli uygulama alanları için üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli spesifik konfigürasyonda değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından çok fazlı malzeme olarak da adlandırılır.

Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bunlar genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir (Şahin 2006, Aran 1990, Jones 1999):

1. Yüksek dayanım (statik veya yorulma)
2. Yüksek aşınma dayanımı
3. Yüksek sıcaklık dayanımı
4. Yüksek rijitlik
5. İyi korozyon dayanımı
6. İyi termal, ısı iletkenliği ve elektrik iletkenliği veya yalıtkanlığı
7. Hafif olması
8. İyi estetik görünüm
9. Yüksek kırılma tokluğu
10. Fiyat bakımından uygun olması

Bu avantajlar yanında bazı dezavantajlarda vardır. Bunları ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1. Üretimin güçlüğü
2. Pahalı olması
3. Bazı kompozit malzeme türlerin işlenmesinin zor olması
4. Geri dönüşümün (recycle) olmayışı
5. Gevrek malzeme olmaları

Kompozit malzemelerin metal malzemelerin tamamen yerini almamalarının sebebi yukarıda belirtilen nedenlerden dolayıdır.

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerle karşılaştırılmasında bu malzemelerin avantajları özellikle dayanım/yoğunluk ve elastisite modülü/yoğunluk oranlarının karşılaştırıldığı zaman ortaya çıkmaktadır (Staab 1999). Kompozit malzemelerin daha yüksek dayanım ve modüle sahip olması, makine elamanının ağırlığının azalması demektir. Bu durum, bütün hareket eden parçalarda, özellikle taşıma araçlarında çok önemli bir faktördür. Çünkü ağırlıkta azalmalar enerji tasarrufuna ve verimliliğin artmasına yol açmaktadır (Şahin 2006).

Kompozit malzemelerin, çeliğin yerini almasıyla %60–80, ve alüminyumun yerini almasında ise %20–50 ağırlıktan kazanım mümkündür. Günümüzde kompozitler birçok mühendislik uygulamaları için tercih edilen malzemeler arasındadır. Bu ağırlık kazançları, enerjinin giderek artan bir sorun haline geldiği çağımızda yakıtta önemli tasarruflar sağlamaktadır.

Makine parçalarının çalışması esnasında aşınma meydana gelmesi istenilmeyen bir durumdur. Ancak birbiriyle temas da olan parçalarda normal yağlama koşullarında aşınmanın tam olarak önlenmesi mümkün değildir. Çok iyi yağlama yapılsa bile, ileriki zamanlarda yağın vizkositesindeki değişimler aşınmanın meydana gelmesine neden olur. Makine parçalarında kompozit malzeme seçilirken aşınma dayanımlarının da göz önünde alınması gerekir. Çünkü aşınan bir kompozit malzemenin normal mekanik dayanımları ne kadar iyi olursa olsun, işlevlerini yerine getiremez, hatta dinamik zorlama altında yorulma hasarının başlamasına neden olur.

Bu nedenle bu çalışmada, kompozit malzemelerin içinde çok yaygın olarak kullanılan cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma dayanımları araştırılmıştır. Takviye elemanı olarak kullanılan cam elyafı dokuma ve örme halindeki kumaş şeklinde kullanılmıştır. Dokuma halindeki cam elyaf kumaşı piyasadan doğrudan alınmış, örme kumaş ise imal edilip kullanılmıştır. Aşınma deneyi için blok-bilezik şeklinde aşınma deneyi yapan aşınma deney seti imal edilmiştir.

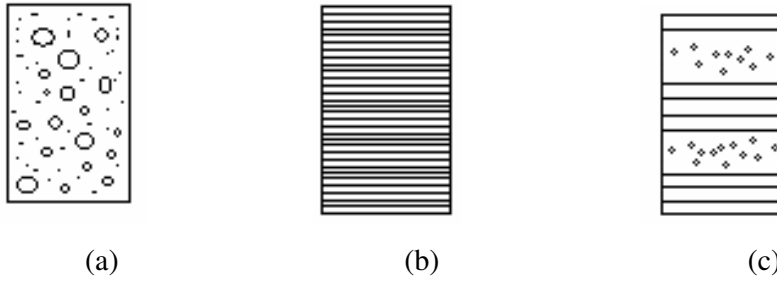
## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris adı verilen ana yapı ve takviye elemanı denilen destekleyici elemandan meydana gelirler. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması takviye elemanının özelliğine ve matris elemanının özelliğine göre olmaktadır.

Takviye elemanının özelliğine göre kompozit malzemeler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Kollar and Springer 2003, Staab 1999):

1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler
2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
3. Tabakalı kompozit malzemeler
4. Karma kompozit malzemeler



Şekil 2.1 (a) Parçacık takviyeli, (b) Elyaf takviyeli, (c) Tabakalı kompozit malzemeler

Bu üç çeşit takviye elemanlı kompozit malzemeler; plastik, metal veya seramik matris içinde olabilir. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler ise;

1. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler
2. Kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemeler



3. Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır.

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler ise;

1. Büyük parçacıklı kompozit malzemeler
2. Dispersiyonla dayanım artışı sağlanan kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır.

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 3 farklı biçimde bulunmaktadır; parçacıklar, süreksiz ve sürekli elyaflar. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya whiskers) birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir.

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösterirler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallere rastlanmayan aşırı anizotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimleri ve geometrilerini göz önünde bulundurmak çok önemlidir. Malzemenin anizotropik özelliği tasarım aşamasında ürünün uygun yerinde kullanılarak avantaja dönüşebilir.

Bazı durumlarda malzemenin dayanımını artırmak, tüm yönlerde eşit mukavemet elde etmek için elyaflar kumaş olarak dokunurlar (Dato 1991). Sürekli liflerle hazırlanan dokuma elyaf kumaşlarının farklı amaçlar için geliştirilmiş türleri vardır.

### 2.1.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

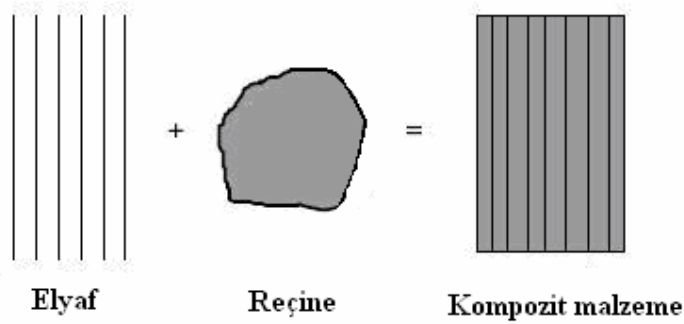
Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyafın birinci görevi yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği artırmaktır. Bir malzemenin elyaf olarak adlandırılabilmesi için ASTM'ye göre (Aran 1990):

- Uzunluk/enine ortalama boyut en az 10/1
- En büyük kesit  $\leq 0.05\text{mm}^2$
- En büyük genişlik  $\leq 0.25\text{mm}$  olmalıdır.

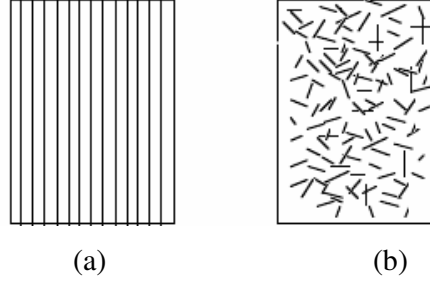
Elyaf lar genellikle üç guruba ayrılır:

- Doğal elyaf lar (yün, pamuk vs.)
- Rejenere elyaf ( Doğada bulunan uzun makro moleküllerden yararlanılarak elde edilirler, rayon gibi)
- Yapay elyaf (naylon, kevlar)

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde yükü elyaf taşımaktadır. Kompozit malzemenin dayanımı elyaf eksenini doğrultusunda en büyük değerdedir. Elyafa dik doğrultuda ise daha düşük dayanıma sahiptir. Elyaf takviyeli bir kompozit malzemenin meydana gelişi aşağıdaki Şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 2.3’de ise sürekli ve kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemelerin meydana gelişi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.2 Elyaf ve reçine kullanarak kompozit malzemenin üretilmesi (Mazumdar, 2002).



Şekil 2.3 (a) Sürekli ve (b) kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemeler.

### 2.1.2 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip polimer matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısıl ve elektrik iletkenlik sağlar. Seramik matris içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir.

Parçacıklar matrise kıyasla doğalarındaki sertlik nedeniyle, matrisin plastik deformasyonunda bazı kısıtlamalara neden olur. Parçacıklar da yükü paylaşmaktadır. Fakat liflerin yük eksenine paralel olarak yerleştirildiği kompozitlere kıyasla bu, çok düşük bir seviyededir. Bu nedenle parçacıklar, kompozitin sertliğini arttırmada etkili olurken, dayanımı arttırmada fazla bir etkiye sahip değildir. Parçacık dolgular, her ne kadar yaygın olarak ısıl ve elektriksel iletkenliği değiştirmek, yüksek sıcaklık performansını geliştirmek, sürtünmeyi azaltmak, aşınma dayanımını arttırmak, makinede işlenebilirliğini geliştirmek, yüzey sertliğini artırmak ve büzülme (çekmeyi) azaltmak amaçları için kullanılsa da, birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar.

Parçacık dolgulu malzemede performansı etkileyen çok değişik unsurlar vardır. Bunların içinde, parçacık boyutları boyut dağılımları, yüzey enerjileri (yapışma etkisi nedeniyle), hacimsel oranlar, homojen dağılıp dağılmadıkları, eksen oranı denilen parçacığın iki ana

eksen uzunluğunun oranı, üretim sırasında eksenlerin yönlenme miktarı, tek-tek ve birbirleriyle bağımlı olarak kompozit özelliklerini etkiler.

### **2.1.3 Tabakalı Kompozitler**

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Çok tabakalı kompozit malzeme düşük maliyet, yüksek dayanım, hafiflik, yüksek aşınma dayanımı, güzel estetik görünüm ve mükemmel ısıl genleşme özelliklerine sahip olabilmektedir. Bilindiği gibi, statik ve yorulma kırılmasına karşı dayanım, korozyon ve aşınma dayanımı gibi önemli özelliklerin pek çoğu öncelikle kompozit malzemeyi oluşturan elemanlara bağlıdır.

### **2.1.4 Karma Kompozitler**

Aynı kompozit yapıda iki yada daha fazla elyaf çeşidinin bulunması durumudur. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler de denir. Bu kompozit malzeme türü yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır, ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit malzeme oluşturması durumunda, meydana gelen karma kompozitin tokluğu grafit kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitden daha yüksek olmaktadır.

## 2.2 Kompozit Malzemelerin Temel Bileşenleri

### 2.2.1 Matris Malzemeleri:

Kompozit yapılarda matrisin genel olarak görevi; elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Bir matris malzeme, kompozit malzeme yapısında birçok fonksiyonu yerine getirir. Bunların birçoğu, yapının yeterli performans değerleri için çok önemlidir. Kompozit malzemeyi oluşturan ana bileşenlerinden birisi olan matris malzemenin önemli özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- \* Matris, elyafları bağlar ve yükü elyaflara iletir. Yapıya, rijitlik kazandırır.
- \* Matris, elyafları bir arada tutarak, elyafların bağımsız davranmalarına yardımcı olur veya çatlakların ilerlemesini yavaşlatır.
- \* Matris, iyi bir yüzey kalitesi sağlar.
- \* Matris, takviye elamanlarını kimyasal etkilere ve mekanik hasarlara karşı korur.
- \* Matris malzemesi kompozit malzemenin darbe dayanımına önemli etkisi vardır.

Polimerik matrisli kompozitler (PMC), birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilen malzeme özelliklerine sahiptir. Rijitlik, dayanım, darbe özellikleri ve aşınma dayanımı gibi faktörler, bu malzemeleri özellikle uçak sanayii, inşaat mühendisliği, gemi ve otomobil endüstrisi için cazip kılmaktadır. Uygulamaların birçoğu dinamik yükleme koşulları altında çalışmaktadır. Uçak endüstrisinde; kanatlar, türbin bıçakları gibi uçak yapılarında bu malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler kuş çarpmaları veya yabancı maddelerden kaynaklanan yüksek hızda darbelere maruz kalmaktadır. Otomotiv, gemi ve inşaat yapıları da kullanım sırasında yabancı maddelerden dolayı yüksek hızlı darbelere maruz kalabilirler.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların görevlerini yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünülüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit malzemenin mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit malzemelerin tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur (Şahin 2006).

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf yada matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

Matris malzemeleri plastik matris malzemeleri ve metal matris malzemeleri olarak sınıflandırılır. Plastik matris malzemeleri ise (Aran 1990);

1. Epoksi
2. Polyester
3. Yüksek sıcaklık reçineleri
4. Fenolik reçineler
5. Silikon

### **2.2.1.1 Epoksi Reçineleri**

Her türlü elyaf ile genel olarak kullanılabilen bir reçinedir. Epoksit gurubunun polimerizasyonu ile elde edilir. Sertleşme süreleri genellikle 1 saat olup 120 -180 °C sıcaklık aralıklarında ve basınç altında sertleşirler. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur. Dayanımları yüksektir, birçok elyaf ile iyi bir bağ oluşturur ve ayrıca kimyasal dayanımları da yüksektir.

Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici ile karıştırıldığında sıcaklıkta veya fırınlığında belli bir sürede sertleşir ve bir plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleridir (Mallick 1993). Depolanma süreleri oda sıcaklığında 24 aydır.

Epoksi reçineler, reçine türüne ve son kullanım yerine göre sıvı veya katı olarak temin edilebilir. Bu reçineler, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta kür edilerek termoset son ürün haline dönüştürülür. Epoksi reçineler termoset formunda mükemmel mekanik dayanıklılığa, yüksek dielektrik direncine, iyi boyutsal kararlılığa, kimyasal ve ısı dirence sahiptirler. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur. Birçok elyaf ile iyi bağ oluşturur ve ayrıca kimyasal dayanımları da yüksektir (Aran, 1990, Mallick 1993).

### **2.2.1.2 Polyester reçineleri**

Özellikle cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin üretiminde çok yaygın olarak kullanılırlar. Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir (Mallick 1993).

Polyester reçineler 100°C sıcaklığın altında mekanik ve kimyasal dayanım bakımından iyi olup, fiyatları dūřuktur. Polyesterin sertleşme öncesinde viskozitesi dūřuktur ve cam elyafını çok iyi ıslatır. Kompozit malzemelerde matris olarak kullanılırken dolgu malzemeleri katılabilir (Aran, 1990).

Bunun yanında polyester reçinenin dezavantajları; sertleřme sırasında kendini çekme oranı (% 5–12) yüksektir. Bu durum elyafların basma gerilmesi altında burkulmasına neden olabilir. Bu nedenle malzemenin basma gerilmesi altındaki dayanımı dūřuktur ve dūzgn yüzey elde etmek güçtür. Özellikle alkali ve bazik ortamlarda korozyon dayanımı dūřuktur. Bünyesine su alarak bozunur (Aran, 1990).

### **2.2.1.3 Yüksek Sıcaklık Reçineleri**

**Fenolik Reçineler:** Viskozitesi yüksek olan bir reçinedir. 300 °C' ye kadar sürekli, asbest elyaf ile takviye edildiğinde 1000 °C' ye kadar kullanılabilirler. Suya ve aside karşı dayanıklıdırlar.

**Silikon:** 250 °C' ye kadar kullanılabilirler. Mekaniksel ve elektriksel özellikleri, suya, ısıya ve oksidasyona karşı dayanımları yüksektir.

### **2.2.2 Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanları (Elyaf lar)**

Matris malzeme içerisinde yer alan elyaflar kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Dūřuk yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modüle ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidirler. Takviye elemanı olarak kullanılan elyaflar cam, karbon, aramid ve bor elyaflarıdır.



Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojide kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastite modülünün çok yüksek olması.

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elyaflar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Cam elyafı
2. Karbon elyafı
3. Bor elyafı
4. Aramid elyaflar
5. Yüksek sıcaklık elyafları (  $Al_2O_3$ , SiC elyafları)
6. Kılcal kristal (Whiskerler) elyaflar.

Burada özellikle cam elyafı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

### **2.2.2.1 Cam elyaflar**

Cam elyafı elyaf takviyeli kompozitler arasında en fazla bilineni ve kullanılanıdır (Mallick 1993). Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis ( $SiO_2$ ) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru

halde iken 1260 °C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanır.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

**1. A (Alkali) Camı:** A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.

**2. C (Korozyon) Camı:** Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. Özellikle depolama tanklarında kullanılırlar.

**3. E (Elektrik) Camı:** Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

**4. S (Mukavemet) Camı:** Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Cam elyaflar polimer kompozitlerde en çok kullanım alanına sahip elyaflardır. Bugün termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye elyaflarının 2/3' ünden fazlası cam elyaflardır. Cam liflerinin erime noktaları yaklaşık 840°C'dir. Cam elyaflarının ana maddesi silikadır.

Cam elyaflarının özellikleri değişik malzemelerin eklenmesi ile değişik performans seviyelerine ayarlanabilir. Düşük maliyeti, yüksek gerilim mukavemeti, yüksek kimyasal direnci ve mükemmel yalıtma özellikleri cam elyaflarının avantajları arasındadır. Düşük gerilim modülü, yüksek yoğunluğu, kullanım esnasında aşınmaya karşı olan duyarlılığı, düşük yorulma direnci ve yüksek sertliği de dezavantajlarıdır.

Cam elyaflarının diğer takviye liflerinden farklı olarak izotropik yapıya sahiptirler. Çünkü camın yapısında üç boyutlu network bir yapı bulunur. Cam elyaflarının birbirlerine sürtünme ile zarar görürler. Cam liflerini bu hasardan koruyabilmek için haşıl tipi bir maddeyle kaplamak gerekir.

Cam elyaflarının kayıkların, yarış botlarının, helikopter gövde ve kanatlarının, otomobil panellerinin, sıvı tanklarının yapımında kullanılmaktadır.

Cam elyafı, termoset ve termoplastik bazlı kompozitlerin takviyesinde kullanılan malzemelerin içerisinde en fazla kullanılan takviye elemanı olarak bilinmektedir. Cam elyafı, yüksek çekme mukavemeti ve düşük uzama oranına sahip olması nedeniyle, kompozitlerde eğilme, çekme, darbe dayanımını artırır ve yüksek elastik modül özelliği sağlar. Ayrıca, düşük su çekme (absorpsiyon) özelliği nedeniyle, iyi boyutsal stabilite ve iklim koşullarına karşı yüksek dayanım kazandırmaktadır.

Cam elyafı ürünlerini, üretim proseslerine ve kullanım amaçlarına bağlı olarak;

- Çok uçlu fitil (kırılabilir fitil)
- Tek uçlu fitil (direk sarma fitili)
- Keçe (sıvı bağlayıcı keçe, toz bağlayıcı keçe)
- Dokunmuş kumaş
- Kırılmış demet şeklinde sınıflandırabilmek mümkündür.

### **2.2.2.2. Karbon Elyafı**

Karbon, yoğunluğu  $2.268 \text{ gr/cm}^3$  olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hemde grafit elyaflar aynı esaslı malzemededen üretilirler. Genellikle epoksi reçine ve polyester reçineler ile yaygın olarak kullanılırlar. Karbon elyafları metallere göre oldukça düşük yoğunluktadır (Chung 1994). Çeliğe göre mukavemeti yüksek olup, aşırı katıdırlar.

Karbon elyaflarının takviye elemanı olarak kullanılması grafit kristalinin karakteristik özelliğinden dolayıdır. Karbon grafit kristali altıgen hegzagonal katlı bir yapıda olup, her köşedeki karbon atomları birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmıştır. Katlar ise birbirlerine Vander Waals bağlarıyla bağlanmıştır. Grafit kristali anizotropik yapıya sahiptir.

Karbon elyaflarında mukavemet / ağırlık ve elastisite modülü / ağırlık oranları çok yüksektir (Mallick 1993). Isıya karşı boyutsal stabilite, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek erime noktası ve yüksek katlıkları onların avantajlarıdır. Düşük ani darbe direnci, yüksek elektrik iletkenliği karbon elyaflarının dezavantajlarıdır.

Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler uçak sanayisinde, roket ve uydu yapımında, otomotiv sanayisinde ve birçok spor malzemelerinin yapımında kullanılır.

### **2.2.2.3 Aramid Elyafı**

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet

özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir.

Kevlar elyaflarının son derece yüksek dayanım / yoğunluk oranına sahip olmaları, onların son derece geniş kullanım alanına sahip olmalarını sağlamıştır. Bugün uçak sanayisinde, yüksek performanslı kayış ve halat yapımında, yüksek basınca dayanıklı boruların yapımında, yüksek performanslı radyal tekerleklerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Kevlar günümüzde zırh, sağlam halat yapımı, yanmadan koruyucu giysi yapımında kullanılmaktadır. Kevlar çok yüksek çekme gerilmesine dayanabilen elyaflardan oluşan ipliksi bir yapıdır. Dokunabilir, kumaş haline getirilebilir, kesilebilir ve dikilebilir. Özellikle çelik yelek, miğfer, paraşüt ipi, fiber veya data kabloları için ek sağlamlık sağlayan halat, veya gemileri bağlamak için kullanılan hafif halatlar ve kompozit yapılar ile oluşturulan levha, boru veya özel taşıtların gövde veya kanat yapılarının yapımında kullanılmaktadır.

#### **2.2.2.4 Bor Elyafı**

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Yüksek dayanımlı elyaftır (Mallick 1993). Bor sert ve gevrek olduğundan doğrudan elyaf olarak çekilemez. Bu nedenle hidrojenle ve bor”triklorürün elektriksel olarak belli bir sıcaklığa (815 °C) ısıtılmış W teli üzerinde çökertilmesi ile elde edilir. Bor lifler kompozit malzemelerde kullanılan en kalın elyaf türü olup, karbon elyaftan yaklaşık 20 kat daha kalındır. Burkulma, çekme ve basma dayanımları yüksektir. Genellikle metal matrislerde kullanılır (Aran 1990).

### **2.2.2.5 Yüksek Sıcaklık Elyafı**

$Al_2O_3$  ve SiC gibi seramik malzemelerden elde edilen elyaf türleridir (Aran 1999, Mallick 1993). Bunlar özellikle yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklere sahip olan yerlerde kullanılır. Ayrıca bu elyafların oksidasyon direnci de yüksektir. Özellikle SiC elyaf metal matrisler için dayanım ve fiyat bakımından en uygun elyafıdır.

## **2.3 Kompozit Malzemelerin Özelliklerini Etkileyen Faktörler**

Kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik gibi özelliklerini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunları genel olarak elyaf hacim oranı, elyaf şekli ve doğrultusu, elyaf çapı ve boy/çap oranı, matris malzemesinin özellikleri, elyaf geometrisi, üretim metodu ve mikro yapının etkisi olarak sınıflandırabiliriz (Şahin 2006).

### **2.3.1 Elyaf Hacim Oranı**

Elyaf hacim içeriğinin artması çekme dayanımı ve elastisite modülünün arttığını göstermektedir. Elyaf hacim oranı iki ana faktöre bağlıdır. Bunlar, kompozit malzemeye uygulanan üretim tekniği ve elyaf geometrisidir.

### **2.3.2 Elyaf Şekli ve Doğrultusu**

Kompozit malzemelerde çok değişik elyaf geometrisi kullanılır. Fakat bunlar genellikle üç ana gruba ayrılırlar: (a) Tek yönlü ( $0^\circ$ ) bütün elyaflar bir doğrultuda ve yönde düzenlenmiş, (b) Çift yönlü ( $0^\circ/90^\circ$ ), bir kısım elyaflar  $0^\circ$ de yönlenirken diğerleri de ( $0/90$ ) olarak tanzim edilirler. Uzun tek yönlü olarak elyaflar elyaf eksenine paralel olarak yüklendiğinde kompozit bu yönde yüksek dayanım ve yüksek rijitlik verir. En düşük özellikler ise elyaf eksenine dik doğrultuda yapılan düzenlemelerde elde edilir. Fakat elde edilen bu özellikler çok anizotropiktir. Bu durum için; ya örme türü elyaf kullanılarak ya da tek yönlü olarak düzenlenen elyaf tabakalarının sırasıyla hem  $0^\circ$  de

hem de 90° de düzenlenerek sağlanır. Ancak, buna göre daha iyi özellikler ise 0°/45° veya 0°/60° düzenleme yapılarak sağlanabilmektedir.

Elyaf lar düzlem içinde rast gele dağıtılmış ve yönl enmiş durumda ise iki yönlülere göre biraz daha düşük mekanik özellikler gösterirler.

### **2.3.3 Elyaf Çapı ve Boy/Çap Oranı**

Elyaf çapının da dayanım üzerine etkisi çok büyüktür. Küçük çaplı çok sayıda elyafı ıslatabilmek güç olduğundan küçük çaplı elyaf ların üretimi zordur. Ancak yeterli ara yüzey bağı temin edildiği takdirde oldukça yüksek mekanik özellikler elde edilir. Elyaf çapı arttıkça mekanik özelliklerde azalmalar görülürken tersine elyaf çapı azaldıkça da mekanik özelliklerde epey artışlar görülmektedir. Elyaf boy/çap oranına gelince; büyük boy/çap oranına sahip olan kesikli elyaf ların matriks içine daha kolay katılması ile çekme dayanımı ve elastisite modülde yeterli artışlar sağlanabilmektedir. Elyaf içeriğine bağı olarak dayanımın arttığı görülmektedir. Örneğin, elyaf uzunluğunun kritik elyaf uzunluğuna eşit olması halinde yaklaşık 800 MPa dayanım elde edilirken elyaf uzunluğu kritik elyaf uzunluğunun 2 katma çıktığında ise bu değer yaklaşık 1260 MPa değerine ulaşabilmektedir (Şahin 2006).

### **2.3.4 Matris Malzemenin Özellikleri**

Matris malzemenin özellikleri kompozit malzemenin dayanımını etkiler. Özellikle yüksek sıcaklıklarda matris malzemenin dayanımının düşmesi kompozit malzemenin dayanımının düşmesine neden olur. Bu özellikle polimer esaslı kompozit malzemelerde ön plana çıkmaktadır.

### **2.3.5 Elyaf Geometrisinin Etkisi**

Bütün elyaflar bir yönde düzenlenirse kompozit bu yönde oldukça dayanıklı ve rijit olacak, fakat bu yöne dik doğrultuda ise düşük elastik modüle ve dayanıma sahip olacaktır. Tek yönde takviyeli kompozit elyaf ekseninden ( $0^\circ$ )'den küçük ayrılmalarla test edildiğinde dayanımda hayli düşmeler gösterir. Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliği üzerine elyaf doğrultusunun etkisi büyüktür. Örneğin tek yönlü cam elyaf takviyeli tabakalı kompozitin çekme modülü üzerine değişik elyaf yerleştirme açıların etkisi vardır. Hangi tür kompozit olursa olsun anizotropik özellik gösterdiği açıktır. Eğer aynı miktarda elyafın yarısı tek yönlü diğer yarısı da dik yönlerde düzenlenirse (woven) bu durumda her iki yönde de eşit dayanım ve rijitlik sağlanabilmektedir.

Ancak bütün bu geometrik düzenlemelerden hiç biri tek yönlü takviyeli kompozit malzeme kadar dayanımı yüksek değildir. Aynı miktarda elyaf düzlem içinde rast gele yönlendirilmişse o zaman kompozit malzeme düzlem içinde bütün yönlerde eşit dayanım ve elastisite modülüne sahip olacaktır. Tek yönlü kompozit malzemede mekanik özellikler elyaflar eksene dik doğrultuda çift yönlü kompozitten daha az değere sahiptir.

### **2.3.6 Üretim Metodu ve Parametrelerin Etkisi**

Üretim metodunun kompozitin mekanik özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Toz metallurji metodu (TM) ile üretilen malzemeler, sıvı metal karıştırma metodu (EMK) ile elde edilen malzemelerden, parçacık şekli, boyutu ve mikro yapısı bakımından farklıdır. TM ile üretilen kompozitler daha uniform bir parçacık dağılımına sahiptir. Fakat mikro yapılar arasında ve parçacık boyutunda farklar mevcut bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak da döküm tekniğine göre toz metallurji tekniği ile üretilen kompozitlerden daha yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir.



### **2.3.6 Mikro Yapının Etkisi ve Porozite**

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine mikroyapının ve porozitenin (gözeneklik) büyük etkisi vardır. Özellikle porozitenin yüksek olması kompozit malzemenin dayanımını önemli ölçüde düşürmektedir. Çünkü porozite bölgeleri çatlak başlangıç noktaları olarak davranmakta ve malzemenin statik ve dinamik zorlamalardaki dayanım değerlerini düşürmektedir.

### **2.4 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri**

Kompozit malzemede takviye elemanı olarak çok değişik elyaflar kullanıldığından ve değişik biçimlerde parçalara ihtiyaç duyulduğundan elyaf takviyeli kompozit malzeme üretim yöntemleri de çok farklıdır. Öncelikle kompozit malzemelerin sınıflandırılması bölümünde de bahsedildiği gibi matris malzemesinin çeşidine göre üretim yöntemlerini polimer esaslı ve metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri olarak sıralayabiliriz. Burada polimer matrisli kompozit malzemelerin üretim yönteminden bahsedilecektir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Aran 1990, Şahin 2006).

1. El yatırma
2. Torba kalıplama
3. Püskürtme
4. Elyaf sarma
5. Savurma (Santrifüj) kalıplama
6. Profil çekme
7. Kapalı kalıp kullanılan yöntemler

El Yatırma en basit üretim yöntemlerindedir. Keçe veya dokuma şeklindeki elyaf hazırlanan bir kalıp yüzeyine veya içine yerleştirilir ve matris malzemesini oluşturan reçine elyafın üzerine sürülür. İstenilen kalınlık elde edilene kadar bu işlem devam edilir. El yatırmada polyester ve reçine en yaygın kullanılan reçine türleridir.

Torba kalıplama yöntemi, kalıp üzerine üst üste konularak hazırlanan kompozit malzemelerin sertleştirilmesinde kullanılır. Özelliklerin daha iyi olması istenilen ve içeride hava kalması istenmeyen kompozit malzemelerin üretiminde kullanılır.

Püskürtme yönteminde, kırılmış elyafın matris malzemesi olan reçine ve sertleştirici ile karıştırılıp tabanca ile kalıba püskürtülmesi işlemidir.

Elyaf sarma yönteminde, sürekli elyaf kullanılır. Elyaf kalıbı oluşturan bir silindir üzerine sarılır. Bu yöntem boru, basınçlı kap veya roket gövdeleri gibi silindirik parçaların üretiminde uygundur.

Savurma (santrifüj) kalıplama yönteminde, kırılmış elyaflar, matris malzemesi olan reçine ve sertleştirici karıştırılarak silindirik bir kabın içine konur. Merkezkaç kuvvetin yardımıyla istenilen parça üretilir.

Profil çekme yönteminde, sürekli şekildeki profillerin (I, U, T gibi) üretiminde uygundur. Elyaf ön bir kalıptan geçirilip, hazırlanmış matris malzemesinin içine daldırıp geçirilerek, istenilen şekildeki kalıptan geçirilip üretilir. İstenilen boylarda kesilerek kullanılır.

Kapalı kalıp kullanılan yöntemlerde, kompozit malzeme iki kalıp arasına sıkıştırılmış durumda sertleştirilir.

## **2.5 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları**

### **Günlük Ve Ticari Hayatta Kullanım**

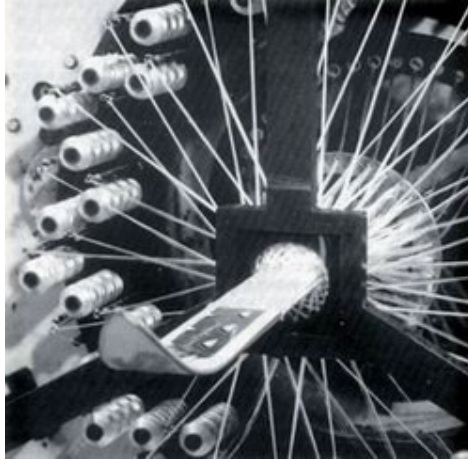
Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin dayanım/yoğunluk oranınının yüksek olması, korozyona karşı dayanıklı olmasından dolayı günlük ve ticari hayatta kullanımı çok yaygındır. Özellikle, taşıt, tekne, ev, yüzme havuzu, depolar, borular, ev aletleri, profillerde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yüksek dayanım gerektiren yerlerde karbon takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeler daha çok kullanılmaktadır. Taşımacılıkta (yaprak yaylar, miller, köprüler), spor malzemelerinde (Sörf, kayak, olta, raket gibi), tekerli sandalye ve protez gibi tıp alanında çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Resim 2.1, Resim 2.2).

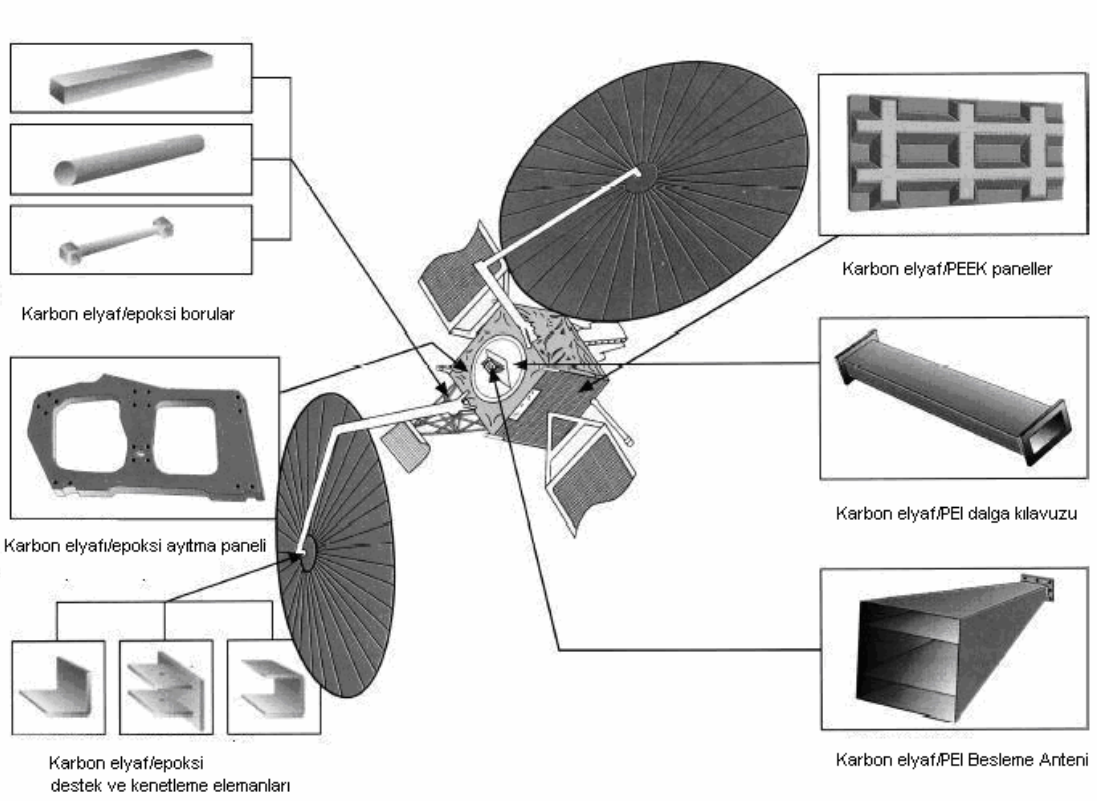
Spor malzemeleri üretiminde bor takviyeli kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tenis raketleri, yaylar, kayaklar, yarış bisikleti gövdeleri, yelken direkleri genellikle bunlarda imal edilmektedir (Mallick 1993).

Aramid elyaf takviyeli kompozit malzemenin yoğunluğu, cam ve karbon takviyeli kompozit malzemelerin yoğunluğundan daha düşük olması, darbe dayanımlarının yüksek olması nedeniyle spor malzemelerin yapımında (tenis raketleri, kayaklar, golf sopaları), gemi yapımında, otomotiv sanayiinde (yaylar, miller, fren ve debriyaj balataları) yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Şekil 2.4’de kompozit malzemelerin uydu sisteminde kullanım yerlerine ait bir örnek verilmektedir.



Resim 2.1 Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması (İnt. Kyn. 1)



Şekil 2.4. Uydu bileşenleri olarak kullanılan kompozit yapılar (Mazumdar 2002).



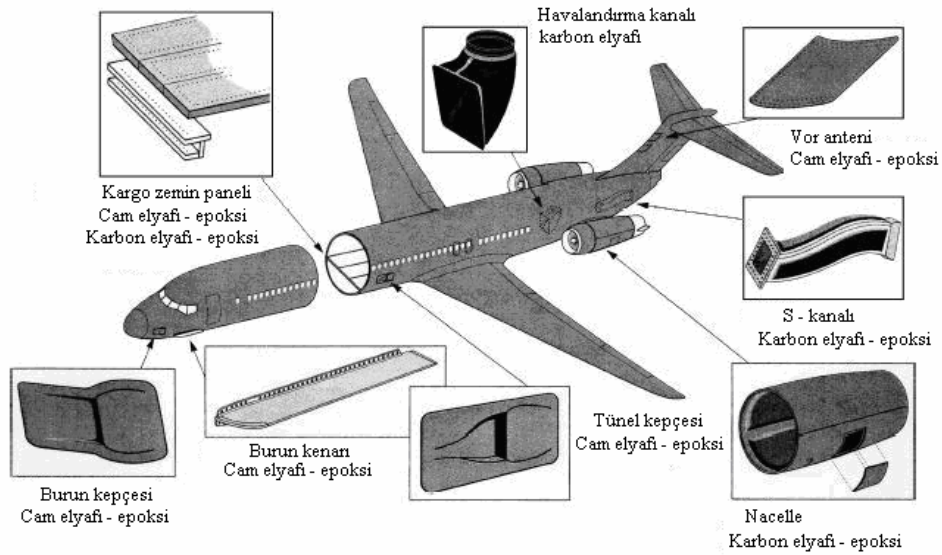
Resim 2.2 Kompozit malzemeden yapılmış otomobil ön paneli (İnt.Kyn.1)

## Askeri Alanda Kullanımı

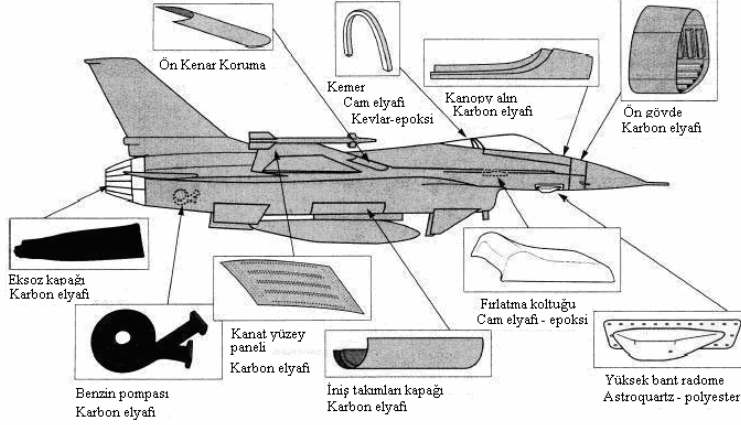
**Uzay Ve Havacılık Sanayisinde:** Kompozit malzemelerin hafiflik ve dayanım değerlerinin diğer malzemelere göre daha iyi olmasından dolayı uzay ve havacılık sanayinde kullanımı çok daha yaygındır (Jones 1999). Çünkü hafif malzemeden yapılması, daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Ayrıca, özellikle titreşim, yorulma ve termal dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde kompozit malzemelerin önde gelen avantajlarıdır.

Özellikle karbon takviyeli kompozit malzemeler havacılık sanayisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.5, Şekil 2.6). Uzay mekiğinin kargo kapılarında, roket gövdelerinde, uçaklarda iniş takımlarında, çeşitli kanatçıklarda kullanılmaktadır (Gay vd. 2003).

Yorulma dayanımı, sürünme dayanımı, korozyon dayanımı, darbe dayanımı ve titreşimleri sönmüleme kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle aramid (kevlar) takviyeli kompozit malzemeler, roket motoru gövdeleri, uzay mekiğindeki gaz depoları, uçak sanayiinde kanatçıklarda, iniş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.5 Ticari uçaklarda kullanılan kompozit yapılar (Mazumdar, 2002).



Şekil 2.6 Askeri uçaklarda kullanılan kompozit yapılar (Mazumdar, 2002).

## Silah, Roket Ve Diğer Mühimmat Sanayisinde Kullanımı:

Günümüzde hafiflik ve dayanım bakımından kompozit malzemeler silah sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Roket üretiminde önemli bir yere sahiptirler. Miğfer ve kurşungeçirmez yelekler, zırhlı taşıtlarda kevlar takviyeli kompozit malzemeler çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 2.6 Sürtünme ve Aşınma

### 2.6.1 Sürtünme

İki katı cisimden biri diğerinin üzerinde kayarken gösterilen dirence sürtünme denir. Bir başka ifade ile bir katı cismin kendisiyle temas eden başka bir katı cismin bağıl hareketine veya hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir. Direnç kuvveti hareket yönüne paraleldir ve ters yöndedir. Bir biri ile temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi kayma, yuvarlanma veya bu iki hareketin bileşimi şeklindedir. Sürtünme, yüzeyler arasında yağlayıcı olup olmaması durumuna göre; kuru, sınır ve sıvı sürtünme olarak üçe ayrılır (Can 2006).

**Kuru Sürtünme:** Sürtünen yüzeyler arasında yüzeylerin temasını önleyen yağ, oksit vs. yoktur.

**Sınır Sürtünmesi:** Sürtünen yüzeyler arasında tam manasıyla yağ filmi oluşmamaktadır; fakat tamamen de yağsız değildir.

**Sıvı Sürtünmesi:** Sürtünen yüzeyler arasında yağ filmi vardır ve yüzeyler arasında temas yoktur.

Mekanik sürtünme teorisinde temel sürtünme kanunları şunlardır;

- 1- Katı cisimler arasındaki sürtünmede, sürtünme kuvveti sürtünen yüzeyler arasındaki temas alanından bağımsızdır.
- 2- Sürtünme kuvveti cisimlere gelen normal kuvveti ile doğru orantılıdır ve aralarında sürtünme katsayısı olarak bilinen sabit bir oran vardır.
- 3- Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır.

Sürtünme katsayısı, kayma mesafesi ve süresine, sertliğe, temas yüzeyinin ortalama tane büyüklüğüne ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır.

Sürtünme, temasta olan yüzeylerin durumuna da bağlıdır. Gerçekte, temas eden yüzeyler görünen geometrik yüzeyden daha küçüktür. Bu nedenle de sürtünme görünen yüzeyden bağımsız, fakat gerçek temas alanını oluşturan pürüzlere bağlıdır. Temas eden parçalarda oluşan basınç, birbirine değen noktalarında malzemenin akma sınırını aşabilmekte ve böylece de gerçek değme yüzeylerindeki pürüzler normal kuvvetin etkisiyle sıkışarak deforme olurlar ve bunun sonucunda temas yüzeyleri de büyür. Temas eden yüzeylerin büyümesi ile birbirlerine yaptıkları basınçta o oranda büyür.

Sürtünme olayı sonrasında makine elamanlarında aşınma meydana gelir. Makine aksamlarında oluşan aşınma, boyut değişikliğine neden olur ve onların boyut hassasiyetini bozar. Aşınma ile boyut hassasiyeti bozulan bir makine, istenen kalite ve hassaslıkta olmaz ve normal görevini yerine getiremez.

## 2.6.2 Aşınma

Birbiriyle temas halindeki iki cismin arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerini birbirini etkilemesi sonucu sürtünme neticesinde mekanik etkenler ile malzeme kaybına aşınma denir.

Bu şekilde; yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez. Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve kompleks bir sistem özelliği gösteren aşınma, sanayide bir çok tribolojik sistemlerde görülen korozyonun ve yorulmanın yanında önemli bir problemdir. Bu nedenden dolayı da günümüz teknik sistemlerindeki araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji israfı da önlenmiş olur.

Ayrıca aşınma, dış etkiler altında temas yüzeylerinde meydana gelen fiziki ve kimyasal değişmelerin sonucudur. Mühendislik malzemelerinde görülen malzeme kaybının aşınma sayılabilmesi için şu şartların olması gerekir:

- 1- Mekanik bir etken olması,
- 2- Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
- 3- Yavaş ve devamlı olması
- 4- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi
- 5- İsteğimiz dışında meydana gelmesidir.

### 2.6.2.1 Aşınma Çeşitleri

Aşınma çeşitlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Can 2006).

- 1- Adezyon aşınması



- 2- Abrasyon aşınması
- 3- Temas yorulması aşınması (Pitting)
- 4- Darbe aşınması (Erozyon, kavitasyon aşınması)
- 5- Kimyasal (Korozyon) aşınması
- 6- Fretting aşınması

**Adezyon aşınması:** İki düz yüzeyin biri birinin üzerinden kayması sonucu oluşur. Özellikle kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzemeyen iki metalin yüzeyleri arasında adezyon çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Makine parçalarının yüzeyleri mikron mertebesinde pürüzlüdür. İki yüzey temas halinde iken temas yüzeylerinde bu pürüzlülükler birbirine temas eder. Temas eden bu yüzeyler yüzey alanının çok az bir kısmıdır. Temas eden gerçek alanın görünen alana oranı 1/10000 değerine ulaşabilmektedir. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, metal ağırlığı veya etkiyen bir kuvvet, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç, bu noktalardaki pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvının kaynaklaşmasına neden olurlar. Ayrıca pürüzlerin plastik deformasyonu ile oluşan mikro adezyon temas yüzeyi boyunca yayılır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaklaşmayı oluşturur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adezyon aşınmayı oluşturur.

Ayrıca adezyon aşınmasını şu şekilde de açıklayabiliriz. Birbiriyle temas da olan makine parçalarının temas eden yüzey pürüzlülüklerinde fiziksel ve kimyasal yolla bağ kurularak yapışma meydana gelir. Fiziksel bağ olan Van der Waals bağı etkindir. Ve bu bağa göre daha zayıftır. Kimyasal bağ, kovalent bağ, iyonik bağ, metalik bağ şeklinde olabilir. Yapışan iki yüzey biri birine göre izafi hareket ederlerse yapışma noktalarından kopmalar meydana gelir. Bu aşınma türüne adezyon aşınması denilir. Yatak sarması, adezyon aşınmasına güzel bir örnektir.

Adezyon aşınmasında aşınma miktarı hesabı:Aşınma miktarı, yüzeye uygulanan

yük (F) ve kayma mesafesi (L) ile doğru orantılı, malzemenin sertliği (HB) ile ters orantılıdır. Aşınan madde miktarı aşağıda verilen denklem sayesinde bulunabilir (Can 2006).

$$V = \frac{k.F.L}{HB} \quad (2.1)$$

Burada, V: Aşınan hacim, F: Yüze normal yönde etkiyen kuvvet (kg), HB Malzemenin Brinell sertlik değeri (kg/mm<sup>2</sup>), L: Kayma uzunluğu.

Aşınma çiftinin yüzeyleri arasındaki tutma kuvvetleri (adhesiv bağ mukavemetleri) eşit büyüklükte ise veya adhesiv bağ mukavemeti, büyük ise pürüz kopar ve malzeme kaybına neden olur. Eğer adhesiv bağ kuvveti pürüz mukavemetinden küçükse, pürüz kaynak noktasından kopar ve hiçbir malzeme kaybına neden olmaz. Adhesiv aşınma sırasında iki sürtünme yüzeyi arasında üçüncü bir cisim meydana gelmektedir. Özellikle adhesiv aşınmada kırılan parçalar ara yüzeyde serbest kalabileceği gibi metallere birine bağlı kalarak da taşınabilirler. Parçacığın yüzeyden diğer yüzeye taşınmasına metal transferi denir.

Adhesiv aşınma kolay alayım yapan benzer malzemelerde görülür. Bu aşınma bağılı hızla, normal kuvvete, yüzeylerin sertliğine bağılıdır. Yüksek hız ve yüklerde görülen bu aşınma yüzeydeki oksit ve nem tabakasının etkisindedir. Temiz yüzeylerde ise kısmen düşük hızlarda meydana gelir. Yüzeylerden biri diğerine göre sert ise, kaynak bağlarının kopması yumuşak malzemelerde olur ve yumuşak malzeme sert malzemelerin yüzeyine transfer edilir. Yüzeyler arasında sert malzeme parçacıkları, yani abrasiv aşınma meydana getirecek şartların bulunması halinde, adhesiv aşınma meydana gelmez. Adhesiv aşınma, sürtünmeyi tayin eden bütün kaynak noktalarında oluşmaktadır.

### **Abrazyon Aşınması:**

Temasda olan iki makine parçasının yüzey pürüzlülüklerinin sert ve keskin köşeli

parçacıklar tarafından plastik deformasyona uğratılması veya koparılması olayına abrazyon aşınması denir. Bu aşınma farklı kristalografik yapıya sahip iki cisim arasında meydana gelir ve aşınma çifti arasında kaynaklaşma olayı oluşmaz. Taşlama, zımparalama, ve parlatma işlemlerinde bu tür aşınma meydana gelir.

Eğer sert ve küçük parçacıklar bir cisimde sürtünmenin etkisi ile çizilmeler oluşturuyorsa veya kayma hareketi esnasında hareketin etkisi ve uygulanan kuvvetle sert cismin yüzeyi kendine ait olan pürüzlerin tepeleri ile yumuşak cismin yüzeyinden mikro talaşları kesip çıkarıyorsa abrasiv aşınma söz konusudur. Abrasiv aşınma yumuşak parça tükeninceye kadar kararlı bir şekilde devam eder.

### **Yorulma aşınması:**

Yuvarlanan yüzeylerde (kayma ihmal edilirse) adezyon ve abrazyon aşınmaları meydana gelmez. Bunun yerine yüzey basıncı nedeniyle pullanma şeklinde aşınma meydana gelir. Bir biri üzerinde yuvarlanan elemanların nokta veya çizgi şeklindeki temas bölgelerinde büyük basınçlar meydana gelir. Bu basınçların meydana getirdiği gerilmeler, yüzey altında çatlağın başlamasına sebep olur. Çatlak ilerleyerek pullanma şeklinde kalkar. Bu tip yorulma önemli olarak, dişli çarklar, rulmanlı yataklar, tekerlekler ve kamlarda görülmektedir.

### **Darbe aşınması:**

Darbe aşınması iki şekilde meydana gelmektedir. Akışkan içindeki katı partiküllerin çarpması ile oluşan aşınmaya erozyon, sıvı akışkan içindeki gaz boşluklarının malzemeye çarpması ile oluşan aşınmaya kavitasyon denilir.

### **Kimyasal (koroziif) aşınma:**

Temas yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların yanı sıra kimyasal ve elektrokimyasal tahribatların oluşmasına korozyon denir. Metal veya metal alaşımlarının çevreleri ile kimyasal, elektrokimyasal ve metalurjik ilişkiden dolayı

yüzeylerinde yapısı farklı tabakaların oluşması ve sürtünme hareketi ile bu tabakaların parçalanıp taşınması sonucu meydana gelen hasara korozif aşınma denir. Bu aşınma için gerekli şart, korozyonun ve sürtünme hareketlerinin olmasıdır. Korozif aşınmanın faydası, çok yüksek basınç altında çalışan yüzeylere, oluşan oksit ve ara tabakaların yapışmasını önleyerek adhesiv aşınmayı azaltmasıdır. Korozif aşınma, abrasiv ve adhesiv aşınmaları ile birlikte oluşabilir. Sürtünen yüzeyde oluşan korozyon ürünü sert parçacıklar halinde koparsa aşınma şiddetlenir.

### **Fretting Aşınması:**

Bu aşınma temas eden yüzeylerin bir biriyle çok küçük hareket eden bölgelerinde meydana gelir. Birbirlerine kuvvetle temas eden iki metal yüzeyi arasında düşük titreşim hareketlerinin meydana gelmesi ile oluşur. Bu aşınma çeşidi genellikle cıvatalı ve perçinli bağlantılarda, pres geçme ve sıkı geçirilmiş yüzeylerde, kaplinlerde vs. görülür. İki yüzeyin temas eden bölgesinde fretting, adezyon, abrazyon aşınması ve korozyon aşınması beraber olabilir.

### **2.6.2.2 Aşınmaya Etki Eden Faktörler:**

Genel olarak aşınmaya etki eden faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- 1- Malzemelerin cinsi ve kimyasal bileşimi
- 2- Malzemelerin mikro yapısı
- 3- Malzemelerin kristal yapısı
- 4- Malzemelerin sertliği
- 5- Isıl işlem
- 6- Kayma çifti
- 7- Ortama bağlı faktörler
- 8- Yük ve hız
- 9- Sıcaklık

Yapılan çalışmalar yüzey basıncının artması ile aşınmanın hızlandığı aynı yükte çalışma hızının artması ile aşınmanın da arttığı tespit edilmiştir. Basınç artışına paralel olarak çalışma hızının da artması aşınmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca sürtünmeyi arttıran yük aşınmanın artmasına neden olmaktadır.

Sürtünme enerjisinin ısıya dönüşmesi ile gerçek temas alanının sıcaklığı artar. Artan sıcaklığın etkisi ile sürtünen yüzeylerde bölgesel ergimeler olur ve yüzeylerden küçük parçacıklar kopararak aşınmayı hızlandırır. Sürtünme ve aşınma sonucu meydana gelen yapı dönüşümleri de ısıl çatlamalara ve sürtünme esnasında parçacıkların koparak aşınmanın artmasına neden olur. Bu nedenle katı cisimlerin aşınmasında sürtünen yüzeylerin sıcaklığı çok önemlidir.

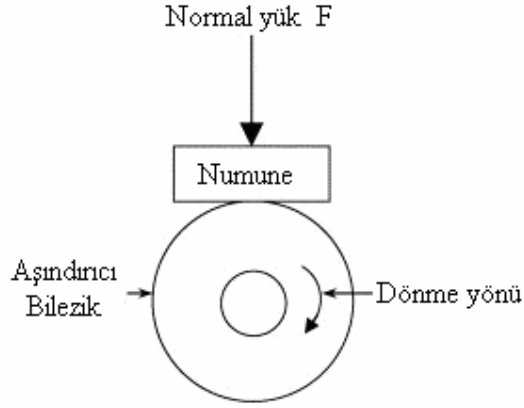
Sürtünme aşınmasında aşınma miktarı, zamana ve kayma mesafesine bağlı olarak belirtilir. Aşınma miktarları, aşınan parçanın şekil ve ağırlık değişimine ait sayısal bir büyüklük olup aşınma, aşınma miktarı olarak birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Buna göre aşınma miktarı parçanın ağırlık kaybı ve hacimsel aşınma veya sürtünme yüzeyinin yükseklik kaybı olarak ifade edilir.

### **2.6.2.3 Aşınma Deneyleri**

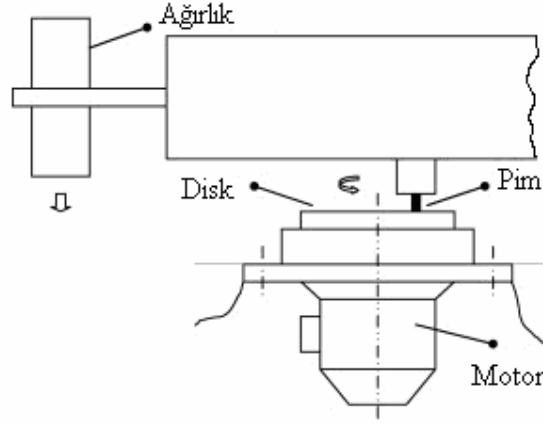
Malzemelerin aşınma özelliklerini belirlemek için genel olarak üç şekilde aşınma deneyleri yapılmaktadır. Bunlar;

1. Sürtünme aşınması (Disk-pim, Bilezik-blok veya dönen çift disk şeklinde)
2. Darbe aşınması (Disk üzerinde salınlı pim veya parça püskürtme şeklinde)
3. Yuvarlandırımalı aşındırma (Silindir üzerinde bilye şeklinde)

Aşınma deney setleri olarak genellikle en yaygın olarak Bilezik-blok veya Disk-pim şeklindeki aşınma mekanizma setleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.7 Bilezik-blok şeklindeki aşınma deney setinin mekanizması



Şekil 2.8 Disk-pim şeklindeki aşınma deney setinin mekanizması

Aşınma deneyleri sonucunda genellikle madde kaybı belirlenir. Aşınma katsayısı belirlenme istenirse aşağıdaki formülden tayin edilebilir (Can 2006).

$$k = \frac{V.HB}{F.L} \quad (2.2)$$

Burada, V: Aşınan hacim, F: Yüze normal yönde etkiyen kuvvet (kg), HB Malzemenin Brinell sertlik değeri ( $\text{kg/mm}^2$ ), L: Kayma uzunluğu.

## 2.7 Literatür Araştırması

Kompozit malzemeler günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanıldığından, kompozit malzemeden yapılan makine parçalarının da çalıştığı ortama uygun olması gerekir. Yani, istenilen mekanik dayanıma, aşınma dayanımına, korozyon v.s. uygun olması gerekir. Bu nedenle kompozit malzemelerin özellikleri hakkında çok sayıda bilimsel makaleler ve kitaplar yayınlanmıştır. Halen bu konuda sayısız araştırmalar yapılmaktadır. Aşağıda öncelikle cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma dayanımları ile ilgili yapılan çalışmaların özeti verilmektedir.

Ramesh vd. (1983) sürekli cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin pim-disk şeklindeki aşınma deneyi cihazı ile kuru ortamda aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kompozit malzemeyi, 10 mm çapındaki ve 200 mm uzunluğundaki cam elyaf demetlerini epoksi reçine içine koyarak presleyip üretmişlerdir. Saf epoksi reçine numunelerinde kayma hızının artmasıyla hızlı bir şekilde ağırlık azalması meydana gelirken, cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemede ise, kayma hızının artmasıyla numunelerde önce bir ağırlık azalması daha sonra hafif bir yükselme olduğunu tespit etmişlerdir.

Kishore vd. (2001) cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kuru kayma aşınması durumunda aşınma yüzeylerini SEM mikroskobu ile incelemişlerdir. Artan kayma mesafesiyle aşınma yüzeylerinde elyaf ile matris ara yüzeylerinde ayrılmanın meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Kishore vd. (1999) iki yönlü (dokuma,  $0^\circ / 90^\circ$ ) cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemeyi basma kalıplama prosesi ile el yatırma tekniğini kullanarak üretmişler ve kayma hızının ve yükteki değişimin kompozit malzemenin aşınma davranışına etkilerini pim-disk şeklindeki aşınma deneyi cihazı ile kuru ortamda incelemişlerdir. Numunelerde uygulanan yükün ve kayma hızının artmasıyla ağırlık kaybının arttığını bulmuşlardır.

Suresha vd. (2006) iki yönlü (dokuma, 0° / 90° ) carbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler ile cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin pim-disk şeklindeki aşınma deneyi cihazı ile kuru ortamda aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin kayma hızının ve uygulanan yükün artmasıyla aşınma kaybının arttığını bulmuşlardır.

Vishwanath vd. (1991) üç farklı dokuma şeklindeki cam elyaflarını PVB (poly (vinyl)-butyral) reçine ile kompozit malzeme üretmişler ve pim-disk şeklindeki aşınma deneyi cihazı ile kuru ortamda aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma miktarlarının ve sürtünme kayıplarının cam elyafının dokuma türüne bağlı olduğunu bulmuşlardır.

Suresha vd. (2007) dokuma cam elyaf kumaş takviyeli epoksi reçineli kompozit malzeme ile epoksi reçine içine üç farklı oranda grafit koyarak oluşturdukları kompozit malzemelerin pim-disk şeklindeki aşınma deneyi cihazı ile kuru ortamda aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, grafit eklenmiş kompozit malzemelerin aşınma dayanımının daha yüksek olduğunu ve artan kayma hızı ve uygulanan yük ile cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerinin aşınma kayıplarının arttığını belirlemişlerdir.

El-Tayep ve Gadelrab (1996) tekyönlü düzenlenmiş cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin farklı kayma temas koşulları altında sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Su ile temaslı koşullar altındaki sürtünme katsayısında ve aşınma miktarında azalma meydana geldiğini bulmuşlardır.

Kompozit malzemelerin aşınma dayanımını artırmak için özellikle matris malzemesinin içine değişik makro ve nano seviyesinde partiküller ilave edilerek çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, Srivasta ve arkadaşları (1992) tekyönlü cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemeye mika ilave ederek aşınma ve sürtünme karakteristiklerini incelemişlerdir. Mika partiküllerinin kompozit malzemenin sertliğini ve basma mukavemetini artırdığını ve daha iyi tribolojik özellikler sergilediğini bulmuşlardır.



Suresha vd. (2007) ise cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemenin içine SiC ilave etmiş mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda, SiC ilave edilen kompozit malzemenin aşınma dayanımının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Epoksi matrisli kompozit malzeme imal edilirken cam elyafından başka karbon elyafı da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Suresha ve Chandramohan (2007) takviye malzemesi olarak karbon elyafını kullanarak epoksi matrisli kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarına normal yükün ve kayma hızının etkilerini incelemişlerdir. Uygulanan yük ve kayma hızının artmasıyla kompozit malzemenin ağırlık kaybının arttığını belirlemişlerdir.

Suresha vd. (2007) karbon ve cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin abraziv aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma hacim kaybının her iki tip kompozit malzemedeki artan yük ve kayma mesafesiyle arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin abraziv aşınma dayanımının cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemenin abraziv aşınma dayanımından daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Bunun yanında takviye elemanı olarak cam elyafını kullanarak matris malzemesi epoksiden farklı olan değişik kompozit malzemelerin aşınma davranışları konusunda da çok değişik çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, Pıhtılı ve Tosun (2002) cam elyaf takviyeli polyeşter reçineli kompozit malzemelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma dayanımlarının saf polyeşterin aşınma dayanımlarından daha iyi olduğunu bulmuşlardır.

Sumer vd. (2008) saf PEEK matrisle %30 cam elyaf takviyeli PEEK matrisli kompozit malzemelerin pim-disk şeklindeki aşınma deney cihazında kuru ve sulu ortamdaki tribolojik davranışlarını incelemişlerdir. Uygulanan yükün artmasıyla sürtünme katsayılarının arttığını ve aşınma miktarlarının arttığını belirlemişlerdir. Sulu ortamlarda yapılan deneylerde kompozit malzemelerin aşınma dayanımı daha yüksek olmuştur.

El-Tayep vd. (2008) keçe şeklindeki cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemenin pim-disk şeklindeki aşınma deney cihazındaki aşınma yüzeylerini incelemişlerdir. Sürtünme katsayısının ve aşınma miktarının aşınmadaki kayma yönüne bağlı olduğunu belirtmektedirler. Büyük yüklerde ve kayma mesafelerinde matris malzemesinde mikro ve makro çatlakların, elyaflarda kırılma, ayrılma yüzeylerinin meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Pıhtılı ve Tosun (2002) dokuma cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzeme ile aramid elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit malzemelerin blok-bilezik şeklindeki aşınma deney cihazındaki değişik kayma mesafeleri, hızları ve uygulama yüklerinde aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Numunelerin aşınma kayıplarına uygulama yükünün hızdan daha etkili olduğunu belirtmektedirler. Aramid elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemedeki aşınma kayıplarının diğer kompozit malzemedeki aşınma kayıplarından daha düşük olduğunu belirtmektedirler.

Sung ve Suh (1979) polimer matrisli değişik kompozit malzemelerde elyaf oryantasyonunun sürtünme ve aşınma dayanımını etkilediklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında, grafit elyaf-epoksi, Kevlar-49 elyafı ve cam elyafı kompozit numunelerde değişik elyaf oryantasyon açılarında sürtünme katsayısı ve aşınma miktarını ölçmüşlerdir. En düşük aşınma ve sürtünme katsayısının kayma yüzeyine elyaf oryantasyonunda meydana geldiğini, en büyük aşınma ve sürtünme katsayılarının ise kayma ekseninin elyaf eksenine dik olduğu durumda meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Larsen vd. (2008) epoksi reçine matrisi hepsinde aynı olmak üzere cam elyaf, karbon/aramid dokuma, PTFE partikül ve CuO nano partikül takviyeli kompozit malzemelerin farklı uygulama yüklerinde ve hızlarında aşınma performanslarını incelemişlerdir. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf oryantasyonunun kayma yönüyle aşınma performansını etkilediğini belirtmektedirler. PTFE partikülünün ve CuO nano partikül ilavesinin ise aşınma performansı üzerine düşük etkisinin olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde

karbon/aramid takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansına göre daha kararlı olduğunu ifade etmektedirler.

Bunun yanında, Chang (1983) ise grafit elyaf- epoksi matrisli kompozit malzemelerde en yüksek aşınma oranının elyaf oryantasyonunun kayma doğrultusu ile 30° olduğu durumda meydana geldiğini belirlemiştir.

## **2.8 Çalışmanın Amaçları**

Makine parçalarının yapımında kullanılan malzemelerden çalışma koşullarında beklenen önemli özelliklerden bir tanesi aşınma dayanımıdır. Özellikle günümüzde kompozit malzemelerin yaygın bir şekilde kullanıldığı ortamlarda aşınmaya maruz kalması durumunda nasıl bir performans sergileyeceği önceden bilinmesi gerekir. Kompozit malzemeler içinde cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzeme imal edilirken takviye malzemesi olarak dokuma şeklindeki cam elyaf kumaş çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam elyafının örme kumaş şeklinde kullanılması özellikle darbe dayanımı açısından çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu çalışmada, dokuma cam elyaf takviyeli ve örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin değişik kayma mesafelerinde ve değişik uygulama yüklerinde aşınma davranışları incelenmiştir.

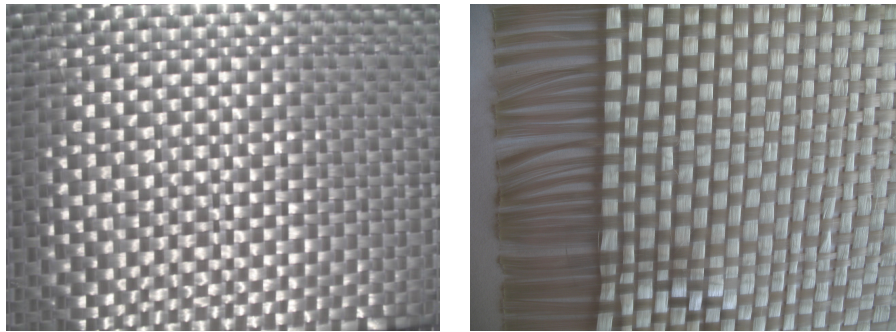
### 3. MATERYAL METOT

#### 3.1. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretimi

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performanslarını incelemek için, dokuma ve örme şeklinde cam elyaf kumaşları kullanılmıştır. Dokuma kumaşlar üretici firmalar tarafından hazır sunulmaktadır. Örme kumaş ise Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında üretilmiştir. Dokuma kumaşın ve örme kumaşın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Örme kumaşlar 200 tex numaralı cam elyafından yapılmıştır. Kumaşın birim alana düşen ağırlığı  $634 \text{ gr/m}^2$ 'dir. Dokuma kumaş olarak hazır olarak satılan  $0^\circ$ - $90^\circ$  (Woven)  $300 \text{ gr/m}^2$ 'lik kumaşlar kullanılmıştır. Dokuma cam elyafının en önemli özelliği birbirine dik şekilde dokunmuş liflerden meydana gelmesidir. Bu şekilde radyal ve aksenal yükleri taşıma özelliği yüksektir (Schwartz 1984). Matriks malzemesi olarak ise epoksi reçine kullanılmıştır. Kullanılan reçine olarak Ciba Geigy, Bisphenol A epoxy CY – 225, sertleştirici Ciba Geigy Anhydride HY-225 kullanılmıştır. Karışım oranı 100.80 dir.

Resim 3.1'de dokuma şeklindeki dokuma cam elyaf kumaşının genel görünüşleri verilmektedir. Resim 3.1 (b)' de cam elyaf takviye malzemesinin kenar kısımları görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi lifler birbirine dik olarak dokunmuştur.

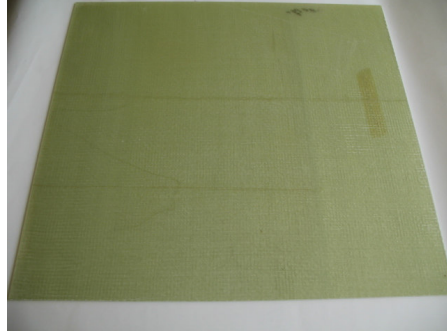


(a)

(b)

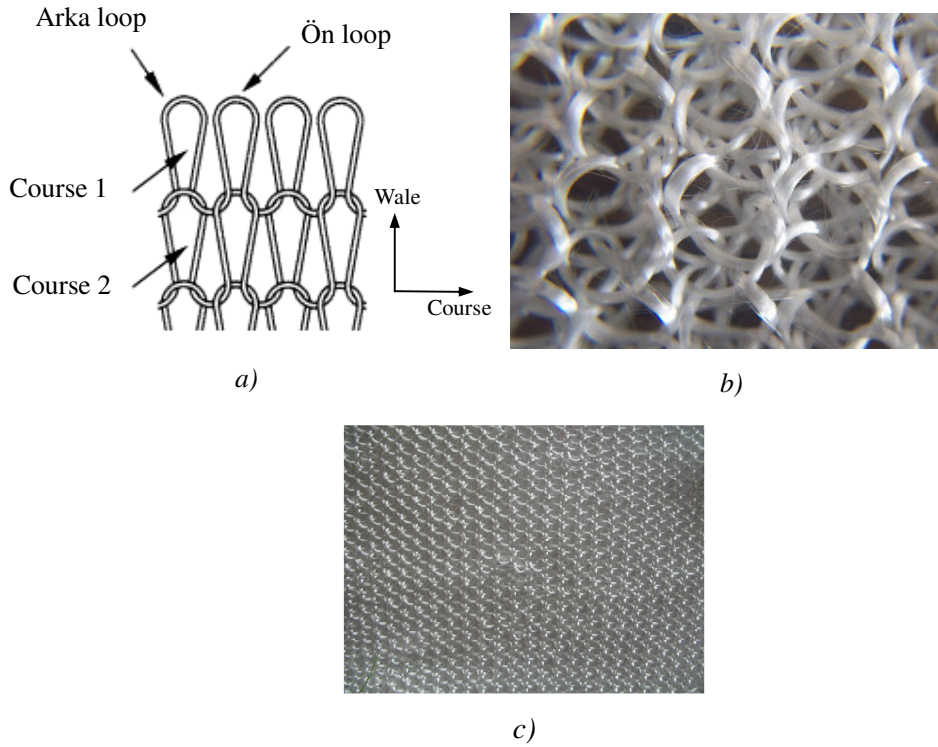
Resim 3.1 Dokuma cam elyaf kumaşlarının genel görünüşü

Dokuma cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemenin üretildikten sonraki plaka şeklindeki görünüşü aşağıdaki Resim 3.2’ de verilmiştir.



Resim 3.2 Üretilen dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzeme plakasının genel görünüşü.

Örme cam elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit malzemede kullanılan örme cam kumaşın genel görünüşü Resim 3.3’ de, üretildikten sonraki plaka kompozit malzemenin genel görünüşü ise Resim 3.4 de verilmiştir.



Resim 3.3 Örme kumaşın genel özellikleri ve görünüşleri



Resim 3.4 Üretilen örme cam kumaş takviyeli kompozit malzeme plakasının genel görünüşü

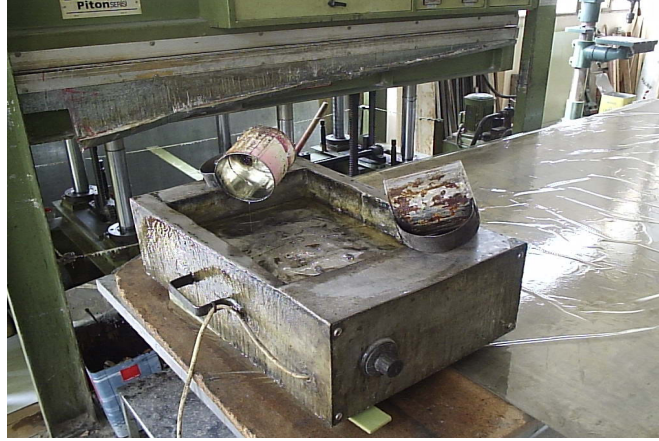
Plaka halinde kompozit malzeme yapmak için kumaş haline getirilen dokuma ve örme cam elyaf kumaşlar el yatırma yöntemi ile üst üste konmuş, her kademedede hazırlanan reçine karışımı emdirilerek 15 MPa basınçta 130 °C sıcaklıkta 3.5 saat preslenerek elde edilmişlerdir. Elde edilen kompozit plakaların ölçüleri yaklaşık olarak 50cmx50 cmx2mm dir. Üretilen kompozit malzemede elyaf hacim oranları ise yaklaşık olarak % 65 civarındadır. Elyaf hacim oranı bulunurken kullanılan cam elyafı ile epoksi reçinenin ağırlıklarından yararlanılmıştır.

Dokuma ve örme cam elyaf kumaş takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin üretim aşamaları aşağıdaki Resim 3.5-3.9 da verilmiştir. Resim 3.5 de görüldüğü gibi, öncelikle dokuma cam elyaf kumaşlar belli ölçülerde kesildi.



Resim 3.5 Dokuma şeklindeki cam elyaf takviyesinin kesilmesi

Diğer bir yandan ise matris malzemesi olarak epoksi reçine hazırlandı (Resim 3.6). Belirli oranlarda reçine ve sertleştirici karıştırıldı ve uygulamaya geçilmesi için ısıtıcı bulunan bir kaba koyuldu. Bu ısıtıcı bulunan kaptaki epoksi reçine uygulanabileceği ideal sıcaklığa ulaştı.



Resim 3.6 Reçinenin hazırlanması

Bu işlemler bittikten sonra cam elyafları el yatırma yöntemi ile kat kat matris malzemesi ile birleştirildi. Matris malzemesi olan epoksi reçine bir rulo yardımı ile cam elyaflara uygulandı. Daha sonra üzerine bir kat daha cam elyafı konulup tekrar epoksi reçine uygulandı. Bu işlem istenilen kalınlıkta kompozit malzeme üretimi için dokuma cam elyaf takviyesinde 6 şer kez, örme cam elyaf takviyesinde 5 şer kez tekrarlandı. Bu şekilde 6 kat dokuma cam elyaftan oluşan kompozit malzeme ve 5 kat örme cam elyaftan oluşan kompozit malzeme oluşturuldu. Yatırma işlemi biten malzemelerin sıcak preste yapışmaması için üzerine jelâtin geçirildi.(Resim 3.7)



Resim 3.7 Kompozit malzemenin preste konulmadan önceki görünüşleri



Bu işlemden sonra kompozit malzemeler sıcak prese konulması için iki adet sac levhanın arasına konulmuştur. Bu şekilde malzemeler hasar görmeden düzgün bir şekilde preslenmiştir (Resim 3.8). Malzemeler sıcak preste 15 MPa basınçta 130 °C sıcaklıkta 3.5 saat boyunca preste kalmıştır. Epoksi reçinenin katılaşması preste bu sıcaklık altında ve bu süre zarfında gerçekleşmiştir.



Resim 3.8 Kompozit malzemenin preste yerleştirilmesi

3.5 saatin sonunda pres açıldıktan sonra malzemeler presten çıkarılmıştır. Katılaşmış plaka kompozit malzemenin kenar kısmında fazlalıklar otomatik olarak çalışan bir testere yardımıyla kesilip atılmıştır (Resim 3.9). Bu şekilde malzemenin esas ölçülerine (50x50 cm) gelmiştir.

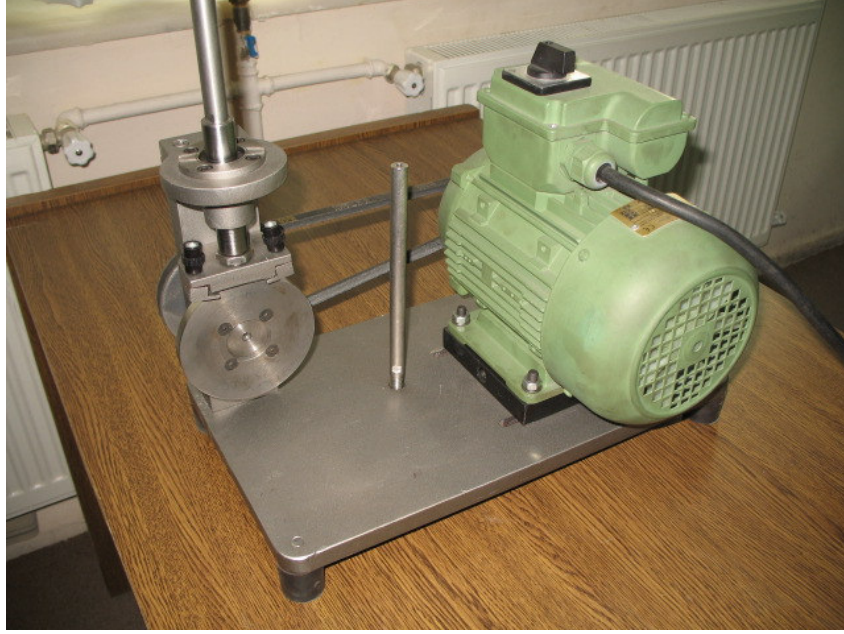


Resim 3.9 Kompozit malzemenin kenarlarının kesilmesinde kullanılan testere

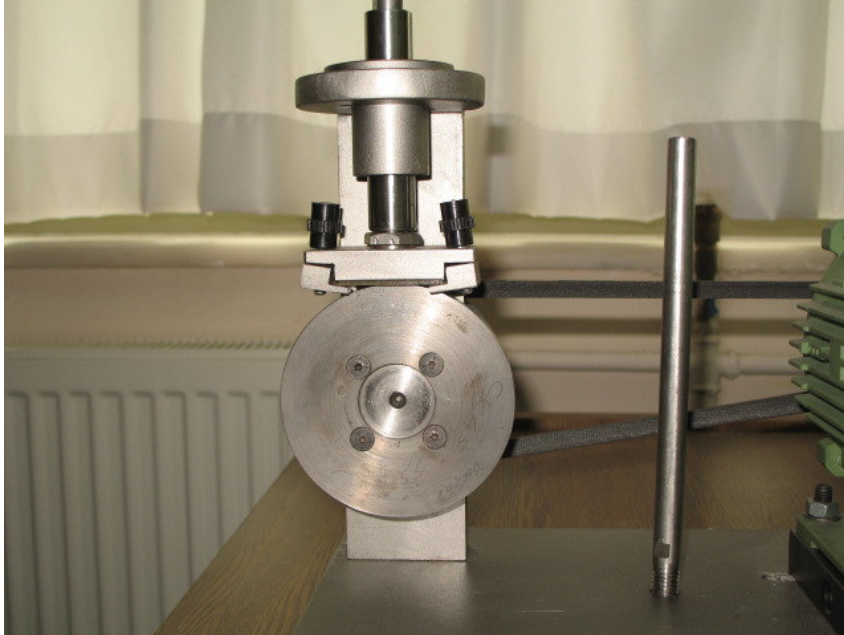




Aşınma deney cihazının genel görünüşü ve numunenin konulduğu yerin genel görünüşleri aşağıdaki Şekil 3.10 ile Şekil 3.11’de verilmiştir.



Resim 3.10 Aşınma deney cihazının genel görünüşü.



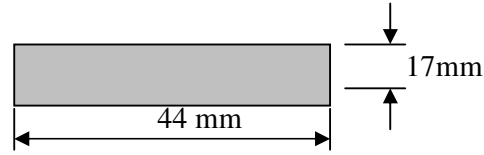
Resim 3.11 Numunenin ve aşındırma bileziğinin temas yerinin görünüşü

### 3.2.1 Aşınma Deneyi Numuneleri

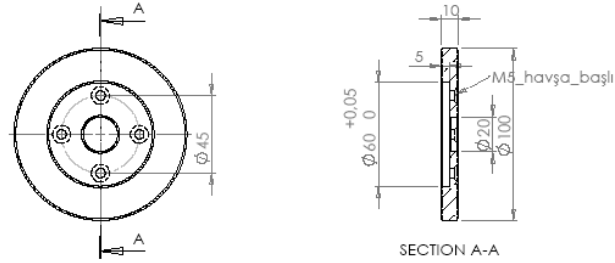
Aşınma deneyi numuneleri Şekil 3.2’de verilen boyutlarda testere ile kesilerek hazırlanmıştır. Numuneler 200 grid’ lik zımpara ile yan kenarları zımparalanmıştır. Sonra numune alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur.



a)



b)



c)

Şekil 3.2 a) Kullanılan numunenin görünüşü, b) Numune ölçüleri, c) Aşındırıcı bileziğin boyutları

Kullanılan aşındırma bileziğinin malzemesi SAE 8620’ dir. Aşındırma bileziği sementasyon işlemi yapılmıştır, 61 HRC yüzey sertliğine ve 0.2µm yüzey pürüzlülüğüne sahiptir.

Üretilen kompozit malzemelerin aşınma deneyleri 770 d/d devirde ve  $v = 3.23$  m/s çevre hızıyla yapılmıştır. Ağırlık olarak 10, 20, 30, 40 N ağırlıklar altında 5, 10, 15, 20 dakika süreler ile yapılmıştır. Her bir konfigürasyon için 3 ayrı ölçüm yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Numuneler aşınma deneyine tabi tutulmadan önce Şekil 3.12’de gösterilen 0.0001 hassasiyetli tartı aletinde ağırlıkları ölçülmüştür. Aşınma deneyine tabi tutulan numuneler alkol ile yüzeyleri temizlendikten ve kurutulduktan sonra tekrar hassas terazi ile ölçümleri yapılmış ve aşınma miktarları ağırlık olarak bulunmuştur.



Resim 3.12 Hassas terazinin genel görünüşü

#### 4. BULGULAR

Bu çalışmada aşınma deneyi sonucunda elde edilen ağırlık olarak aşınma miktarları aşağıdaki Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

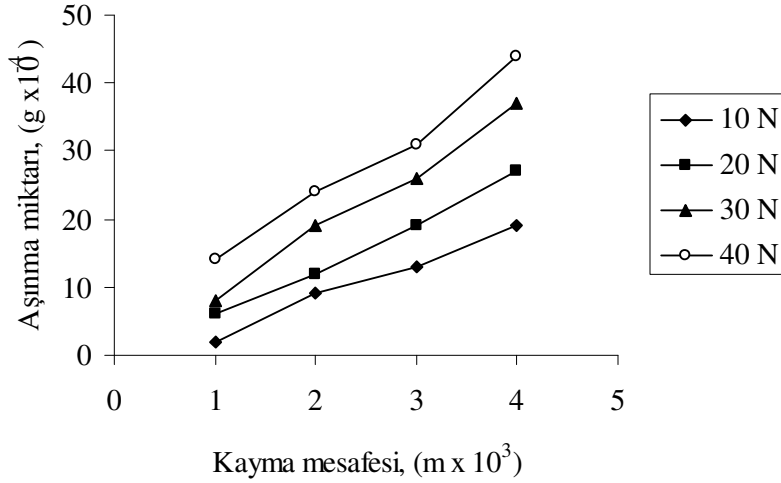
Çizelge 4.1 Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları

Yük	10 N				20 N				30 N				40 N			
Kayma mesafesi (m x 10 <sup>3</sup> )	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aşınma miktarı (g x 10 <sup>-4</sup> )	2	9	13	19	6	12	19	27	8	19	26	37	14	24	31	44

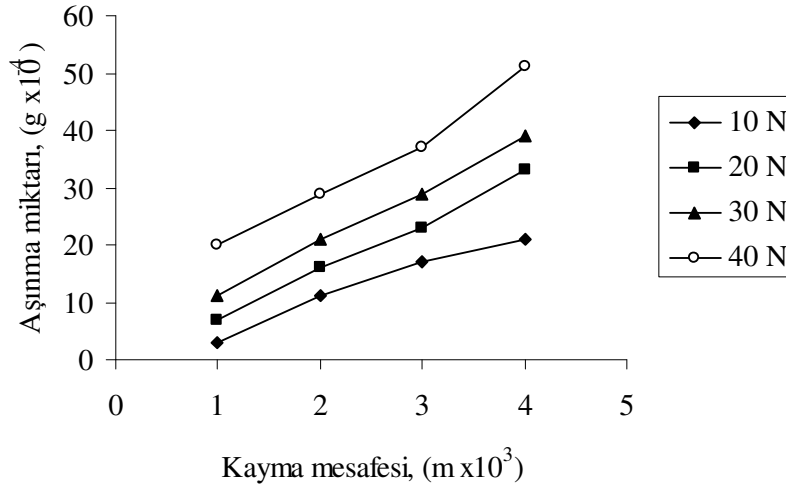
Çizelge 4.2 Örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları

Yük	10 N				20 N				30 N				40 N			
Kayma mesafesi (m x 10 <sup>3</sup> )	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aşınma miktarı (g x 10 <sup>-4</sup> )	3	11	17	21	7	16	23	33	11	21	29	39	20	29	37	51

Bu veriler altında dokuma ve örme cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin aşınma miktarlarının kayma mesafesi ile değişim grafikleri aşağıdaki Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi kayma mesafesinin ve uygulanan yükün artmasıyla kompozit malzemelerdeki aşınma kayıpları artmaktadır.



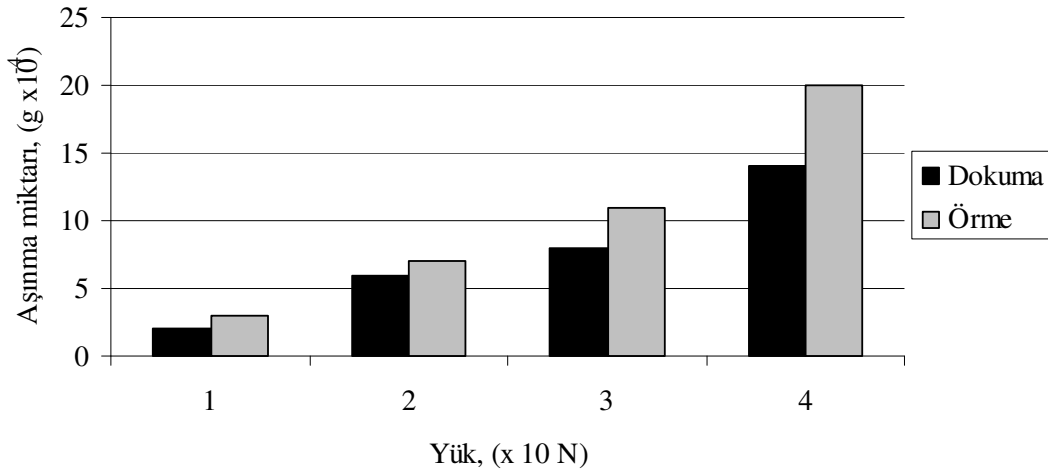
Şekil 4.1 Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları değişimleri



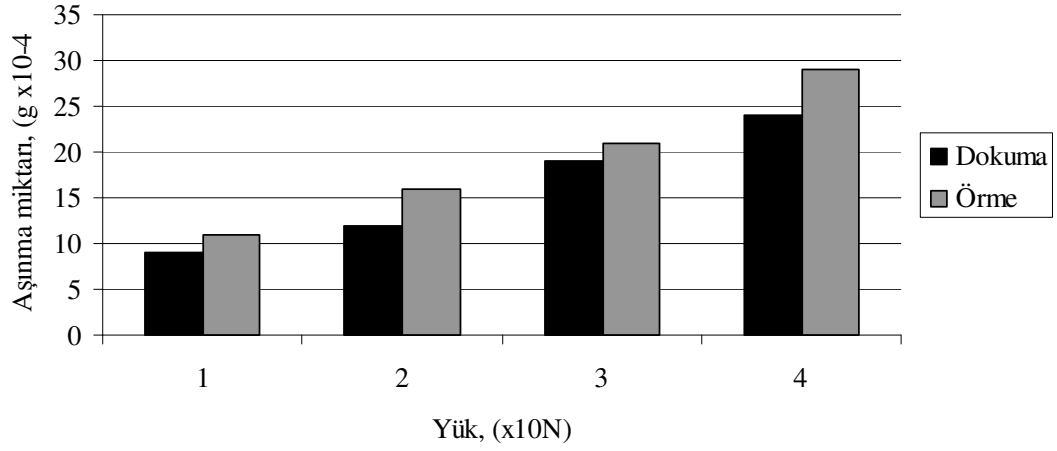
Şekil 4. 2 Örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma miktarları değişimi

Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin aşınma dayanımı ile örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma dayanımlarını karşılaştırmak için, aynı kayma mesafesinde uygulanan yüke bağlı olarak aşınma miktarlarındaki değişimler aşağıdaki Şekil 4.3-Şekil 4.6'larda verilmiştir.

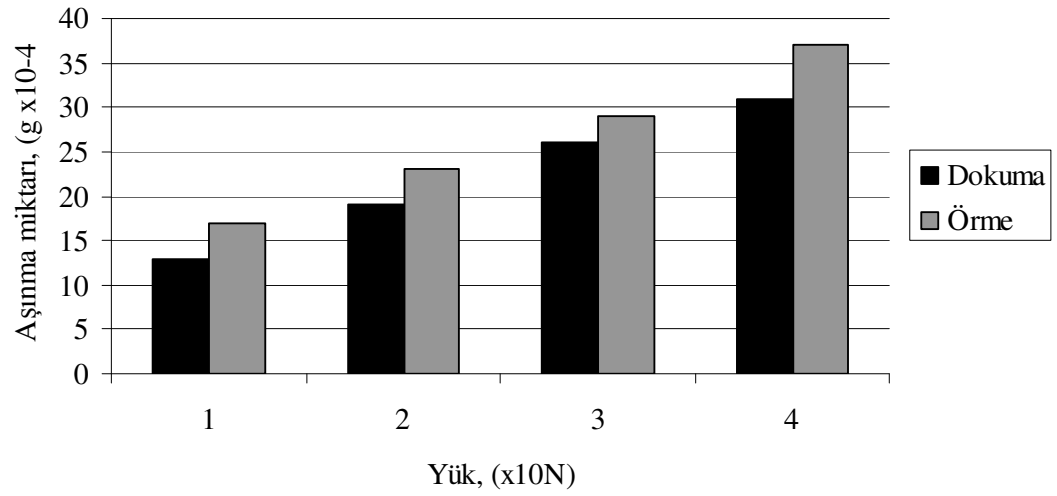
Şekillerden görüldüğü gibi, dokuma cam elyaf kumaş takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemenin aşınma performansı ile örme cam elyaf kumaş takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemenin aşınma performansı karşılaştırıldığında, dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin aynı uygulama yüklerinde ve kayma mesafelerinde aşınma dayanımının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni, örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemede yüzeyde elyaf oryantasyonunun dokuma şeklindeki kompozit malzemenin elyaf oryantasyonundan farklı olduğudur. Kompozit malzemelerin aşınma dayanımını elyafların matris malzeme içindeki oryantasyonu etkilemektedir (Chang 1983, Sung and Suh 1979).



Şekil 4.3 Numunelerin 1 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması

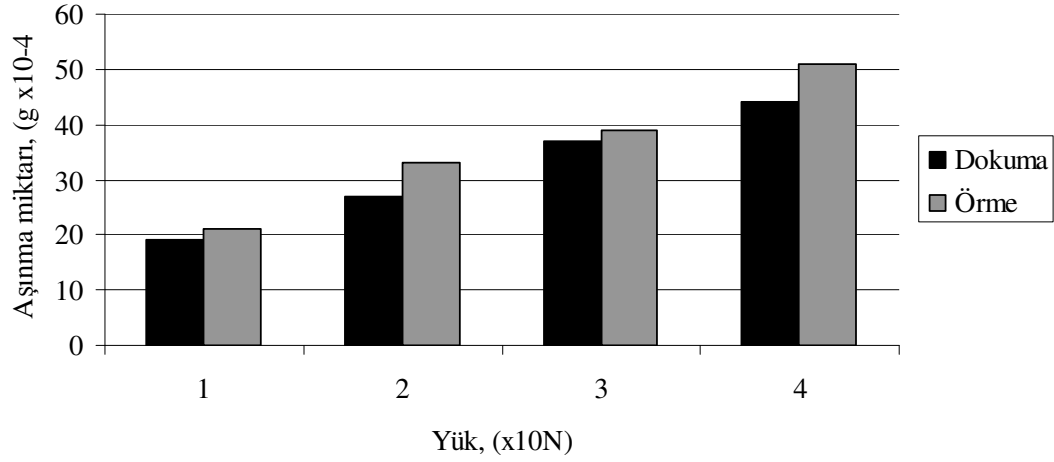


Şekil 4.4 Numunelerin 2 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4.5 Numunelerin 3 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması



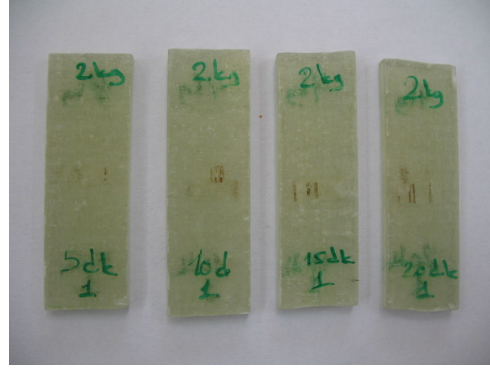


Şekil 4.6 Numunelerin 4 km kayma mesafesindeki aşınma miktarlarının karşılaştırılması

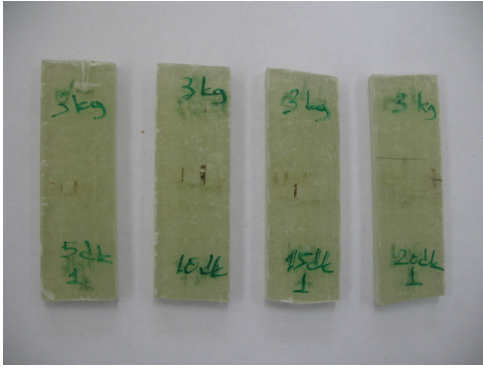
Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerden örnek olarak birer tanesinin resim olarak genel görünüşleri aşağıdaki Resim 4.1 ve Resim 4.2’de verilmiştir. Numunelerin aşınma deneyi sırasında, özellikle uygulama yüklerinin ve kayma mesafelerinin büyük olduğu durumlarda, hem aşındırıcı bilezikte hem de numunede sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak, numunelerin aşınan yüzeylerinde kahverengi şekilde aşınma atıkları (yanmış epoksi reçine) meydana gelmiştir. Kuru sürtünmeye maruz kalan sistemlerde bunların meydana gelmesi normaldir (Kishore vd. 2001, Pıhtılı and Tosun 2002).



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.1 Dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzeme numunelerinin aşınma deneyleri sonrası görünüşleri. (a) 10 N, (b) 20 N, (c) 30 N, (d) 40 N



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.2 Örne cam elyaf takviyeli kompozit malzeme numunelerinin aşınma deneyleri sonrası görünüşleri. (a) 10 N, (b) 20 N, (c) 30 N, (d) 40 N

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, kompozit malzemeler arasında yaygın olarak kullanılan cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin kuru sürtünme ortamında aşınma performansı araştırılmıştır. Kompozit malzemede takviye elemanı olan cam elyafı dokuma kumaş ve örme kumaş şeklinde kullanılmıştır. Değişik kayma mesafelerinde ve değişik uygulama yüklerinde blok-bilezik şeklindeki aşınma deney cihazında aşınma deneyleri yapılmıştır. Ağırlık olarak aşınma miktarları ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Uygulanan yükün artmasıyla her iki kompozit malzeme numunelerinde aşınma kayıp miktarları artmıştır. Aynı şekilde artan kayma mesafesi ile de numunelerde aşınma kayıp miktarları artmıştır.

2. Dokuma cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin aşınma performansı örme cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemenin aşınma performansından daha iyi olduğu belirlenmiştir.

3. Özellikle büyük uygulama yüklerinde ve büyük kayma mesafelerinde aşındırıcı bilezikte ve numunelerde sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Bu nedenle, numunelerin üzerinde yanmış şekilde epoksi kalıntıları oluşmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan yola çıkarak bundan sonra yapılacak çalışmalara aşağıdaki öneriler verilebilir.

1. Literatür araştırması kısmında belirtildiği gibi kompozit malzeme içindeki elyaf oryantasyonu aşınma dayanımını etkilemektedir (Chang 1983, Sung and Suh 1979). Bu çalışmada 300 gr/m<sup>2</sup>'lik dokuma cam elyafı kullanılmıştır. Elyaf yoğunluğunun değişmesi durumunda (200 gr/m<sup>2</sup> veya 500 gr/m<sup>2</sup> gibi) aynı ortamdaki aşınma performansının farklı elyaf yoğunluğuna sahip örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansına göre nasıl değiştiği bu çalışma ışığında yapılabilecek çalışmalardan birisi olabilir.

2. Değişik aşınma ortamlarında (sulu, abraziv, yüksek sıcaklık vb.) özellikle örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansları incelenebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler özellikle darbe dayanımının istenildiği yerlerde yaygın bir şekilde kullanılmalarına rağmen aşınma performansları üzerinde yeterince çalışma yoktur. Ayrıca, matris malzemesi epoksi reçineden farklı olan reçineler (polyester reçine gibi) dokuma cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ile örme cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin değişik aşınma ortamlarındaki aşınma performansları araştırılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Aran A., 1990, "Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler", İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- Can A.Ç., 2006, "Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Chang H.W., 1983, "Wear Characteristics of Composites: Effect of Fiber Orientation." *Wear*, 85, 81-91.
- Chung D.D.L., 1994, "Carbon Fiber Composites", Butterworth-Heinemann, Boston, USA.
- Datoo M. H., 1991, "Mechanics of Fibrous Composites." Elsevier, London, UK.
- El-Tayeb N.S. and Gadelrab R.M., 1996, "Friction and Wear Properties of E-Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites Under Different Sliding Contact Conditions. *Wear*, 1192, 112-117.
- El-Tayeb N.S.M., Yousif B.F. and Yap T.C., 2008, "An Investigation on Worn surfaces of Chopped Glass fibre Reinforced Polyester Through SEM Observations." *Tribology International*, 41, 331-340.
- Gay D., Hoa S. V. and Tsai S. W. 2003, "Composite Materials Design and Applications.", CRC Pres. USA
- Jones R. M., 1999, "Mechanics of Composite Materials." Taylor & Francis, Philadelphia, USA.
- Kishore, Samapthkumaran P., Seetharamu S., Murali A., and Kumar R.K., 1999, "Dry Sliding Wear Behavior of Glass-Epoxy Composite." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 18, No 01, p. 55-62.

- Kishore, Sampathkumaran P., Seetharamu S., Murali A. ve Kumar R.K. 2001, "On the SEM Features of Glass-Epoxy Composite System Subjected to Dry Sliding Wear." *Wear*, 241, 208-213.
- Kollar L. P., Springer G. S., 2003, "Mechanics of Composite Structures." Cambridge University Pres, UK.
- Larsen T., Andersen T.L., Thorning B., Vigild M. E., 2008, "The Effect of Particle Addition and Fibrous Reinforcement on Epoxy-Matrix Composite for Severe Sliding Conditions." *Wear*, 264, 857-868.
- Mallick P.K., 1993, "Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design." Second Edition. Marcel Dekker, New York, USA.
- Mazumdar S.K. 2002, "Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering." CRC Press.
- Pihlilä H. and Tosun N. 2002, "Investigation of the Wear Behaviour of a Glass Fibre-Reinforced Composite and Plain Polyester Resin." *Composite Science and Technology* 62, 367-370.
- Pihlilä H. and Tosun N. 2002, "Effect of Load and Speed on the Wear Behaviour of Woven Glass Fabrics and Aramid Fibre-Reinforced Composites." *Wear*, 252, 979-984.
- Ramesh R., Kishore, Rao R.M.V.G.K. 1983, "Dry Wear Studies on Glass-Fibre-Reinforced Epoxy Composites." *Wear*, 89, 131-136.
- Schwartz M.M. 1984, "Composite Materials Handbook" McGraw-Hill, New York
- Srivastava V.K., Pathak J.P. and Tahzibi K. 1992 "Wear and Friction Characteristics of Mica-Filled Fibre-Reinforced Epoxy Resin Composites." *Wear*, 152, 343-350.

- Staab G.H., 1999, "Laminar Composites." Butterworth Heinemann. Boston, USA.
- Sumer M., Unal H. and Mimaroglu A., 2008, "Evaluation of Tribological Behaviour of PEEK Composite Under Dry Sliding and Water lubricated Conditions." *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2008.02.008.
- Sung N. H. and Suh. N.P.,1979, "Effect of Fiber Orientation on Friction and Wear of Fiber Reinforced Polymeric Composites." *Wear*, 53, 129-141.
- Suresha B., Chandramohan G., Siddaramaiah, Samapthkumaran P. and Seetharamu S., and Vynatheya S., 2006, "Friction and Wear Characteristics of Carbon-epoxy and glass-epoxy Woven Roving Fiber Composites." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 25, No 7, p. 771-782.
- Suresha B., Chandramohan G., Samapthkumaran P. and Seetharamu S., 2007, "Investigation of the Friction and Wear Behavior of Glass-epoxy Composite With and Without Graphite Filler." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 26, No 1, p. 81-93.
- Suresha B., Chandramohan G., Siddaramaiah, Samapthkumaran P. and Seetharamu S., 2007, "Three-body Abrasive Wear Behaviour of Carbon and Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites", *Material Science and Engineering A*, 443, 285-291.
- Suresha B., Chandramohan G., Rao P.R. Sadanando, Samapthkumaran P. and Seetharamu S., 2007, "Influence of SiC Filler on Mechanical and Tribological Behavior of Glass Fabric Reinforced Epoxy Composite Systems", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 26, No 6, 565-578.
- Şahin Y., 2006, "Kompozit Malzemelere Giriş", Seçkin Yayıncılık, Ankara.



Vishwanath B., Verma A.P. and Kameswara Rao C.V.S. 1991, "Effect of Fabric Geometry on Friction and Wear of Glass-Fibre-Reinforced Composites." *Wear*, 145, 315-327.

İnternet Kaynakları

1. <http://www.turkcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html> , 01.05.2008

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Dilek Asi
Doğum Yeri	Sivas
Doğum Tarihi	16.10.1979
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dili	İngilizce
	Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise	Bursa Yıldırım Beyazıd Lisesi, 1996
Lisans	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Yüksek Lisans	-

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

ÇAĞDAŞ Makine A.Ş. (Denizli), 2001-2002

Ergün Isı 2006-2007

Taner Isı 2007-2008

### Yayınları (SCI ve diğer)

Osman Asi, Dilek Asi, "Sementasyon Yapılan SAE 8620 Çeliğinde Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin İncelenmesi" G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16(4):725-732, 2003

Diğer konular