

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ATIKLARINDAN OLUŞTURULAN KOMPOZİTLERİN  
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Nebahat ARAL**

**Anabilim Dalı : Tekstil Mühendisliği**

**Programı : Tekstil Mühendisliği**

**HAZİRAN 2009**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ATIKLARINDAN OLUŞTURULAN KOMPOZİTLERİN  
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Nebahat ARAL  
(503061805)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Nisan 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer Berk BERKALP (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nuray UÇAR (İTÜ)  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAKKAL (İTÜ)**

**HAZİRAN 2009**



## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın, planlanmasından sonuçlanmasına kadar ki tüm sürecinde değerli bilgilerini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Doç.Dr. Ömer Berk BERKALP'e; değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Mustafa BAKKAL ve Doç.Dr. Telem GÖK SADIKOĞLU'na; çalışma arkadaşlarım Serhan GERİKALMAZ, Safa BODUR ve Cihan KARAKAŞLIOĞLU'na; tez yazım sürecinde değerli bilgilerini benimle paylaşan Oğuzhan KURUMAHMUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşamım boyunca beni destekleyen sevgili annem İkbâl ARAL ve ağabeyim Bahadır ARAL'a; manevi varlığını her daim yanımda hissettiğim babam merhum Müjdat ARAL'a; tezin her aşamasında varlığıyla bana güç ve moral veren Birkan YILMAZ'a ve her zaman yanımda olan diğer aile fertlerine ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2009

Nebahat ARAL  
Tekstil Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ATIKLAR VE TEKSTİL .....</b>	<b>3</b>
2.1 Atık.....	3
2.1.1 Katı atık.....	4
2.2 Tekstil.....	8
2.2.1 Tekstil endüstrisinin ana bölümleri.....	9
2.2.1.1 Kumaş üretimi.....	9
2.2.2 Tekstil atıklarının tanımı.....	11
2.2.2.1 Tüketici öncesi tekstil atıkları.....	12
2.2.2.2 Tüketici sonrası tekstil atıkları.....	15
<b>3. KOMPOZİT MALZEMELER.....</b>	<b>17</b>
3.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri.....	18
3.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	20
3.2.1 Takviye malzemesine göre.....	20
3.2.1.1 Pamuk lifleri.....	20
3.2.1.2 Polietilen tereftalat lifleri.....	22
3.2.2 Matris malzemesine göre.....	23
3.2.2.1 Polimer matrisler.....	23
<b>4. LİTERATÜR.....</b>	<b>35</b>
4.1 Doğal Lif Takviyeli ve Biobozunabilir Kompozit Malzemeler.....	35
4.2 Atık Malzemelerden Kompozit Üretimi.....	41
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>45</b>
5.1 Amaç .....	45
5.2 Malzeme .....	46
5.2.1 Takviye malzemeleri.....	46
5.2.2 Matris malzemesi.....	48
5.3 Yöntem .....	49
5.4 Deneyler .....	53
5.4.1 Tek eksenli çekme deneyi.....	53
5.4.2 Charpy darbe deneyi.....	54
<b>6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>57</b>
6.1 Plaka Benzerliklerinin İstatistiksel Analizi.....	58
6.1.1 Sürekli pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması.....	59
6.1.2 Sürekli polyester kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması.....	60
6.1.3 Kırpıntı pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması.....	60

6.1.4 Kırpıntı polyester kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması .....	61
6.2 Takviye Hammaddesinin Etkisi .....	62
6.2.1 Sürekli pamuklu ile sürekli polyester kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması.....	62
6.2.2 Kırpıntı pamuklu ile kırpıntı polyester kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması.....	64
6.3 Kumaş Boyut ve Oryantasyonunun Etkisi .....	64
6.3.1 Sürekli pamuklu ile kırpıntı pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması.....	65
6.3.2 Sürekli polyester ile kırpıntı polyester kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması.....	68
6.3.3 Boyut etkisinin kontrollü incelenmesi.....	70
<b>7. TARTIŞMA .....</b>	<b>75</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>



## **KISALTMALAR**

<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope
<b>K.K.O.</b>	: Kapasite Kullanım Oranı
<b>RTM</b>	: Resin Transfer Molding
<b>SPSS</b>	: Statistical Package for the Social Sciences
<b>PET</b>	: Polietilen teraftalat



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1	: Türkiye’de kumaş üretim miktarları.....	10
Çizelge 2.2	: Sanayi grubuna göre yaratılan endüstriyel katı atık miktarı .....	14
Çizelge 5.1	: Kullanılan takviye malzemelerinin çeşitli özellikleri.....	46
Çizelge 5.2	: Kullanılan takviye malzemelerinin çekme deneyi sonuçları.....	48
Çizelge 5.3	: Sıvı reçinenin özellikleri .....	48
Çizelge 5.4	: Doymamış polyester plakanın çekme ve darbe deneyi sonuçları.....	49
Çizelge 6.1	: Üretilen kompozit plakaların özellikleri.....	58
Çizelge 6.2	: C-S kompozit plakaların darbe deneyi sonuçları .....	59
Çizelge 6.3	: C-S plakalarından elde edilen p değerleri .....	59
Çizelge 6.4	: P-S-22 kompozit plakaların darbe deneyi sonuçları.....	60
Çizelge 6.5	: P-S-22 plakalarından elde edilen p değerleri .....	60
Çizelge 6.6	: C-K plakaların darbe deneyi sonuçları .....	61
Çizelge 6.7	: C-K plakalarından elde edilen p değerleri.....	61
Çizelge 6.8	: P-K kompozit plakaların darbe deneyi sonuçları .....	61
Çizelge 6.9	: P-K plakalarından elde edilen p değeri .....	61
Çizelge 6.10	: P-S-22 ve C-S plakalarının darbe deneyi sonuçları.....	62
Çizelge 6.11	: P-S-22 ve C-S plakalarının çekme deneyi sonuçları.....	63
Çizelge 6.12	: P-K ve C-K plakalarının darbe deneyi sonuçları.....	64
Çizelge 6.13	: P-K ve C-K plakalarının çekme deneyi sonuçları .....	64
Çizelge 6.14	: C-S ve C-K plakalarının darbe deneyi sonuçları.....	65
Çizelge 6.15	: C-S ve C-K plakalarının çekme deneyi sonuçları .....	67
Çizelge 6.16	: P-S-22 ve P-K plakalarının darbe deneyi sonuçları .....	69
Çizelge 6.17	: P-S-22 ve P-K plakalarının çekme deneyi sonuçları.....	69
Çizelge 6.18	: Üretim parametreleri .....	70
Çizelge 6.19	: Boyut etkisi çalışmasında üretilen plakaların darbe değerleri.....	72



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	: Atık akış şeması .....	6
Şekil 2.2	: Tüketici öncesi tekstil atıklarının sınıflandırılması .....	12
Şekil 2.3	: Tüketici sonrası tekstil atıklarının sınıflandırılması .....	15
Şekil 3.1	: Lif takviyeli kompozit malzemenin bileşimi .....	17
Şekil 3.2	: Sürekli ve kesikli liflerden oluşan kompozitler .....	18
Şekil 3.3	: Pamuk liflerinin $\sigma$ - $\epsilon$ eğrisi .....	21
Şekil 3.4	: Doymamış polyeşterin sentezi .....	28
Şekil 3.5	: Kürleşmemiş polyeşter zincirinin şematik gösterimi .....	29
Şekil 3.6	: Kürleşmiş polyeşter zincirinin şematik gösterimi .....	29
Şekil 3.7	: Doymamış polyeşter zincirleri a) Kürleşmemiş b) Kürleşmiş .....	29
Şekil 3.8	: İzofalik reçinenin kimyasal yapısı .....	31
Şekil 3.9	: Vinil ester reçinenin kimyasal yapısı .....	32
Şekil 3.10	: Kürleşmemiş vinil esterin şematik gösterimi .....	32
Şekil 3.11	: Kürleşmiş vinil esterin şematik gösterimi .....	33
Şekil 5.1	: Pamuklu kumaş görüntüsü (x20 büyütme).....	47
Şekil 5.2	: PET - OR polyeşter kumaş görüntüsü (x20 büyütme) .....	47
Şekil 5.3	: PET – VN polyeşter kumaş görüntüsü (x20 büyütme) .....	47
Şekil 5.4	: Kalıbın üç boyutlu görünümü .....	49
Şekil 5.5	: Kumaşların hazırlanması ve kalıbın vazelinlenme işlemleri.....	50
Şekil 5.6	: Reçinenin hazırlanması .....	50
Şekil 5.7	: Kumaşın reçine ile ıslatılması .....	51
Şekil 5.8	: Reçineyle ıslatılmış sürekli kumaşların kalıba serim işlemi .....	51
Şekil 5.9	: Kalıbın kapatılması .....	52
Şekil 5.10	: Kalıbın prese yerleştirilmesi.....	52
Şekil 5.11	: Ön kürleşmesi tamamlanmış kompozitin kalıptan çıkarılma işlemi .....	53
Şekil 5.12	: ASTM D3039 standart çekme deney numunesi boyutları .....	54
Şekil 5.13	: Shimadzu AG-IS çekme deney cihazı.....	54
Şekil 5.14	: Charpy deney cihazı .....	55
Şekil 6.1	: C-K plakalarının kesit görünümü .....	65
Şekil 6.2	: C-K darbe deney numunelerinin kırılma yüzeyleri.....	66
Şekil 6.3	: C-S ve C-K plakalarının darbe dayanım değerlerinin karşılaştırılması .	67
Şekil 6.4	: C-S ve C-K plakalarının çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması	68
Şekil 6.5	: Kompozitin darbe dayanımının takviye boyutuyla ilişkisi.....	72
Şekil 6.6	: Kompozitin darbe dayanımının takviye ağırlık oranıyla ilişkisi .....	73
Şekil 6.7	: Kırılma yüzeyinin SEM analizi (2cm x 3cm, % 20) .....	74
Şekil 6.8	: Kırılma yüzeyinin SEM analizi (2cm x 3cm, % 20) .....	74
Şekil 6.9	: Kırılma yüzeyinin SEM analizi (2cm x 6cm, % 20) .....	74
Şekil 6.10	: Kırılma yüzeyinin SEM analizi (2cm x 6cm, % 20).....	74



# TEKSTİL ATIKLARINDAN OLUŞTURULAN KOMPOZİTLERİN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Gelişen sanayinin getirdiği büyük miktardaki katı atıkların uzaklaştırılması ve/veya değerlendirilmesi sorunu, çevre bilincinin arttığı günümüzde daha çok önem kazanmıştır. Özellikle Türkiye'nin lokomotif sektörü olan tekstil sektöründe oluşan, geri dönüşümü gerçekleştirilemeyen katı tekstil malzemeleri (parça dokuma, örme ve dokunmamış (nonwoven) kumaşlar, lif, telef vb.) atıkları bu sorununun önemli bir kaynağıdır. Yılda sadece imalathanelerden yaklaşık 7500 ton katı tekstil atığı çıkmakta ve bu rakam tüketicilerin tekstil atıklarıyla birleştiğinde çevresel dengenin sürekliliği açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu döküntü maddelerden özellikle sentetik lif esaslı olanları başta olmak üzere büyük bölümü geri dönüşümünün zorluğundan dolayı çöpe atılmakta veya yakılmaktadır. Bu tekstil atıklarının en uygun şekilde tekrar kullanımı veya değerlendirilmesi çalışmaları da yapılmaktadır. Ancak bunların pek çoğu ekonomik değeri olmayan veya çok az olan, yol dolgu maddesi, temizlik bezi, üstüğü gibi uygulamalar olmaktadır.

Bu çalışma, tekstil atıklarının geri dönüşümü için alternatif bir yöntem oluşturma amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada atık dokuma kumaşlar, plastiklerin takviyelendirilmesinde kullanılarak kompozit yapılar oluşturulması sağlanmıştır. Bu sayede, hem tekstil atıklarının değerlendirilmesi hem de plastik malzemelerin performans özelliklerini artırılması hedeflenmiştir.

Ev tekstili üretimi yapan bir fabrikadan alınan %100 pamuklu ve %100 polyester (PET) dokuma kumaş atıkları takviye malzemesi, doymamış polyester reçine ise matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen bazı plakalarda kumaşlar tabakalar halinde sürekli olarak serilirken, bazılarında küçük boyutlu kumaşlar gelişigüzel olarak serilmiştir. Kompozit plakaların oluşturulması baskı kalıplama yöntemi ile yapılmıştır.

Çalışmada, belli özelliklere sahip bir kompozit plakanın benzer şartlarda tekrarlı olarak üretilebilirliği, takviye hammaddesinin, kumaşların boyut ve oryantasyonunun ve takviye ağırlık oranının kompozit performansı üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Üretilen malzemelere çekme ve darbe deneyleri uygulanmıştır.

Öncelikle aynı şartlarda ve aynı üretim parametreleri kullanılarak üretilen plakaların benzerlikleri istatistiksel analizler yapılarak incelenmiştir ve belirlenen güven aralığında istatistiksel olarak benzerlikleri doğrulanan numuneler aynı grupta ele alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda aynı kumaş ve üretim parametreleri kullanılarak üretilen sürekli ve süreksiz (küçük parçalı) kumaş takviyeli kompozitlerin çekme ve darbe değerleri incelendiğinde, her iki grup numunenin de saf reçineye nazaran darbe dayanımlarında gelişmeler gözlenmiştir. Çekme dayanım değerlerine bakıldığında ise sürekli kumaş takviyelerde yükseliş gözlenirken, süreksizlerde düşüşler gözlenmiştir. Takviye malzemesinin etkisine bakıldığında ise, polyester kumaş takviyeli numuneler, pamuklu kumaş takviyeli numunelerden hem darbe hem de çekme değerleri olarak daha yüksek değerler göstermiştir.

Bir sonraki aşamada, süreksiz kumaşların boyutlarının darbe dayanımı üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmış ve bu çalışmadan en büyük boyutlara sahip (2 cm x 6 cm) parçalardan en yüksek değerlerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Takviye ağırlık oranlarına bakıldığında ise %20, %30 ve %40'lık takviye ağırlık oranları arasında en yüksek değerler %40'da elde edildiği görülmüştür.



# **INVESTIGATION OF PERFORMANCE PROPERTIES OF COMPOSITES REINFORCED WITH TEXTILE WASTES**

## **SUMMARY**

Over the past few decades, the problem of reducing and/or recycling the big amount of solid waste caused by the different sectors of developed industry has gained more importance all over the world. Especially in Turkey, the solid waste materials of textile industry (such as woven, knitted, nonwoven fabrics, fibers, yarns etc) have been one of the main sources of this solid waste problem. Whereas the textile waste created in different stages of the production is dependent on some factors, the waste created only by the manufacturers is approximately 7500 tons per year, which is a great deal due to its ecological consequences if the used clothing waste is also taken into consideration. As their recycling process is thought to be difficult, a big amount of this solid waste, especially synthetic ones, end up in landfills or are burned away. Additionally, there have been some works, which focus on reusing or utilizing this textile solid waste efficiently. However, most of these applications are done to obtain insignificant materials, to produce materials such as road fillers, rugs and oakum.

The aim of this study, is to develop a new method for textile waste recycling. In this study waste woven fabrics were utilized as reinforcement in plastics for manufacturing composite structures. Thus, both textile waste recycling and improvement in properties of plastics were aimed.

100% cotton and 100% polyester (PET) waste woven fabrics were provided from a home textile manufacturer company as the reinforcement materials and unsaturated polyester resin were used as the matrix material. In certain composite plates, fabrics were laid out continuously in layers and in certain plates small pieced fabrics were laid out randomly. The press molding was chosen as the composite manufacturing method.

In this study, the statistical similarity of composite plates manufactured by using same production parameters, the effect of material type of reinforcement, the relation between fabric dimensions, orientation and fabric weight ratio and the composite performance were aimed to investigated.

Firstly, the statistical analyses of composite plates manufactured under same conditions and production parameters were carried out. By verifying the similarity in defined confidence interval, the specimens were accepted in same group.

According to the test results, the impact strength of both continuous and discontinuous fabric reinforced composites, were improved compared to the pure resin. In addition, the tensile strength of continuous fabric reinforced composites were improved, but slightly decrement was investigated in discontinuous ones. Also higher values were obtained from polyester fabric reinforced composites than cotton reinforced ones, both in tensile and impact testing.

In next stage, the dimensional effect of discontinuous fabrics in impact strength and the highest values were obtained from composites reinforced with largest (2 cm x 6 cm) fabric pieces. Besides, between the fabric weight ratios 20%, 30% and 40%, the highest values were obtained from 40%.

## 1. GİRİŞ

Modern kompozit endüstrisinin başlangıcı, cam elyafın dünya piyasasına 1937 yılında çıkışıyla gerçekleşmiştir. Kompozit malzemelerin gelişimi ve yaygınlaşması ise İkinci Dünya Savaşı döneminde askeri çalışmalarla hız kazanmış, 1970'li yıllarda ise Kevlar ve yüksek molekül ağırlıklı polietilen gibi yüksek performanslı liflerin kullanımına başlanmasıyla kompozitlerin malzeme endüstrinde en tepe noktalara ulaşması sağlanmıştır.

Son yüzyılda ortaya çıkan bu gelişmeler kompozit malzemelerin oldukça büyük bir pazar payına sahip olmasını sağlamıştır. Mevcut olan ürünlerin yanı sıra, konuyla ilgili çok farklı alanlarda yürütülmekte olan araştırmalar sonucu her geçen gün yeni kompozit malzemeler piyasada yerini almaktadır.

Kompozit malzemeler alanındaki güncel araştırma kollarından biri de atık malzemelerin kullanımı ve geri kazanımdır. Atık malzemelerin kullanımıyla oluşturulan farklı formlardaki yeni malzemeler hem çevresel, hem de ekonomik açıdan birçok yarar sağlamaktadır. Halen Türkiye sanayisinde önemli bir paya sahip olan tekstil endüstrisi atıklarının kompozit malzeme üretiminde kullanımı fikri de bu çevresel ve ekonomik kaygıları içermektedir. Günümüzde tekstil sanayi atığı olarak nitelendirilen lif, iplik ve kumaş atıklarının bir bölümü atık borsalarında ticari değer kazanıp farklı işlem basamaklarından geçerek yeni ürün olarak tekrar tüketime sunulabilirken, bir bölümü de çeşitli yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Bu kapsamda tekstil atıklarının takviye olarak kullanıldığı kompozit malzemelerin tasarımı, atıkların değerlendirilmesi adına alternatif bir yöntem olma özelliği taşımaktadır.

Tekstil atıklarıyla takviyelendirilen plastiklerin mekanik özelliklerindeki gelişmeler, düşük maliyetinin yanı sıra geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip yeni ürünlerin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede çeşitli alanlarda kullanılan plastik malzemelere alternatif olabilecek ürünlerin tasarlanması hedeflenmektedir.

Bu çalışma, günlük hayatta kullandığımız perde, nevresim gibi ev tekstili ürünlerinin imalatı aşamasında, üretimden ayrılan ve atık olarak nitelendirilen ticari değeri düşük

kumaş parçalarının tekrar bir ürün içerisinde kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Kumaş parçaları, uygun polimer reçinelerle çeşitli yöntemler kullanılarak birleştirilmekte ve polimerik kompozit malzemeler oluşturulabilmektedir. Bu şekilde oluşturulan kompozit malzemeler genel olarak takviyelendirilmemiş plastiğe nazaran daha tok olmakta ve darbe emicilik özelliği daha yüksek olmaktadır.

Sonuç olarak ticari değeri düşük olan ve genellikle bertaraf yöntemiyle çevresel ve ekonomik yükü azaltılmaya çalışılan tekstil atıkları, başka bir malzeme ile birleştirilerek; o malzemenin bazı özelliklerinin gelişmesini sağlayabilmektedir. Bu durum çevresel olarak önemli bir yükün ortadan kalkmasını sağlarken aynı zamanda ortaya çıkan yeni ürünün, özelliklerine uygun bir kullanım alanının bulunmasıyla ekonomik açıdan kayda değer bir kazanç da sağlanabileceği düşünülmektedir.

## **2. ATIKLAR VE TEKSTİL**

Günümüzde üretim ve tüketim zinciri içerisinde ortaya çıkan atık malzemelerin çevresel sorunlara yol açmaması ve ekonomik geri dönüşler sağlayabilmesi için sistemli olarak kontrol edilmesi ve yönetimi gerekmektedir. Bunlar için çeşitli bertaraf yöntemleri bulunduğu gibi, değersiz sayılan atığın tekrar üretime katılması veya çeşitli ürünler içerisinde değerlendirilmesi adına çeşitli çalışmalar da yapılmaktadır.

Tekstil endüstrisi, halen ülkemizin lokomotif sektörlerinden biri olma niteliğini taşımaktadır ve ortaya çıkan endüstriyel tekstil atıkları göz ardı edilemeyecek miktarlardadır. Çevresel sorunları en aza indirmek ve ekonomik rekabetin arttığı günümüzde mevcut ürünlerden en yüksek değeri elde edebilmek adına atıkların yönetimi ve değerlendirebilme işlemleri büyük önem kazanmaktadır.

### **2.1 Atık**

Atık, üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı olan her türlü maddedir. Başka bir tanımda atık, insan faaliyeti sonunda ortaya çıkan ve üretenin işine yaramayan her türlü maddedir şeklinde ifade edilmektedir. Atıklar, üretici tarafından doğrudan bir yararı olmaması sebebiyle değersiz görülmeleri ve bulunduğu ortamda yer işgal etmeleri sebebiyle uzaklaştırılmak istenmektedir. Uzaklaştırma işinin kontrolsüz gerçekleşmesi ise atığın ekonomik değerini tamamen kaybetmesine ve önemli bir çevre sorunu haline dönüşmesine sebep olmaktadır.

Endüstri ve teknoloji alanında meydana gelen hızlı gelişmeler, insanların yaşam düzeylerindeki yükselme, hızlı nüfus artışı ve kentleşme gibi değişkenler atık oluşum miktarlarını da arttırmaktadır. Yüksek miktardaki atık ve bunların kontrolsüz bertaraf edilmesi tüm canlıları tehdit edecek boyutlara varan hava, su ve toprak kirlenmesine neden olmaktadır.

Türkiye’de 1960’lı yıllarda üretilen toplam katı atık miktarı yılda 3-4 milyon ton iken, bugün sadece evsel katı atık miktarı 25 milyon ton/yıl’dır. Dolayısı ile çöp, artık sadece gözden uzak bir yerde bertaraf edilmesi gereken bir atık türü olmaktan çok toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf gibi birçok farklı unsuru içine alan bir yönetim sistemini gerekli kılmaktadır. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak “Atık Yönetimi” terimi günlük lisanımıza yerleşmiş ve daha yeni bir terim olan “Entegre Atık Yönetimi” tanımı da kullanılmaya başlanmıştır[1].

Atıklar maddesel formlarına göre katı atıklar, sıvı atıklar ve gaz atıklar olmak üzere üçe ayrılmaktadır ve sahip oldukları fiziksel özellikleri nedeniyle atık yönetim biçimleri farklılık göstermektedir.

### **2.1.1 Katı atık**

Sahibinin istemediği ancak ekonomik değeri olan ve toplumun menfaati gereği toplanıp fen ve sanat kurallarına, bilimsel esaslara, mühendislik prensiplerine göre bertaraf edilmesi gereken katı şeylere katı atık denir[2]. Katı atık yönetimi ise, atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimidir.

Türkiye’de Çevre Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan bir “Katı Atık Yönetmeliği” bulunmaktadır. Bu yönetmeliğin amacı; her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesidir[2].

Bu yönetmelikte bahsi geçen bazı tanımlar şu şekildedir:

**Katı atık:** Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurunu ( iri katı atık, evsel katı atık, bu yönetmelikte "katı atık" olarak anılmaktadır.)

Üretici: Faaliyetleri süresince atık oluşmasına sebep olan kişi veya kuruluşlar

Tekrar kullanım: (Ek tanım: 02/11/1994 - 22099 sayılı R.G. Yön.) Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasını,

Geri dönüşüm: (Değişik tanım: 25/04/2002 - 24736 S. R.G. Yön./1. md.) Atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak, orijinal amaçlı ya da enerji geri kazanımı hariç olmak üzere, organik geri dönüşüm dâhil diğer amaçlar için yeniden işlenmesini,

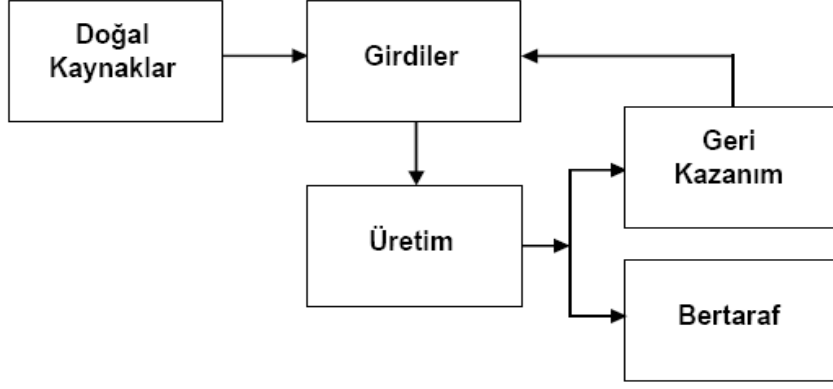
Geri kazanım: (Ek tanım: 02/11/1994 - 22099 sayılı R. G. yön.) Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesini,

Bertaraf etme: Katı atıkların; konut, işyeri gibi üretildikleri yerlerde geçici olarak biriktirilmesi, bu yerlerden toplanması, taşınması, geri kazanılması gibi işlemlerden sonra, çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hale getirilmesi ve ekonomiye katkı sağlanması amacıyla kompostlaştırma, enerji kazanmak üzere yakma ve/veya düzenli depolama işlemlerinin tümünü,

Maddesel geri kazanma: Katı atık içindeki kâğıt, plastik, cam gibi yeniden değerlendirilebilir nitelikteki maddelerin herhangi bir kimyasal ve biyolojik işleme tabi tutulmadan ekonomiye tekrar kazandırılması işlemini,

Değerlendirilebilir katı atık: Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atıklar içerisinde bulunan, fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ekonomiye kazandırılması mümkün olan atıkları (kâğıt, karton, plastik, metal, cam, termoplastik madde ihtiva eden karton esaslı kutu ve benzeri)

Katı atık yönetmeliğine göre katı atık üreten kişi ve kuruluşlar, en az katı atık üreten teknolojiyi seçmekle, mevcut üretimdeki katı atık miktarını azaltmakla, katı atık içinde zararlı madde bulundurmamakla, katı atıkların değerlendirilmesi ve maddesel geri kazanma konusunda yapılan çalışmalara katılmakla yükümlüdür [2].



**Şekil 2.1 : Atık akış şeması**

Katı atık yönetimini üç ana basamakta ise şu şekilde toplanılabilmektedir:

- 1) Atıkların azaltılması
- 2) Atıkların kullanımı ve geri kazanımı
- 3) Atığın bertarafı

**1) Atıkların azaltılması:** Atık yönetiminde ilk adım atığın üretimi aşamasında alınacak çeşitli tedbirlerle azaltılmasıdır. Özellikle endüstri atıklarında üretim sistemleri, makine ve üretim teknolojileri, makine ayarları vb. unsurlarda yapılacak atık azaltma odaklı değişiklikler ve yeniliklerle atıkların en alt seviyeye indirgenmesi açısından önemli bir çalışmadır.

Atık azaltma işlemi için bilgilendirme, bilinçlendirme, planlama ve yönetim, teknolojinin yeterli ve doğru kullanımı gibi unsurlar büyük önem taşımaktadır.

**2) Atıkların kullanımı ve geri kazanımı:** Atık yönetiminin ikinci önemli adımı ise oluşması önlenememiş olan çeşitli atıkların uygun yöntemlerle tekrar değerlendirilmesi işlemidir. Üretim sonucu oluşan atığın değersiz bir çöp olarak algılanmasının önüne geçilerek, bu atıkların farklı kullanım alanlarında tekrar değerli kılınması hem çevresel hem de ekonomik yararlar sağlamaktadır.

Etkin bir geri kazanım, atıkların kaynaktan ayrıştırılması ile mümkün olabilir. Kaynaktan ayrıştırma [2];

- Geri kazanılabilir malzemenin organik atıklarla karışmasını önleyerek, atıkların geri dönüşebilirlik oranını ve toplanan malzemenin kalitesini artırır,



- Bertaraf edilecek atık miktarını ve hacmini azaltarak depolama sahalarının kullanım ömrünü uzatır,
- Halkın çevre bilincinin artmasında olumlu rol oynar,
- Ekonomiye daha yüksek bir girdi sağlar,
- Taşıma maliyetlerini ve taşımadan kaynaklanan gürültü, hava kirliliği ve trafik gibi sorunları azaltır.

Atıkların geri dönüşümü, doğal kaynaklarda olduğu kadar enerji kaynaklarında da önemli ölçüde tasarruf sağlar. Bilimsel araştırma sonuçlarına göre örneğin metal ve plastik ambalajların geri kazanılması için harcanan enerji, bunların ilk üretimlerinde kullanılan enerjinin sadece %5'i kadardır. Yani geri dönüşüm yoluyla enerji kullanımında %95 oranında bir tasarruf söz konusudur. Keza 1 ton kâğıt için harcanan 7600 kwh enerji, 1 ton geri dönüştürülmüş kâğıtta 2800 kwh'a inmektedir. Ayrıca geri kazanılan kâğıt nedeniyle tahrip olmaktan kurtulan ormanların doğaya ve ortak geleceğimize katkısı ölçülemez boyutlardadır. Özetle her bir geri dönüşüm işleminin tabiatın geleceği ve canlıların yaşamı üzerinde önemli etkileri söz konusudur [4].

Katı atığın içindeki geri dönüştürülebilir malzemelerin önemli bir miktarını yiyecek ve içecek ambalajlarında kullanılan metal plastik ve cam atıklar ile kâğıt ve karton oluşturmaktadır. Bunun yanında kemik, tekstil parçaları da özel ayırma tesislerinde geri dönüştürülebilmektedir [2].

Geri dönüşüm prosesinin önemine baktığımızda temelde dört ana unsurun ön plana çıktığını görülmektedir [2]. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Doğal kaynakların korunması
- Enerji tasarrufu
- Toplam atık miktarının azalması
- Geleceğe ve ekonomiye yatırım sağlanması

**3) Atığın bertarafı:** Eğer, üretime entegre edilmiş çevre korumanın tüm imkânları kullanılmış ise, depolama sayesinde atık maddenin imha edilmesi veya yakılması ya da yanma sonu gazların ve atık suların temizlenmesi için alışılmış, konvansiyonel teknolojilerin uygulanması düşünülebilir. Böylece, üretime entegre edilmiş çevre

koruma önlemlerine, ilâve çevre koruma sistemleri eklenebilir [4]. Atık yönetiminin son aşaması da oluşması önlenememiş ve tekrar değerlendirilmesi mümkün olmayan atığın yakma ve düzenli depolama gibi yöntemlerle varlığının en aza indirgenmesidir. Oluşan tüm atıkların veya oluşanların hepsinin tekrar değerlendirilmesi ve ekonomiye katılması mümkün olamamaktadır. Bu aşamada bu tip atıkların farklı yöntemler kullanılarak yok edilmesine çalışılmaktadır.

Bilimsel esaslara ve mühendislik prensiplerine göre işleme tabi tutulmayan katı atıklar çevrede pek çok kirlenme problemine sebebiyet vermektedir. Katı atık yönetiminin bir başka amacı bunlardan hammadde kaynağı olarak yararlanmayı öğretmek ve özendirmeğdir. Bu durum katı atık yönetim maliyetlerinin makul seviyelere çekilmesinde önemli katkı sağlayacaktır [2].

## **2.2 Tekstil**

Tekstil; yapay ve/veya doğal elyaf hammaddesi ile oluşturulan, insanların örtünme, korunma, estetik gereksinim ve çeşitli teknik alanlardaki ihtiyaçlarının karşılanması adına kullanılan farklı yapılara sahip malzemelerin genel ismidir.

Tekstil endüstrisi; birbiri ile ilişkili birçok hammadde kullanarak, büyük sayıda üretim yapan farklı endüstrilerin oluşturduğu bir sanayi dalıdır. Önceleri mensucat olarak isimlendirilen tekstil endüstrisi, elyaf hammaddesinden elyaf eldesi, elyaftan iplik eldesi, iplikten kumaş yapılması, kumaşın konfeksiyona hazırlanması (kasar, boya, baskı, apre) aşamasındaki tüm işlemleri kapsar. Özet olarak tekstili; elyaf, iplik, dokuma, örme, boya, apre (terbiye), nakış ve nonwoven (dokusuz yüzey eldesi) olarak sınıflandırmak mümkündür. Konfeksiyon (hazır giyim) Türkiye’de ve bazı ülkelerde tekstilin dışında, bazı ülkelerde ise tekstilin içinde ifade edilir [1].

Malzemeler üretim sırasında birçok mekanik ve kimyasal işleme maruz kalmak suretiyle şekillenmekte ve özellik kazanmaktadırlar. Malzemenin istenilen son şekli alması için genellikle farklı alanlarda faaliyet gösteren fabrikalar arasında mamul veya yarı mamulün transferi gerekirken, bazı entegre fabrikalarda ürünün hammaddeden son ürüne kadar üretimi mümkün olabilmektedir.

## **2.2.1 Tekstil endüstrisinin ana bölümleri**

Tekstil endüstrisi geniş yelpazede ürün çeşitliliğine sahip bir sektör olup; bu ürünler genel olarak hazır giyim, ev tekstili ve teknik tekstiller olarak üç farklı grupta toplanmaktadır. Üretim alanları ise her grup için benzerlik göstermekte ve dört ana bölüm olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- 1) Elyaf İşlenmesi ve Üretimi; Doğal, yarı sentetik, tam sentetik,
- 2) İplik Üretimi; Pamuk iplikçığı, yün iplikçığı, sentetik iplikçilik,
- 3) Kumaş Üretimi; Dokuma, örme, dokunmamış kumaş
- 4) Kumaşların Terbiye İşlemleri; Ön terbiye, boya, baskı, apre vb.

### **2.2.1.1 Kumaş üretimi**

Terbiye işlemlerini görmüş ve mamul halini almış kumaş, tekstil sektörünün (hazır giyim sektörü hariç) en son ürünüdür.

Türkiye’de hazır giyim sanayinin gelişimi tekstil sanayinin gelişimini de beraberinde getirmiştir. Bugün, tekstil sanayi, iç piyasanın ihtiyacını önemli oranda karşılamanın yanı sıra, ihracatta da büyük gelişmeler kaydetmiştir. DİE’nin 2002 yılı Genel Sanayi ve İşyeri Sayımı verilerine göre Türkiye’de kumaş üretimi yapan 7.744 firma bulunmaktadır [4]. Daha önce de bahsedildiği gibi kumaşlar; dokuma kumaş, örme kumaş ve dokunmamış kumaş olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır ve kumaş üretim miktarları açısından üç grup ayrı ayrı değerlendirilecektir.

#### **Dokuma kumaş üretimi**

Dokuma kumaş, genellikle iki iplik sisteminin doksan derecelik kesişimlerle birleşmesiyle oluşturduğu kumaş yapısıdır. Dokunmuş kumaşların M.Ö. 6500 yılında kullanıldığına dair arkeolojik buluntuların mevcut olması, iki iplik sistemiyle tekstil yüzeyi oluşturma metodu olan dokumacılığın günümüzden en az 8000 yıl kadar önceleri de bilindiğini ortaya koymaktadır [9]. Zamanla gelişen dokuma teknolojisi sayesinde farklı dokuma kumaşların oluşturulabilmesine olanak sağlanmış ve iki iplik sistemine eklenen iplik sistemleriyle çeşitli dokuma yapıları geliştirilmiştir.

Türkiye’de dokuma kumaş üretimine bakıldığında çok büyük bir kısmının pamuklu ve suni (sentetik) dokuma kumaşlar oluşturulduğu görülmektedir. Özellikle Türkiye’de pamuk hammaddesinin üretiminin yüksek olması sebebiyle pamuklu

kumaş sektörde en yüksek üretim miktarına sahip üründür ve pamuklu sektörü, hammadde ihtiyacının büyük bir bölümünü yurtiçinden karşılamaktadır.

Pamuklu dokuma sektöründen sonra en önemli üretim, sentetik dokuma sektöründe yapılmaktadır. Sentetik sektöründe, ürünler polyester filament ağırlıklı olup, bunu naylon ve viskon filament esaslı ürünler takip etmektedir [4].

Türkiye'de yünlü kumaş üretimi üçüncü sırayı alırken; keten, kendir ve jütten dokuma kumaş üretimi, hammadde yetersizliği ve talebin çok kısıtlı olması nedeniyle oldukça düşüktür. Yıllık üretim 16 milyon metre civarındadır. Bu sektörde hammadde (keten ve jüt) ihtiyacı tamamen ithalata bağımlıdır. Kendirin büyük bir kısmı ise Batı Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilmektedir. Dış giyimde kullanılan ince keten ipliğinin üretimi, faaliyetteki tek firmanın 1997'de üretimine son vermesiyle tamamen son bulmuştur. Dolayısıyla, keten dış giyimi için gerekli keten ve keten karışımli kumaşların imalinde kullanılan aramalı ihtiyacı, tamamıyla yurtdışından sağlanmaktadır [4].

**Çizelge 2.1 : Türkiye’de kumaş üretim miktarları**

	2001	2002	2003	2004	2005*
Pamuklu dokuma (milyon m)	1700	1904,6	1864,6	1696,8	1696
Suni, sentetik, ipek dokuma (milyon m)	60	571,2	617,4	657,6	688
Yünlü dokuma (milyon m)	450	54,1	55,7	56,8	63
Kord bezi (bin ton)	25	37,8	46	51	55
Keten, kenevir, jüt dokuma (milyon m)	17	15	16,2	16,2	13

DPT'nin 2004 yılı verilerine (Çizelge 2.1) göre pamuklu dokuma kumaş üretimi yaklaşık 1,7 milyar metre, suni sentetik dokuma kumaş üretimi 658 milyon metre, yünlü dokuma kumaş üretimi 57 milyon metre olarak gerçekleşmiştir. 2005 yılında üretimin pamuklu dokumalarda 1,65 milyar metre, suni sentetik dokumalarda 688 milyon metre ve yünlü dokumalarda 63 milyon metre dolayında gerçekleştiği tahmin edilmektedir.

DPT'nin 2007 yılında yayınladığı “Tekstil, Deri ve Giyim Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”na göre Türkiye’deki kurulu dokuma kapasitesinin 1.350.000 ton civarında olduğu görülmektedir. Dokuma sanayinde K.K.O.’ları ile ilgili temin

edilebilen veriler ve bilgiler %50 ile %80 arasında değişmekte olup, halen 3 tezgâhtan birinin boş durduğu, yani K.K.O.'nun %67 civarında olduğu, gerçekçi bir tahmin olarak görölmektedir [8].

### **Örme kumaş üretimi**

Türkiye'deki yuvarlak örgü makinesi sayısına bağlı olarak 2.250.000 ton'luk bir kapasite söz konusudur. Yuvarlak örgü sanayinde K.K.O.'ları ile ilgili temin edilebilen veriler, bilgiler %40 ile %66 arasında değişmekte olup, halen Türkiye'deki yuvarlak örgü makinelerinin yarısının boş durduğu, yani K.K.O.'nun %50 civarında olduğu, gerçekçi bir tahmin olarak görölmektedir [8].

### **Dokunmamış (nonwoven) kumaş üretimi**

Türkiye'de 80.000 ton'u spunbond, 60.000 ton'u iğneleme olmak üzere 200.000 ton'un üzerinde bir nonwoven üretim kapasitesi bulunmaktadır. Halı ve özel teknik tekstil ürünleri için de 200.000 ton'a yakın bir kapasitenin bulunduğu kabul edilirse, bu gruptaki toplam üretim kapasitesi 400.000 ton'dur [8].

### **2.2.2 Tekstil atıklarının tanımı**

Tekstil katı atıkları kendi içinde tüketici sonrası atıklar ve tüketici öncesi atıklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Tüketici sonrası tekstil atıkları, müşteri kullanımına sunulduktan sonra kullanım ömrünün sona ermesi veya kullanıcı tarafından daha fazla kullanılmak istenmemesi sebebiyle uzaklaştırılmak istenen atıklardır. Tüketici öncesi tekstil atıkları ise genel olarak endüstriyel tekstil atıkları olup, hammadde sürecinde veya üretim aşamaları sırasında çeşitli biçimlerde ve farklı işlem basamaklarında üretimden ayrılan malzemelerdir.

Tekstil atıkları aynı cinsten ipliklerin üretiminde, üstü�ü yapımında, özel yer halısı yapımında, yatak, mobilya ve giyim eşyalarının dolguları ve benzeri ekonomik değeri yüksek olmayan alanlarda değerlendirilebilmektedir.

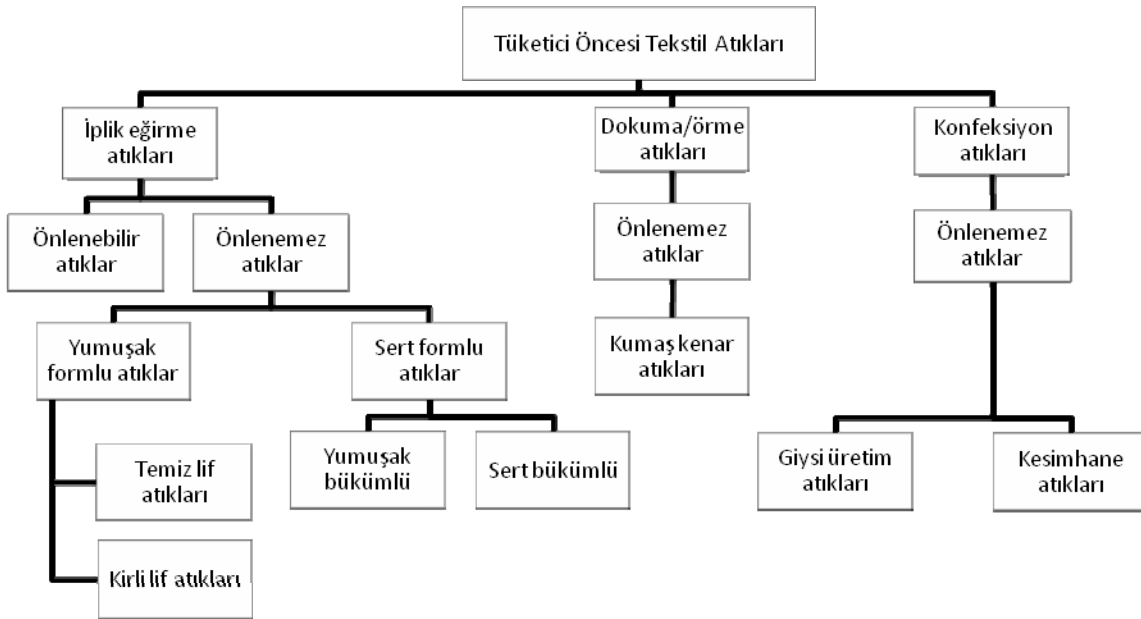
Tekstil atıklarının geri dönüşümü için kullanılan geleneksel bazı yöntemler bulunmaktadır. Tekstil atıkları kullanımıyla, tekrar tekstil ürünü eldesi için atıklar, çeşitli ve kademeli işlem basamaklarından geçirilir. Atıklar muhtelif temizleme, tarak ve benzeri cihazlarla taranıp çekilerek ve bazı makinelerle yolunarak lifler elde edilir. Daha sonra üretilecek ipliğin cinsine göre tümüyle atıktan veya bakiye

malzeme ile atık karışımından yapılmış malzemeler elde edilmekte, bunlardan önce iplik üretilmekte, daha sonra boyama ve dokuma ve diğer aşamalar gelmektedir [2].

Günümüzde ise bu yöntemlerin yanı sıra tekstil atıklarının çeşitli alanlarda takviye ve dolgu malzemesi olarak kullanımıyla alternatif bir geri dönüşüm yöntemi uygulanmaya çalışılmaktadır.

### 2.2.2.1 Tüketici öncesi tekstil atıkları

Tüketici öncesi tekstil atıkları genel olarak endüstriyel tekstil atıkları olarak ifade edilebilmektedir. Endüstriyel tekstil atıkları da farklı işlem basamaklarında çeşitli form ve oranlarda oluşan katı atıklardır. Atıkların oluşumları hammadde kalitesi, kullanılan makineler ve makine üretim ayarları, işletmenin verimlilik politikası gibi önemli değişkenlerden etkilenmekte ve işletmeden işletmeye atık oluşum oranları değişmektedir.



Şekil 2.2 : Tüketici öncesi tekstil atıklarının sınıflandırılması

Tekstil sektöründeki işletmelerde, üretimde yeniden kullanılabilir ya da kullanılamaz, atıkların meydana geliş sebepleri karışık bir sorun olup çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler: işletmelerde hammadde değişkenliği, işletme klima şartları değişkenliği, işletme üretim programına alınan sipariş miktarlarının değişkenliği (sipariş büyüklüğü azaldıkça ve sipariş türü arttıkça atık artış gösterir), yetersiz çalışma programları ve yetersiz kontrollerdir. İşletmelerde atık kontrolü adım adım ele alınmalı ve optimum koşullar sağlanmalıdır. Atık türleri

sınıflandırılmalıdır. Genellikle aynı özellikleri olan (lif kalitesi, uzunluğu gibi) atıklar bir arada toplatılmalıdır. Aksi takdirde atığın değeri düşecektir. Atık sorununa çözüm getirebilmek için öncelikle çalışanların atık minimizasyonu konusunda eğitilmeleri ve dikkatli davranmaları gerekir [9].

Şekil 2.2’de tüketici öncesi tekstil atıklarının bazı üretim aşamalarına bağlı olarak sınıflandırılması verilmiştir.

Tekstil sanayinde oluşan atıkların geneline bakıldığında bu atık miktarları içerisinde sadece tekstil malzemelerinin bulunmadığı görülmektedir. Özellikle tekstil sanayinde kullanılan yüksek miktardaki suyun boya ve benzeri kimyasallarla kirlenmesiyle yüksek hacimde atık su yani sıvı atık oluşmaktadır. Tekstil sanayinde oluşan katı atıklar ise hacimsel olarak sıvı atıklardan sonra ikinci sırada bulunmaktadır ve bu atıkların hepsini yine tekstil malzemesi oluşturmamaktadır. Terbiye işlemleri sırasında kullanılan plastik bidonlar, konfeksiyon işlemleri sırasında kullanılan kâğıt ve kartonlar, iplik ve kumaş üretimleri sırasında kullanılan masura ve bobinler, ambalajlama işlemlerinde kullanılan çeşitli kâğıt ve plastik ambalaj ürünleri tekstil sanayinde oluşan katı atıklar kapsamına girmektedir.

Amerikan Tekstil Üreticileri Enstitüsü (ATMI) yaptığı çalışma sonucu tekstil endüstrisinde oluşan bazı atıklar aşağıdaki gibi listelemiştir:

- Tarak atıkları
- Artık halı parçaları
- Lif atıkları
- Hızır atıkları
- Paket kâğıtları
- Sert plastikler
- Ofis kâğıtları
- Plastik konteynirler
- Halı kırıntıları
- Kumaş atıkları
- İplik atıkları
- Kumaş kenarları
- Mukavva
- Cam
- Kâğıt torbalar
- Atık su çamurları

İşletmeden işletmeye katı atık miktarlarının oranları değişkenlik göstermekle beraber, tekstil malzemesinin diğer katı atıklara oranının yaklaşık %50 civarlarında olduğu gözlenmiştir [9].

**Çizelge 2.2 : Sanayi grubuna göre yaratılan endüstriyel katı atık miktarı (2004 DIE)**

		Geri kazanılan ve				Satılan ve			
		Toplam		yeniden		hibe edilen		Bertaraf	
Sanayi grubu		İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)	İşyeri sayısı	Miktar (ton/yıl)
		Toplam	2814	17497	513	1345507	1930	794275	1952
Türkiye	Devlet	160	82844	50	607022	91	205582	136	562163
	Özel	2654	92130	463	738485	1839	588693	1816	258758
	Gıda ürün. ve içecek imalatı	464	35116	82	84782	303	232758	356	109931
	Tütün ürünleri imalatı	21	19765	5	5405	15	6956	16	7404
	<b>Tekstil ürünleri imalatı</b>	<b>381</b>	<b>36443</b>	<b>48</b>	<b>5317</b>	<b>309</b>	<b>277711</b>	<b>242</b>	<b>81404</b>
	<b>Giyim eşyası imalatı</b>	<b>250</b>	<b>12918</b>	<b>13</b>	<b>1896</b>	<b>170</b>	<b>100187</b>	<b>173</b>	<b>27100</b>
	Derinin işl., bavul çanta vb.	47	11531	4	70	21	8816	41	2645
	Ağaç-mantar ür.imal.(Mob.hariç)	66	11132	38	67942	25	21582	26	21800
	Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı	97	17605	17	14983	70	73330	67	87740
	Basım ve yayım imalatı	56	42813	3	211	51	41513	29	1089
	Kok köm.,rafine edilmiş	20	12421	3	444	9	1677	18	122097
	Kimyasal madde ürünleri imalatı	163	14962	22	13328	101	106806	133	414863
	Plastik-kauçuk ürünleri imalatı	170	91267	45	5315	123	56569	107	29383
	Metalik olmayan diğer min.mad.im.	298	16926	70	114395	130	410801	215	116746
	Ana metal sanayi	149	77646	36	769938	103	206013	109	493463
	Metal eşya sanayi, mak.teçh. hariç	154	71735	18	27526	126	644988	95	44844
	B.y.s. makina ve teçhizat imalatı	163	58629	30	23810	131	524898	92	37583
	B.y.s. elektrikli makina cihaz.im.	86	13725	23	51250	68	46853	71	39151
	Radyo,TV haberleşme cihaz. imal.	17	13433	2	65	16	11708	13	1660
	Tıbbi,hassas ve optik aletl.,saat im.	28	9268	6	78	19	8634	17	556
	Taşıt araçları ve karoseri imalatı	88	31019	27	59823	70	173144	69	77224
	Diğer ulaşım araçları imalatı	15	38542	-	-	12	34098	11	4444
	Mobilya imalatı, b.y.s. diğer imalat	81	14926	21	98929	58	43516	52	6820



Türkiye’de tüm sanayi kollarında oluşan ve resmi kayıt altında bulunan atık üretimlerine bakıldığında (Çizelge 2.2) tekstil sanayinin yüksek iş yeri sayısının yanı sıra; gıda, kimya ve metal sanayi gibi sanayi kolları ile karşılaştırıldığında atık oluşumunda düşük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bağlı olarak yüksek gözükmemesine rağmen, toplamda yıllık 364.432 ton atık oluşumu yaratan tekstil ürünleri imalatında %77’lik, giyim eşyası imalatında %78’lik oranla atıkların satılması ve hibe edilmesi şeklinde değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Son yıllarda bu amaçla kurulan atık borsalarında işletmeler arası alım-satım işlemleri gerçekleştirilmekte ve atık ticareti yaygınlaşmaktadır.

Araştırma verilerine bakıldığında bertaraf yönteminin tekstil imalatında %22’lik, giyim eşyası imalatında %21’lik oranla ikinci sırada yer aldığı; geri kazanım ve yeniden kullanımın her iki imalat dalında da %1’lik oranla yaygın olmadığı görülmektedir.

#### 2.2.2.2 Tüketici sonrası tekstil atıkları

Tekstil Geri dönüşüm Konseyi (Council of Textile Recycling)’ne göre; tüketici sonrası tekstil atıkları, sahibinin daha fazla kullanmak istemediği ve elden çıkarmak istediği her tür giysi ve evsel tekstil ürünlerini kapsamaktadır [11].

Tüketici sonrası tekstil atıklarının oluşumun çeşitli sebepleri olmakla beraber, ana sebepleri; düşük kaliteli ürünlerin daha fazla kullanılmak istenmemesi, kullanılan ürünlerinin modasının geçmesi ve uzun süre kullanılan ürünlerin kullanım ömürlerini tamamlaması sebebiyle elden çıkarılmak istenmesi olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.3).Tüketici sonrası tekstil atıklarının, geri dönüşümünün sağlanarak farklı alanlarda üretime tekrar katılması üzerinde de çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.



Şekil 2.3 : Tüketici sonrası tekstil atıklarının sınıflandırılması

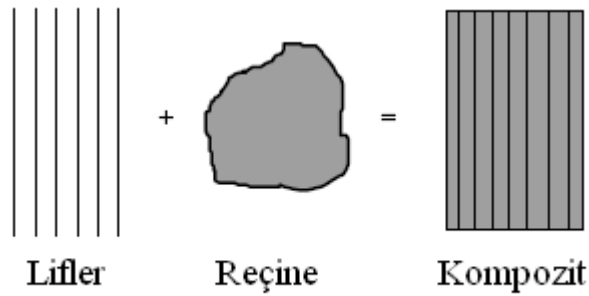


### 3. KOMPOZİT MALZEMELER

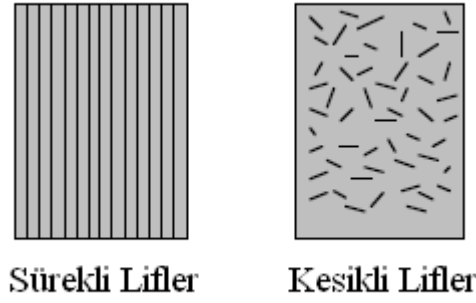
Kompozit malzemelerin genel olarak kabul edilmiş bir tanımı olmasa da çeşitli kaynaklarda farklı tanımlamaları yapılmıştır. Örneğin; William F.Smith “Birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleri ayrılmış ve esas olarak birbiri içinde çözünmeyen, iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşimiyle oluşan malzeme” [13], Sanjay K. Mazumdar “İki ya da daha fazla malzemenin özelliklerinin kombinasyonu ile oluşan yeni malzeme” [14] ve Autar K. Kaw. “Birbiri içinde çözünmeyen ve makroskobik düzeyde birleştirilmiş iki ya da daha fazla bileşenden oluşan yapısal eleman” [15] şeklinde tanımlamışlardır. Sözlük ve günlük kullanımda kompozit kelimesi çeşitli element ve parçalardan oluşan malzeme olarak kullanılmaktadır.

Kompozit malzeme, matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki ana elemandan oluşmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.1’deki “lifler” takviye malzemesini, “reçine” ise matris malzemesini oluşturmaktadır.

Takviye malzemesi olarak çok farklı çeşit ve boyutlarda malzemeler kullanılabilirken, lif takviyeli kompozit malzemelerde sürekli veya kesikli liflerden oluşabilmektedir (Şekil 3.2)



Şekil 3.1 : Lif takviyeli kompozit malzemenin bileşimi [14]



**Şekil 3.2 :** Sürekli ve kesikli liflerden oluşan kompozitler [14]

Kompozit malzemeler günümüzde aşağıdaki özelliklerine göre tanımlanmışlardır:

- Sürekli bir matris malzemesi içine yerleştirilmiş takviye fazı bulunur.
- Takviye malzemesi ve matris birleştirilmeden önce kendi başlarına hareket ederken birleştirildikten sonra tek bir malzeme gibi hareket ederler.
- Takviye malzemeleri en az mikro seviyede boyutlara sahiptir.
- Takviye malzemesi en az %10 oranında kullanılmaktadır.
- Takviye malzemeleri yük taşırken, matris malzemeleri takviyeyi koruma görevi üstlenmiştir [16].

### 3.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzeme üretimi esas olarak; iki farklı özelliği sahip takviye ve matris malzemesinin bir araya getirilip kendisini oluşturan malzemelerden farklı özelliklere sahip malzeme elde etme amacına dayanır. Takviye malzemeleri bu bağlamda çoğu kompozit üretiminde ağırlık azaltılması amacıyla kullanılır. Bunun yanında takviye malzemelerin genel özellikleri şöyledir:

- Yükü taşımak. (yükün %70-90'nını takviye taşır)
- Kompozitin sertlik, dayanım, termal kararlılık ve diğer yapısal özelliklerini sağlamak.
- Kullanılan lif tipine göre elektrik iletimi ve yalıtımını sağlamak [14].

Takviye malzemeleri gibi matris malzemeleri de kompozit yapı içinde performansın sağlanması için çok önemli görevler yerine getirmektedir. Bu görevler şöyledir:

- Takviye malzemelerini bir arada tutup yükü takviye malzemesine iletmek ve böylece rijitliği ve boyutsal kararlılığı sağlamak.
- Her bir takviye malzemesini kendi içinde izole etmek ve böylece her birinin tek başına davranmasını sağlamak. (çatlak büyümesi bu şekilde engellenebilir)
- Üretilen kompozitin net şekilde veya net şekle yakın biçimde yüzey kalitesine sahip olmasını sağlamak.
- Takviye malzemelerin kimyasal ve mekanik etkilere karşı korunmasını sağlamak.
- Seçilen matris malzemesine göre kompozitin süneklik, darbe dayanımı ve tokluğunun sağlanması [14].

Yukarıda anlatılan takviye ve matris özelliklerinin bir araya getirilmesi ile kompozit malzemelerde, genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemedeki toplanması önemli avantaj meydana getirir. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir [17]. Bunlar;

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı
- Yorulma dayanımı ve aşınma direnci
- Korozyon direnci
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık
- Isı iletkenliği veya elektriksel direnç
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu
- Rijitlik ve ağırlık kazanımı [18], gibi özelliklerdir.

Yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar; uygun matris ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, matrisin ıslatabilirliği, takviyenin homojen dağılımı vb. gibi durumları kapsamaktadır. Bununla birlikte bazı dezavantajlara da sahiptirler. Bunlar arasında [17];

- Üretim güçlüğü
- Pahalı olabilmeleri

- İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşüm olanaklarının olmaması, gibi faktörler sayılabilir [17].

### **3.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

#### **3.2.1 Takviye malzemesine göre**

Kompozit malzemeler takviye olarak elyaf ve parçacık malzeme kullanılmasıyla meydana gelebileceği gibi bunların uygun şekilde üst üste getirilmesiyle de tabakalı olarak üretilebilirler. Elyaf malzemeler genel olarak matrise göre sert ve dayanıklı olduklarından yorulma dayanımı, çekme dayanımı ve en önemlisi ağırlık kazancını sağlarlar. Kompozit üretiminde elyaf olarak; cam, bor, silisyum karbür, alümina, grafit ve aramid elyaflar sürekli, süreksiz, yönlendirilmiş ve rastgele dağılmış gibi çeşitli formlarda kullanılmaktadırlar. Bu elyaflar kullanım yeri ve özellikle maliyetlerine göre farklı şekilde kullanılmaktadırlar [19].

Parçacıklı kompozitler; bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ya da dispersiyon yoluyla elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektrik iletkenliği sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların (cermet), sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Kullanılan parçacıklar arasında alümina ve silisyum karbürler sıklıkla yer almaktadırlar [17].

Tabakalı kompozit yapılar ise, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılarıdır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilirler. Sandviç yapılar tabakalı kompozitlere en güzel örnektir [19].

##### **3.2.1.1 Pamuk lifleri**

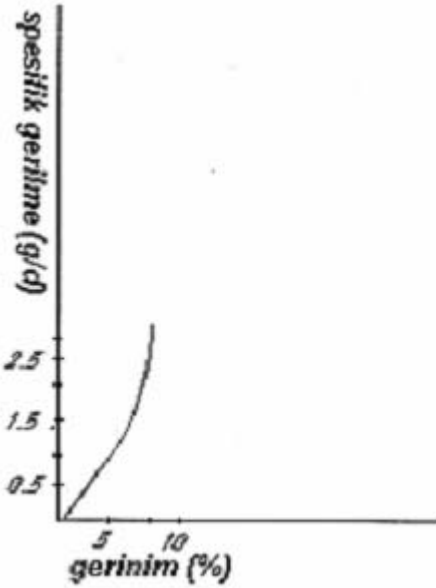
Pamuk lifleri, pamuk bitkisinden elde edilen selülozik yapıya sahip doğal liflerdir. Pamuk liflerinin ortalama %94'ü selülozdan oluşmaktadır. Buna ek olarak lif yapısında protein, pektin, mum, kül maddeleri de bulunmaktadır.

Pamuk kuru halde bozunmaksızın 150 °C 'ye kadar ısıtılabilir. Isıtma süresi uzatıldığında renk giderek kahverengine döner. Bu nedenle kurutma makinelerinde sıcaklık 93 °C'nin üstüne çıkartılmaz [20].

**Çizelge 3.1** : Pamuk lifinin özellikleri [21]

Özellik	
Lif inceliği (denye)	1-3
Nem absorpsyonu (%)	8
Dayanım (cN/tex)	26-53
Kopma uzaması (%)	3-7

Pamuk için kopma-uzama eğrisi uzama eksenine doğru hafifçe konkavdır ve belirgin bir akma noktası gözlenmez. Genel olarak ince pamuk lifleri daha yüksek dayanıma ve ilk modüle sahiptirler. Kopma uzaması %5-10 arasında değişir ve incelikten bağımsızdır [22].



**Şekil 3.3** : Pamuk liflerinin  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi [22]

Pamuk liflerinin çekme kopması göz önüne alındığında üç ayrı mod görülür [22] :

Kuru pamuk lifinde kopma, lif çapı boyunca oluşan çatlaklar nedeniyle oluşur. Kristalin fibrillerin kopması rol oynar. Orta dereceli nem miktarlarında fibriller arasında ayrılmalar görülür ve yarıklar arasındaki malzeme yırtılır. Kopma oluncaya

kadar büyük bir uzunluk gerekir. Islak pamukta fibriller çok ayrı olduğu için tek tek fibril kopması gözlenir.

Islak pamuk lifinin kuru pamuktan güçlü olma nedeni; kayma gerilmelerinin büküm açılması ve eğilmenin düzleşmesi nedeniyle azalmasıdır. Fibriller birbirlerine bağlı olduğunda karmaşık gerilmeler erken kopmaya neden olur. Ancak serbest olduklarında ve gerilimden kurtulduklarında daha dayanıklı olurlar.

Çapraz bağ olduğunda her bir element ayrı kopar ve mukavemet, her iki elementin birlikte kopacağı çapraz bağın olmadığı durumdaki mukavemetin yarısı olur.

### 3.2.1.2 Polietilen tereftalat lifleri

Polietilen tereftalat, polyester ailesine ait termoplastik bir malzemedir. Kimyasal adı Polietilen–tereftalat olan PET polyesteri, Whinfield ve Dickson tarafından keşfedilmiş olup, ilk defa 1941 yılında ticari ölçüde üretilmiştir. Bugün için dünyada üretilen polyester lifinin çok büyük kısmı ve ülkemizde üretilen polyester liflerinin tamamı polietilen tereftalat (PET) esaslıdır. Tereftalik asit veya bunun dimetil esteri ve etilen glikol denilen iki maddenin polikondenzasyonu ile elde edilir [23].

PET polyester liflerinin yoğunluğu 1,36 - 1,45 g/cm<sup>3</sup> tür. Bu değer polimerdeki kristalin bölge oranları ile değişir. Kristalin bölge oranı fazla olan liflerde yüksek, az olan liflerde ise daha düşüktür. Termoplastik polimerlerdir ve sıcakta mukavemet özellikleri değişir. Erime noktası 252 – 256 °C' dir. Filamentlerin mukavemeti 4-7 g/denye; kesikli lifleri ise 4 - 5 g/denyedir. Kristalin bölge oranının yüksekliği ve apolar yapısından dolayı nem çekme özelliği azdır. Su molekülleri ancak bir moleküler film tabakası şeklinde lif yüzeyine tutunabilir. Oda sıcaklığında ve standart koşullarda en fazla %0,4 nem absorblar [24]

**Çizelge 3.2 : Polietilen tereftalat liflerinin özellikleri [21]**

Özellik	
Çekme dayanımı (cN/tex)	37,1 – 44,1
Uzama (%)	30 - 38
Nem gerilimi (%)	0,4
Erime noktası (°C)	254



Mikroskop altında incelendiğinde kesiti şeffaf cam boru şeklindedir. Güneş, hava koşulları ve bakterilere karşı afiniteleri çok fazladır ve elektrostatik yüklerini biriktirmeye 19 yatkındırlar. 200 °C civarında yumuşama gösterir. Termofiksaj sıcaklığı 180 – 200 °C' dir. Sert bir tuşesi vardır. Bükülme ve kıvrılmaya karşı direnç gösterir. Bu nedenle buruşmaya karşı dayanıklıdır [23].

### **3.2.2 Matris malzemesine göre**

Matris, kompozit yapı içerisinde takviye malzemesini taşıyan ve malzeme bütünlüğünü sağlayan önemli bir birimdir.

Matris malzemesinin seçimi, takviye malzemesi ile uyuşabilirlik ve nihai üründen beklenen özellikleri belirlemede oldukça önemlidir. Kompozit malzemeler, yapılarındaki matris malzemesine göre polimer matrisli, metal matrisli ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadırlar.

Polimer matris: En çok kullanılan kompozit türü olup matris malzemesi olarak termoplastik reçineler (Polipropilen, polietersülfon, polieterimid, poliamid imide, polfenilensulfit, polietereterketon.) ve termoset reçineler (polyester, fenolik, melaminler, silikon, poliürethan, epoksi) kullanılmaktadır [25].

Seramik matris: Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafiflik ( $\rho = 1,5 - 3,0 \text{ gr/cm}^3$ ) özellikleriyle dikkat çekici malzemelerdir. Ancak kırılma olmaları, uygulamalarını kısıtlamaktadır. Lif takviyesi esas olarak SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, karbon, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> veya karışımdır (SiC + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [19].

Metal matris: Metal matris kompozitler, bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak elde edilirler. En yaygın olanları alüminyum, titanyum ve magnezyumdur. Takviye olarak da berilyum, molibden, çelik ya da tungsten elyaflar kullanılır. Ayrıca SiC kaplı bor elyaflar ve grafit elyaflar da kullanılır [19].

#### **3.2.2.1 Polimer matrisler**

Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Kompozit malzemelerde polimer matrisler genel olarak üçe ayrılmaktadır ve bunlar; termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak doymamış polyester reçineler kullanılır. Bunun yanı sıra epoksi reçine ve fenolik reçinelerin

kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımı görülür (yaklaşık %68,3). Bunların yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilentereftalat, polietereterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir. Naylonlar ve polikarbonatlar, ticari kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan az sayıdaki termoplastikten ikisidir [13].

Termoplastik matrisler ısıtıldıklarında yumuşarlar ve ısıtılmış yarı sıvı haldeyken şekillendirilebilir veya kalıplandırılabilirler. Termoset matrisler bunu aksine ilk hallerinde genelde sıvıdır veya düşük ergime noktasındaki katılardır. Son ürüne yönelik olarak kullanıldığında termoset matrisler bir katalizörün, ısının ya da her ikisinin yardımıyla sertleşme aşamasına geçerler. Sertleşme tamamlandıktan sonra katı termoset matrisler orijinal sıvı hallerine döndürülemezler. Termoplastik matrislerin aksine, sertleşme reaksiyonuna giren termosetler ısıtıldıklarında ergimezler ve akamazlar. Bir kez şekillendiğinde, yeniden şekillendirilemezler. Her iki matris türü de takviye edilebilir niteliktedir [25].

### **Termoplastik matrisler**

Termoplastik tanımı ısı ile tekrarlı olarak şekil değiştirebilen plastik malzemeler için kullanılmaktadır. Termoplastikler, takviye elemanları ile desteklenerek kompozitlerde matris olarak kullanıma uygun malzemelerdir.

Termoplastik polimerlerde, moleküller lineer bir dizilim gösterirler ve aralarında kimyasal bir bağ yoktur ve moleküller Van der Waals ve hidrojen bağları gibi zayıf bağların etkisiyle bir arada dururlar. Sıcaklık ve basınç uygulanması ile bu bağlar kolayca koparlar. Bu zayıf bağlar nedeniyle termoplastik polimerler tekrar eritilip şekil verilebilirler. Hâlbuki termoset polimerlerin, ağ yapısından ve çapraz bağlardan dolayı tekrar eritilmeleri mümkün değildir [16].

Termoplastik malzemelerin lif takviyeli kompozit malzemelerde kullanımı termosetler kadar yaygın değildir. Bunun sebeplerinden biri devamlı yapıdaki lif takviyelerinde (örneğin; kumaş) eriyik halde ve yüksek sıcaklıktaki polimerin lifler arasında yerleşmesinin liflerin kolay olmayışıdır. Liflerin yüksek sıcaklıktan etkilenerek bozunmaları söz konusu olabilmektedir. Dolayısıyla genellikle kullanımları takviyeli plastik oluşturmak üzere kesikli lif uygulamalarıyla sınırlı kalmaktadır.

Termoplastikler yapıları gereği, belli sıcaklıklara kadar boyutlarını (şekillerini) korurlar ve camsı geçiş sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yumuşamaya başlarlar. Bu nedenle matris malzeme açısından yetersizdirler. Yüksek performanslı termoplastikler ve bazı mühendislik plastikleri yüksek sıcaklıklara dayanabilirler ve geniş bir sıcaklık aralığında kararlıdır. Termoset polimerler ise boyutsal kararlılık açısından üstündürler [14].

Termoplastiklerin özellikleri şöyle özetlenebilir:

- Çok düşük rijitlik,
- Çok düşük çekme dayanımı ve düşük sertliğe sahip olduklarından aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler.
- Daha büyük süneklik, yaklaşık %1 ile 500 arasında değişir.
- Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur [27].

Fiziksel özellikleri de şöyle özetlenebilir:

- Metaller ve seramiklerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları  $1,2 \text{ g/cm}^3$  iken seramiklerin yoğunlukları  $2.5 \text{ g/cm}^3$  ve metallerin yoğunlukları ise  $7 \text{ g/cm}^3$  civarındadır.
- Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler. Kaba olarak bu metallerin yaklaşık 5 katı seramiklerin yaklaşık 10 katıdır.
- Düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- Özgül ısıları metallerin 2 katı yüksek olup seramiklerin 4 katıdır.
- Termal iletkenlikleri metallerden yaklaşık 3 kat daha düşüktür.
- Yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler [27].

### **Termoset matrisler**

Termoset matris malzemeleri, genellikle reçine olarak adlandırılan viskoz sıvı formunda bulunan ve kompozit endüstrisinde kullanımı oldukça yaygın olan polimerik yapılardır. Termoset tanımı, ısı ile sertleştirilip şekillendirildikten sonra tekrar eritilmesi ve şekillendirilmesi mümkün olmayan plastikler için kullanılmaktadır.

Termoset matrisler, küçük monomer moleküllerini, uzun ve aralarında kuvvetli bağlar bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Termosetler, polimerizasyonla iki kademedede elde edilir. Birincisi malzemeyi ihtiva eden monomerler lineer zincirlerin bir araya getirdiği reaktörde başlarken ikinci polimerizasyon işlemi kalıplama işlemi esnasında sıcaklık ve basınçla reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirleri üç boyutlu yapıya sahip olurlar ve rijittirler. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için genellikle katılaştırıcı kullanılır. Katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılırlar. Bunlar tekrar ısıtılarak yumuşatılamaz. Termoset reçineler izotropiktirler. Termal stabilite, kimyasal direnç, düşük yoğunluk termoset reçinelerin avantajlarıdır. Oda sıcaklığındaki sınırlı çalışma zamanı, katılma için geçen uzun fabrikasyon zamanı, kopma esnasındaki düşük uzama dezavantajlarıdır. Epoksi ve polyesterler elyaf takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemelerdir [27].

Kompozitin temas ettiği sıvıların, kompozitin sürekli fazı olan matrisi çözmemesi, şişirmemesi veya herhangi bir özeliğinde zayıflatıcı etki yapmaması gereklidir. Termoset grubu polimerler sıvılara direnç açısından çözünebilir karakterdeki termoplastiklerden daha üstündürler [14].

Termoset kompozitleri işlemedeki avantajlar;

- Başlangıçtaki reçine sistemi sıvı formda olduğundan, termoset kompozitlerin işlenmesi kolaydır.
- Lifler, termosetlerle kolay ıslatılabildiğinden, boşluk ve gözenek daha azdır.
- Termoset kompozitlerin işlenmesinde, termoplastik kompozitlere göre, ısı ve basınç gereksinimi daha azdır. Bu da enerji kazanımı sağlar.
- Termoset kompozitlerin işlenmesinde, basit ve düşük maliyetli teçhizat kullanılabilir [28].

Termoset kompozit işleminin dezavantajları;

- Termoset kompozit işleme, uzun kür zamanları gerektirir ve sonuç olarak termoplastiklere göre düşük üretim oranları elde edilir.
- Termoset kompozit parçalar, bir kez kür edilir ve katılaştırıldığında, tekrar şekil verilemez.

- Termoset kompozitlerin geri dönüşümü bir sorundur [28].

Termoset reçinelerin kompozit imalatında kullanımı oldukça yaygındır ve lif takviyeli kompozitlerde epoksi, polyester ve vinil ester reçineler en çok kullanılan reçine tipleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar dışında fenolik, amino, üretan ve silikon termoset reçinelerinin kullanımı da mevcuttur.

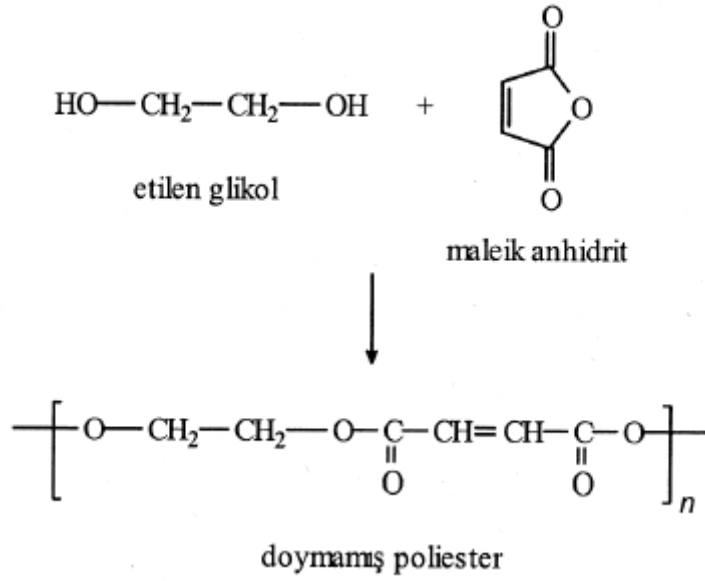
### **Doymamış polyester reçine**

Polyester reçineler, esneklikleri ve düşük maliyetleri sebebiyle dünya çapında yüksek kullanım oranlarına sahiptirler. Bu reçinelerin ilk ticari kullanımları 1941 yılında başlamıştır. Doymamış polyester laminasyon reçineler ilk kez 1946 yılında pazara çıkarken, bu reçineler yirmi birinci yüzyılın başlarında polimer kompozitlerde en çok kullanılan termoset reçineler olmuştur [29].

Polyester reçinelerin kullanım alanları oldukça geniş olmakla beraber; hem saf halde hem de dolgu maddeleriyle kullanımları mevcuttur. Özellikle yapı sektöründe takviyesiz ve cam takviyeli olarak kullanımı, otomotiv sektöründe kullanımı ve endüstriyel ağaç ve mobilya sektöründe kullanımları oldukça yaygındır. Bunun yanı sıra oda sıcaklığında ve atmosfer şartlarında küreşebilmeleri sebebiyle tekne gövdeleri, depo tankları gibi birçok farklı üretim alanında kullanılmaktadırlar.

Sadece 1997 yılı içerisinde yapısal uygulamalarda yaklaşık olarak 2.1 milyon ton doymamış polyester reçine kullanılmıştır [29].

Doymamış polyester tanımı, polimer zincirlerinde çift bağlar bulunan polyester polimerleri için kullanılır. Doymamış polyester reçineler; doymamış veya doymuş asitler/anhidritler ve diollerin veya oksitlerin temel olarak oluşturduğu lineer polikondenzasyon ürünleridir (Şekil 3.3).



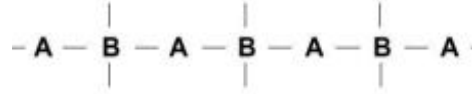
**Şekil 3.4 :** Doymamış polyesterin sentezi [30]

Bu reçineler genellikle soluk sarı renkte düşük polimerizasyonlu oligomerlerdir. Bu oligomerler kimyasal yapılarına veya molekül ağırlıklarına bağlı olarak genellikle viskoz sıvı veya gevrek katılardır. Ana yapıdaki doymamışlık vinil monomerlerinin serbest radikal başlatıcılar kullanarak reaksiyona girebileceği kısımlar oluşturur ve bu sayede üç boyutlu ağ yapıları oluşmaktadır. Doymamış polyesterler ve vinil monomerleri (reaktif seyrelticiler) doymamış polyester reçineler olarak bilinmektedir. Seyreltik doymamış polyester reçineleri oda sıcaklığında 200-2000 cps aralığında viskozitelere sahiptir [29].

Ticari uygulamalarda vinil monomerinin miktarı %30-50 arasında değişir. Vinil monomeri, doymamış polyester zincirlerini birbirine bağlamanın yanında ön polimeri çözme görevi de yapar. Ayrıca elde edilecek polyesterin özelliklerini de etkiler. Stiren; düşük viskozitesi, doymamış polyesteri iyi çözmesi ve düşük fiyatı nedeniyle en yaygın kullanılan monomerdir.

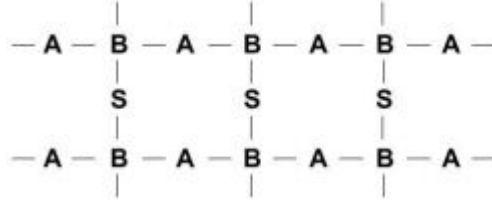
Buna karşın yanıcıdır ve sağlık açısından zararlıdır. Fazla stiren alındığında, doymamış polyester zincirleri arasındaki hacim artar ve termoset polimerin sertliği azalır. Daha da fazla stiren kullanımında ise, polistiren özelliklerinin baskın olduğu çapraz bağlı polyester elde edilir [30].

Şekil 3.4'deki şematik gösterim bir polyester zincirini göstermektedir. B ler molekül içerisindeki reaktif bölümlerdir [31].



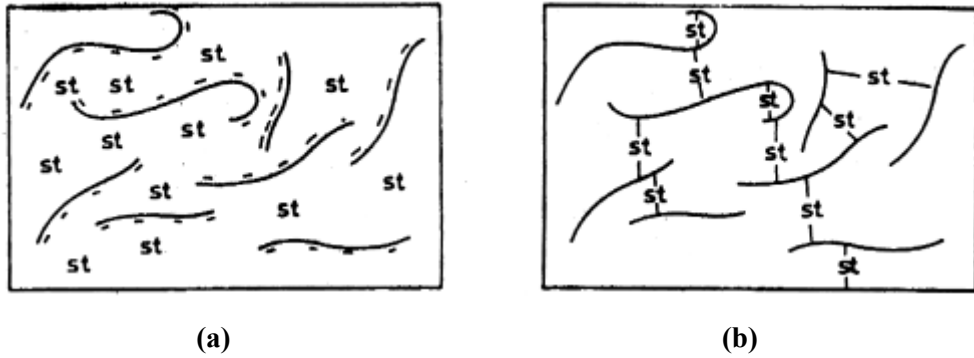
**Şekil 3.5 :** Kürleşmemiş polyester zincirinin şematik gösterimi [31]

Stiren ve katalist varlığında reaktif bölümler çapraz bağlanarak üç boyutlu büyük bir ağ oluşumu sağlanmaktadır. S ler stireni simgelemektedir [31].



**Şekil 3.6 :** Kürleşmiş polyester zincirinin şematik gösterimi [31]

Doymamış polyester reçinenin kürleşme reaksiyonu reaktif seyreltici (örneğin: stiren monomeri) ve polyester yapısının arasında oluşan serbest radikal zincir büyümeli çapraz bağlanma polimerizasyonudur. Stiren polyester yapısı üzerine bağlanırken (Şekil 3.6), polyester moleküllerin çapraz bağlanması sağlanmaktadır [29].



**Şekil 3.7 :** Doymamış polyester zincirleri a) Kürleşmemiş b) Kürleşmiş [29]

Doymamış polyesterlerin kalitesi, çapraz bağ yakınlığına bağlıdır. Çapraz bağ yoğunluğu arttıkça polimerlerin modülü ve ısıl kararlılığında yükselme olur, buna karşın darbe dayanımı düşer.

Polyesterin tek başına polimerizasyon süresi uzundur, katalizör ve hızlandırıcı kullanılarak reaksiyon hızlandırılır. Kullanılan malzemelerin miktarlarına dikkat edilmelidir. Örneğin fazla katalizör çok hızlı jelleşmeye sebebiyet verirken, az katalizör de kür zamanını uzatır. Katalizör eklenmeden önce diğer tüm malzemeler dikkatli bir şekilde karıştırılmalıdır. Reçine içerisinde hava kabarcıklarının

oluşmamasına dikkat edilmelidir. Eğer hava kabarcıkları oluşur ise bunlar kalıplamadan sonra malzemede zayıf noktaların oluşmasına sebebiyet verirler.

Polimerin sertleşme zamanı kullanılan başlatıcının bozunma sıcaklığıyla ilgilidir. Başlatıcının bozunma sıcaklığı üzerinde yapılan kalıplamalarda, aşırı radikal üretileceğinden istenmeyen yan tepkimeler gerçekleşir ve ürün kalitesi düşer. Doymamış polyesterlerin çapraz bağlanmaları oda sıcaklığında hızlandırıcı adı verilen maddeler kullanılarak da yapılabilir. Bu tür uygulamada hızlandırıcı ve başlatıcı kalıplamadan önce polyesterle karıştırılır [30].

Polyester reçinelerin saklama süreleri düşüktür, kolayca jelleşebilirler. Bunu önlenmesi için reçine üretimi sırasında reçine içerisine geciktirici inhibitörler eklenebilir.

Doymamış polyesterlerin; kolay işleme, uçucu yan ürün oluşturmama, hızlı çapraz bağlanma, açık renk, boyutsal kararlılık gibi avantajları vardır. Ayrıca fiziksel ve elektriksel özellikleri de iyidir. Kimyasal maddelerden fazla etkilenmezler. Matris karışımının bileşimi ayarlanarak alevlenmeye, kimyasallara ve yaşlanmaya karşı dirençleri arttırılabilir [30].

Bunun yanında polyester reçinenin sertleşme sırasında kendini çekme oranı (%5-12) yüksektir. Bu durum liflerin basma gerilimi altında burkulmasına neden olabilir. Bu nedenle malzemenin basma gerilimleri altındaki dayanımı düşüktür ve düzgün yüzey elde etmek güçtür. Özellikle alkali ve bazik ortamlarda korozyon dayanımı düşüktür. Bünyesine su alarak bozunur [32].

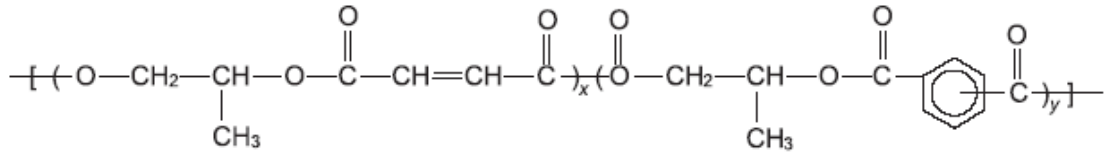
Polyester reçineler yapıları itibariyle aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [29]:

- 1) Orto-reçineler
- 2) Izoreçineler
- 3) Bifenol-A fumaratlar
- 4) Klorendikler
- 5) Vinil Ester Reçineler



**Orto-reçineler:** Orto-reçineler genel kullanımlı reçineler olarak da bilinen reçinelerdir. Yapıları fitalik anhidrit (PA) , maleik anhidrit (MA) veya fumarik asit ve glikollerden oluşmaktadır. Fitalik anhidrit düşük bir maliyete sahiptir ve ana yapıda esnek olmayan bir bağlanma sağlamaktadır. Bunun yanı sıra tabakaların ısıl dayanımlarını düşmesine neden olmaktadır. Bu tip reçinelerin diğer önemli dezavantajları ise limitli kimyasal dayanım ve limitli işlenebilirliğe sahip olmasıdır [29].

**İzoreçineler:** Bu reçineler izoftalik asit, maleik anhidrit/fumarik asit ve glikol ile oluşturulmaktadır. Orto reçinelere göre daha yüksek viskoziteleri olan bu reçinelerin fiyatları da daha yüksektir. Daha yüksek miktarda stirene ihtiyaç duyan bu reçinelerin, ihtiva ettiği stiren miktarının yüksek olması kürleşen yapının su ve alkali direncinin artmasını sağlamaktadır. Genel olarak izoreçineler daha yüksek kalite, daha iyi ısıl ve kimyasal dayanım ve geliştirilmiş mekanik özellikler sağlamaktadır [29].



**Şekil 3.8 :** İzofthalik reçinenin kimyasal yapısı [29]

**Bifenol-A fumarat:** Bifenol-A'nın ana zincir yapısı yüksek derecede sertlik ve ısıl özelliklerde gelişmişlik sağlamaktadır. Etoksi yapılu bisfenol-A'nın fumarik asit ile reaksiyonu sonucu sentezlenirler [29].

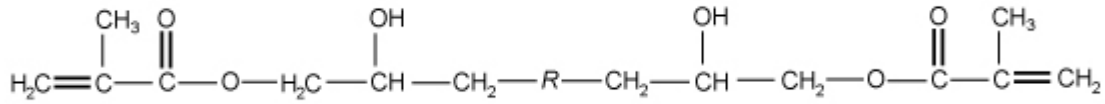
**Klorendikler:** Doymamış polyester reçine içerisine katılan klorin/bromin içeren anhidrit ve fenoller, reçinenin güç tutuşurluk özelliklerini geliştirmekte ve dolayısıyla klorendik asit veya klorendik anhidritin maleik anhidrit/fumarik asit ve glikol ile reaksiyona girmesiyle genel kullanımdaki reçinelere göre daha geç tutuşan reçineler elde edilmektedir [29].

**Vinil ester reçineler:** Vinil ester reçineler, doymamış polyester reçineler grubunda bulunan, özellikleri itibariyle epoksiye benzer nitelikler taşıyan ve genel kullanım polyester reçinelere göre daha üstün performans gösteren reçinelerdir.

Vinil ester reçineler, yapısında stiren monomeri ve epoksi reçine ve metaakrilik asit katkı ürünlerini barındıran termoset reçinelerdir. Dolayısıyla bazen epoksi vinil ester olarak da adlandırılmaktadırlar. Fiyat ve performans olarak polyester ve epoksi reçinelerin arasında yer almaktadırlar. Vinil esterler polyester gibi oda sıcaklığında hızlıca kürleşebilmektedir ve epoksiye benzer bağlanma ve kimyasal direnç performansı göstermektedir [31].

Vinil esterler yüksek modüllü yüksek yük taşıma ve kimyasal dirence sahiptir. Bu sayede daha düşük fiyat, yüksek dayanıklılık, hızlı uygulama ve daha iyi kimyasal dayanım istenen yerlerde kullanım miktarı yüksektir. Özellikle kompozitlerde, akrilik bağlamalarında ve ABS plastik endüstrisinde iyi nem dayanımı sebebiyle tercih edilmektedir [31].

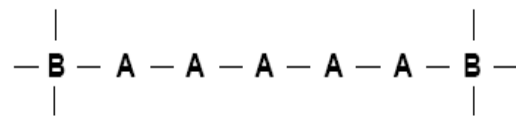
Epoksi reçineler birçok farklı polimerlerle karıştırılarak farklı reçine kombinasyonlarının oluşmasına izin verebilmektedir. Bu polimerlerden biri de akrilattır ve vinil esterlerin yapısı bu kombinasyon ile oluşmaktadır [29].



**Şekil 3.9 :** Vinil ester reçinenin kimyasal yapısı [31]

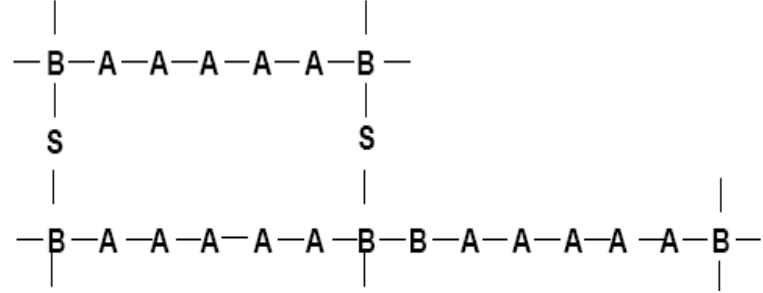
Vinil esterlerin daha yüksek kimyasal dayanıma sahip olmalarının sebebi vinil esterin yapısında ester bağlarının polyestere göre daha az bulunmasıdır. Ester bağları sadece moleküllerin sonunda bulunmaktadır. Bu sayede polyesterle karşılaştırıldığında hidrolizle zarar görme ihtimali daha azdır. Bu durum özellikle yüksek pH'lı alkali çözeltilerinde ve birçok kimyasal bozunumda daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır [31].

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi polyesterden farklı olarak reaktif bölümler sadece uçlarda bulunmaktadır.



**Şekil 3.10 :** Kürleşmemiş vinil esterinin şematik gösterimi [31]

Kürleşme sonrası polyestere nazaran daha sağlam bir yapı elde edilmektedir.



Şekil 3.11 : Kürleşmiş vinil ester in şematik gösterimi [31]



#### 4. LİTERATÜR

Kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar, birçok farklı alanda hızla devam etmekte ve kompozit malzeme araştırmaları güncelliğini korumaktadır. Pazarda yaygın olarak kullanılan mevcut ürünlerin yanı sıra, konuyla ilgili çok farklı alanlarda yürütölmekte olan araştırmalar sonucu her geöen gün yeni kompozit malzemeler piyasada yerini almaktadır.

Kompozit malzemelerle ilgili yürütölen yeni öalışmaları, hedefleri itibariyle farklı başlıklar altında toplayabilmek mümkündür. Bunlardan ikisi çevresel duyarlılık ve yenilenebilir kaynaklara yönelme hedefiyle son on yılda büyük bir ivme kazanmış olan “doğal lif takviyeli ve biobozunabilir kompozit malzemeler”, diğeri ise atıkların değerlendirilmesi amacı güden “atık malzemelerden kompozit üretimi” dir.

Literatür araştırması kapsamında, takviye malzemesi olarak kullanılacak olan pamuk lifleri baz alınarak doğal lif takviyeli termoset matrisli kompozit ve atık takviyeli kompozit öalışmaları incelenmiş ve özetlerine iki farklı başlık altında yer verilmiştir.

##### 4.1 Doğal Lif Takviyeli ve Biobozunabilir Kompozit Malzemeler

Bilindiği üzere inşaat, uçak, otomotiv, plastik endüstrisi gibi farklı alanlarda lif takviyeli kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit yapıyı desteklemek ve güçlendirmek adına kullanılan takviye lifleri çoğunlukla cam, boron, karbon, aramid gibi insan yapımı malzemelerdir ve düşük yoğunlukta sağladıkları yüksek performans ile oldukça tercih edilen malzemeler konumuna gelmişlerdir. Geötiğimiz son on yıl içerisinde doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen liflerin kompozit malzemelerde kullanımına yönelik çok sayıda öalışma yapıldığı görölmektedir. Öalışmaların ortak gayesi biobozunabilirliği düşük olan yapay lifler yerine biobozunabilirliği yüksek lifler kullanarak, kullanım sonrası çevresel problemlere neden olmayacak yeni kompozit malzemeler geliştirmek ve yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelmektir.

Doğal liflerin bazı avantajları arasında; bol, yenilenebilir, yeniden değerlendirilebilir, düşük maliyetli, düşük yoğunluklu ve kolay işlenebilir malzemeler olması sayılabilir.

Doğal liflerin, kompozitler için takviye olarak kullanıldıklarında dezavantajları ve sınırlamaları ise arayüzeysel yapışmanın yeterli olmaması, nem emmeye direncinin az olması, yaklaşık 200°C ye kadar sınırlanmış işleme sıcaklığının olması ve düşük boyutsal kararlılığının olmasıdır [33]. Özellikle liflerin zayıf nem direncine sahip ve hidrofilik yapıda olmaları hidrofob yapıda olan polimerler ile etkileşimde arayüzün zayıf kalmasına sebep olmaktadır ve gelişmiş mekanik özellikler elde edebilmek için uygulanacak çeşitli işlemlerle yüzey yapısının arayüz oluşumuna uygun hale getirilmesi sağlanabilmektedir.

Doğal lifler olarak çoğunlukla bitkisel lifler kullanılmasına rağmen az miktarda da olsa hayvansal lif olan ipek lifi kullanımı da görülmektedir [34,35]. Çalışmalar incelendiğinde bitkisel lif takviyesi olarak; tekstil endüstrisinde en çok kullanılan lif olan pamuk lifi ve keten gibi liflerin kullanımının yanı sıra araştırmanın yapıldığı bölgeye özgü liflerin ve zirai ürünlerin kompozit olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi adına araştırmalarda yer aldığı görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan jüt, rami, sisal, bambu, hindistan cevizi, kapok gibi liflerin; genellikle Güney Amerika, Afrika ve Hindistan gibi bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen liflerdir ve ilgili araştırmaların bu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.

Araştırmaların ortaya koyduğu ürünlerin hemen hemen hepsinde polimerin (saf reçine) mekanik özelliklerde iyileşme olduğu ve özellikle darbe dayanımının lif takviyesiyle yüksek oranda geliştiği görülmektedir [36-42]. Yüksek performanslı liflerden oluşan kompozit yapılarla karşılaştırıldığında ise doğal lifli kompozitlerin dayanım değerlerinin daha düşük değerler verdikleri görülmektedir. Bu sebeple ürünlerin kullanım alanları için yüksek mekanik performans gerektiren alanlar yerine, daha basit kullanım alanları önerilmektedir. Dolayısıyla cam, karbon, aramid vb. takviyeli kompozitler yerine alternatif bir malzeme olarak sunulmaktan daha çok, düşük ve orta yükleri taşıyabilecek masa, raf, kapı gibi iç mekân uygulamaları veya çatı, otomobil parçası, drenaj panelleri gibi dış mekân uygulamalarında kullanılabilecekleri ifade edilmiştir [40,41].

Daha önce de bahsedildiği gibi biobozunabilirlik doğal liflere yönelişte önemli paya sahip bir unsurdur. Doğal liflerle yapılan çalışmaların bazıları bu konuyu daha geri planda tutarak dayanım, maliyet, yoğunluk gibi konulara odaklanırken; aslında biobozunabilir kompozitler ayrı bir başlık altında toplanabilecek değerde, önemli ve kapsamlı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. “Yeşil kompozitler” olarak da

adlandırılan doğaya dost kompozitlere olan ilgi, çevresel duyarlılığın artmasına paralel olarak artış göstermektedir. İlgili çalışmalarda biobozunabilir takviye elemanlarının yanısıra biobozunabilir polimerler kullanılarak çevreye daha dost malzemeler oluşturulmaya çalışılmaktadır.

Aşağıda konuyla ilgili yayınlanmış çeşitli makalelerin özet içeriklerine yer verilmiştir:

Joffe, Wallström ve Berglund un 2001 yılında yayınladıkları çalışmada keten lifi ile üç farklı polyester reçine, iki epoksi reçine ve vinil ester reçine kullanılarak RTM yöntemi ile farklı kompozit yapılar oluşturulmuştur ve cam takviyeli benzer yoğunlukta kompozit yapıyla karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda doğal lifli kompozitlerin cam takviyeli kompozitlere göre elastisite modülü ve dayanımlarının daha yüksek olduğu, birim şekil değiştirmelerinin ise daha düşük olduğu görülmüştür. Kırılma dayanımı testinde ise doğal lifli kompozitler, saf reçineler ve cam takviyeli kompozitler arasında en iyi değerleri veren cam takviyeliler olmuştur. Reçinelerin doğal lifli kompozitler üzerinde etkisine bakıldığında ise reçinelerin saf haldeki büyük farklılıklarının kompozitlere yansımadağı görülmüş ve kompozitlerin hasar mekanizmalarında matrisin etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca farklı yük taşıma özelliklerinin farklı arayüz oluşumlarına bağlı olduğu söylenmiştir [43].

Carvalho, d'Almeida ve arkadaşlarının 2003 yılında yayınladıkları bu çalışmada bezayağı dokuma rami-pamuk karışımı kumaşlar polimer matrisli kompozitte takviye olarak kullanılmıştır. Kompozitler pres kalıpları ile hazırlanmış ve kumaşlar kalıp boyutunda kesilerek tabaka tabaka yerleştirilmiştir. Kompozitin çekme dayanımı rami liflerinin oryantasyonu ve hacimsel miktarına bağlı olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda gerilme kuvvetlerini kontrol eden ana parametrenin gerilme eksenine yönüne paralel rami hacimsel miktarı olduğu görülmüştür. Pamuğun etkisinin ise minimum düzeyde olduğu görülmüştür. İçerisinde hacimsel olarak %45 rami içeren kompozitin, saf polyester plaka ile karşılaştırıldığında %338 daha iyi gerilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür [44].

Carvalho, d'Almeida ve arkadaşlarının 2004 yılında yayınladıkları çalışmada jüt/pamuk, sisal/pamuk ve rami/pamuk kumaş takviyeli doymamış polyester kompozitlerin ısı geçirenlik, ısı iletkenlik ve spesifik ısıları incelenmiştir. Bu

özellikler kumaş düzlemine hem paralel hem de dik olarak ölçülmüştür. Sonuçlar paralel ölçümlerin daha yüksek değerler verdiğini göstermiştir. Reçine ihtiva etmeyen kumaşlarından da ısıl özellikleri belirlenmiştir ve teorik seriler ve paralel model denklemleriyle kompozitlerin özellikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneysel ve teorik değerler karşılaştırılmıştır. Genel olarak kompozitlerin ısıl geçirgenlik, ısıl iletkenlik ve spesifik ısıları saf reçinelere göre daha yüksek çıkmıştır ve teorik hesaplamalarda bulunan değerler paralel ölçümde bulunanlara yakın değerler olmuştur [45].

Dhakal ve arkadaşlarının 2006 yılında yayınladıkları çalışmada dokunmamış kumaş yapısında bulunan kenevir lifleri ile doymamış polyesterden, elle yatırma ve pres kalıplama yöntemlerinin kombinasyonu ile kompozit yapılar oluşturulmuştur. Elde edilen kompozitler 25°C (oda sıcaklığı) ve 100°C (kaynama sıcaklığı) sıcaklıkta suya daldırılmış ve sonrasında çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre lif miktarının artışı, selüloz miktarı ve boşluk miktarının artışına bağlı olarak su emilim miktarını arttırmış; su alımının artışı lif-matris arayüz oluşumunu olumsuz etkilemiş dolayısıyla hem çekme hem de eğilme özelliklerinde azalma gözlenmiştir [46].

Carvalho, d'Almeida ve arkadaşlarının 2006 yılında yayınladıkları bir başka çalışmada ise matrisi polyester reçine olmak üzere dokuma ve örme kumaşlardan aynı şartlar altında farklı kompozit yapılar oluşturulmuş ve çekme ve darbe özellikleri incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda kompozitin çekme özelliklerinin kumaş yapısıyla ilişkili olduğu görülmüştür. Değişik açılardaki yönlenmelerin dokuma kumaşlı kompozitlerde etkili olduğu ama örme kumaşlarda pek etkili olmadığı görülmüş ve daha yüksek oryantasyon ve daha iyi reçine empregnasyonu sebebiyle dokuma kumaşların örme kumaşlara göre daha iyi çekme özelliklerine sahip olduğu söylenmiştir. Hem dokuma takviyeli hem de örme takviyeli kompozitler saf reçineye göre daha iyi darbe dayanımı göstermekle beraber, örme kumaş takviyeli kompozitlerin dokuma takviyelilere göre daha iyi değerlere sahip olduğu görülmüştür [36].

Medeiros ve arkadaşlarının 2005 yılında yayınladıkları çalışmada jüt/pamuk karışımı dokuma kumaş takviyesiyle oluşturulan fenolik kompozitlerin çekme, eğilme, darbe ve dinamik mekanik termal özellikleri incelenmiştir. Oluşturulan yapıların farklı test açılarında ölçümleri gerçekleştirilmiş ve anizotropik özellik gösteren bu



kompozitlerin 0 derece(jüt iplikleri boyunca) den 90 dereceye gidildikçe mekanik özelliklerinde önemli miktarda düşüş gözlenmiştir. Bu sebeple oluşturulan kompozit yapılarda tek açılı yönlenme yerine farklı açılarda takviye yönlenmeleri kullanılarak daha homojen yapıların oluşturulabileceği söylenmiştir. Bunun yanı sıra jüt ipliklerin kalınlıklarındaki artışın mekanik özellikleri arttırdığı ve iyi bir takviye malzemesi olarak kullanılabilceği; bunun yanı sıra pamuk liflerinin de sert bozunmayı önlediği söylenmiştir [37].

Singleton, Baillie ve Beaumont'un 2003 yılında yayınladıkları çalışmada, dokunmamış keten kumaş ve şişelerin geri dönüşümüyle elde edilmiş olan yüksek yoğunluklu polietilen filmlerinden, elle yatırma ve pres kalıplama yöntemleri ile oluşturulmuş olan tabakalı kompozitlerin çekme ve darbe davranışları incelenmiştir. Kompozitin oluşturulması kumaş ve film tabakalarının dikdörtgen bir kalıpta kat kat serilerek 8 MPa basınç ve 155°C sıcaklıkta 15 dakika kalıplanması ile gerçekleştirilmiştir. Farklı keten lifi oranlarında üretilen numunelerden elde edilen sonuçlara göre liflerin hacimsel oranının artmasının lif kümelenmesine bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerindeki değişkenliğin artmasına sebebiyet verdiği söylenmiş ve kompozitlerde delaminasyon, yarık köprülerinin oluşumu ve mikro çatlaklar gibi farklı deformasyon ve kırılma biçimlerinin görüldüğünden bahsedilmiştir [38].

Tserki, Matyinos ve Panayiotou nun 2003 yılında yayınladıkları çalışmanın amacı; son yıllarda atık yönetimi bilinciyle yönelinen biobozunabilir kompozitlerin oluşturulması adına biobozunabilir polyester içerisine, boyları 1,8 cm den kısa iplikhane atığı pamuk liflerinin katılarak, kompozitin performansının artırılması ve maliyetinin azaltılmasıdır. Çalışmada hidrofil pamuk ve hidrofob polyester arasındaki uyumsuzluğun giderilmesi için pamuk liflerine, pamuğun hidrofilik özelliğini azaltıcı kimyasal işlem uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda kimyasal işlemin; daha iyi ıslanma ve adezyon sağladığı, SEM görüntülerinde de bunun belirgin olarak görüldüğü, dolayısıyla mekanik özellikleri iyileştiği belirtilmiştir. Ayrıca su emiliminin kimyasal eklenmesiyle azaldığı, ısı kararlılığın ise arttığı, biobozunabilirlikte ise belirgin bir değişikliğin olması ifade edilmiştir [39].

Ahmed ve Vijayarangan'nın 2007 yılında yayınladıkları çalışmada jüt liflerinden oluşturulmuş olan kumaş ve izotalik polyester elle yatırma yöntemi ile kalıplanarak kompozit yapılar oluşturulmuş ve çekme, eğilme, basma, kesme ve darbe

dayanımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda saf polyestere göre kompozitin çekme dayanımının yaklaşık %84, eğilme dayanımının %209 ve darbe dayanımının ise %611 (0.408'lik hacimsel jüt miktarı) oranlarında daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak oluşturulan malzemenin cam takviyeli polyesterin yerini alamayacağı ama orta ve düşük yüklemelerin olduğu alanlarda kullanılabileceği söylenmiştir [40].

Shibata ve arkadaşlarının 2004 yılında yayınladıkları çalışmada üç farklı biobozunabilir polyester film (PBS, PLA ve PHBV) kullanılmış ve lyocell liflerinden dokuma kumaşlar ile tabakalar halinde serilerek; ısı ve basınçla kompozitler oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucunda lifleri eklenmesi her üç polyesterin de dayanım ve çekme modüllerini arttırmıştır. Bozunma testi kompozitlerin 30, 60 ve 90 gün süreyle sabit ortam şartlarında toprak altında bekletilmesi ve bu sürenin sonunda kompozitlerdeki ağırlık kaybının ölçümüyle yapılmıştır. Kompozitler, saf lyocelle göre daha düşük bozunabilirliğe sahipken (ağırlık kayıpları daha az), en yüksekte düşük'e ağırlık kaybı sıralaması şu şekilde olmuştur: PHBV>PBS>PLA [47].

Gowda ve arkadaşlarının doğal lifli kompozitlerle ilgili yapmış oldukları çalışmada, çekme, kesme, eğilme, darbe ve basma dayanımları yanında sertlik ölçümü testleri de uygulanmıştır. Yapılan testlerden elde edilen veriler sonucunda, kompozitlerin cam takviyeli kompozitlere rakip olamayacağı, ama odun esaslı kompozitler ve bazı plastikler için iyi bir rakip olabileceği söylenmiş; raf, masa üstleri, paneller gibi iç mekân uygulamaları ve hatta çatı, otomobil parçaları, drenaj boruları gibi dış mekân uygulamalarında kullanılabileceğine değinilmiştir. Dış mekân uygulamaları için öncelikle su ve hava şartlarına dayanımlarının araştırılması gerektiği belirtilmiştir [41].

Jiang ve Hinrichsen'in 1999 yılında yayınladıkları çalışmada esas olarak polimer film ve lif tabakalarının katmanlar halinde serilerek ısı ve basınç ile preslenmesi için en uygun ısı, basınç ve süre değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yüksek ısının polimerin akışkanlığı ve liflerin ıslanmasını arttırdığı ama bunun yanı sıra doğal liflerde ısı bozunma, polimerde ise zincir bozunma, oksidasyon gibi problemlere yol açabileceği belirtilmiştir. 140°C, 150°C ve 160°C derecelerde yapılan çalışmalarda en iyi çekme ve eğilme değerlerinin 150°C de oluşturulan kompozitlere ait olduğu söylenmiştir [48].

Jiang ve Hinrichsen'in bir önceki çalışmalarının devamı niteliğindeki bu çalışmada oluşturulan kompozitlerin kalınlığa bağlı olarak biobozunabilirlik oranlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. 10 haftalık bozunabilirlik deneyi sonucunda daha kalın polyester ve amid filmlerinin kullanıldığı kompozitlerin daha ince olanlara oranla daha az bozdukları görülmüş ve bozunmanın kalınlığa bağlı olduğu ifade edilmiştir. Kompozitlerin içerisindeki doğal lif varlığının biobozunabilirliği arttırdığı; çünkü doğal liflerin damar (fitillenme) etkisi yaratarak iyi su ve mikroorganizma transferi ve dağıtımını sağladığı belirtilmiştir [49].

1999 yılında Mwaikambo ve Bisanda tarafından yayınlanmış olan çalışmada, Tanzania bölgesinde yetiştirilen ve fiyatı pamuk lifinin onda biri kadar ucuz olan kapok liflerinin kompozit yapı içerisinde kullanımı hedeflenmiştir. Kapok/pamuk oranı 3:2 olan dokuma kumaşlar ve polyester reçine kullanılarak elle yatırma ve ısı ile kürleştirme ile kompozitler üretilmiştir. İşlem öncesi arayüz oluşumunu geliştirmek için %5'lik sodyum hidroksit muamelesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda cam takviyeli polyester kompozite göre %40 daha düşük yoğunlukta ve yaklaşık %85 daha yüksek darbe dayanımı elde edilmiştir [42].

Carvalho ve arkadaşlarının 2007 yılındaki çalışmalarında hibrid bir kumaş yapısı kullanılmıştır ve esas olarak lif yönlenmelerinin etkileri incelenmiştir. Kullanılan kumaşta jüt iplikleri çözü, pamuk iplikleri atkıda bulunmaktadır. Kumaş yerleşimleri [0]; [0/90]; [0/90/0]; [90/0/90] ve [0/90/0/90] olarak yapılmış ve yönlenmelerin etkisi incelenmiştir. Jüt liflerinin ölçüm yönündeki miktarlarının artışı, çekme dayanımlarını arttırmıştır ve 90/0/90 yönlenmesi 0/90/0 yönlenmesine göre daha iyi sonuç vermiştir. En iyi sonuç ise ağırlık oranına bağlı olarak 0/90/0/90 yönlenmesindedir. Pamuk lifinin takviye etkisi göstermediği, sadece yardımcı eleman olarak yer aldığı ama dokuma makinelerinin genellikle pamuk lifine göre tasarlanmış olmaları sebebiyle pamuk kullanımına yer verildiği belirtilmiştir [50].

#### **4.2 Atık Malzemelerden Kompozit Üretimi**

Atık malzeme, insan faaliyeti sonunda ortaya çıkan ve üretenin işine yaramayan her türlü madde olarak tanımlanmaktadır. Atıkların oluşum sonrası çevresel problemlere yol açmaması için kontrolü gereklidir. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden biri, atık malzemelerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek tekrar kullanımıdır. Bu sayede değersiz sayılan ürünler hammadde veya yan ürün olarak başka ürünlerde

kullanılabilmekte ve hem çevresel hem ekonomik olarak büyük faydalar sağlanabilmektedir.

Atıkların bu şekilde değerlendirilebilmesi için, atıkların kullanılabileceği yeni ürün fikirleri ve tasarımlarına ihtiyaç vardır. Bu aşamada çeşitli kompozit yapıların geliştirilmesi uygulanan yöntemlerden biridir. Özellikle atık plastiklerin tekrar işlenerek kullanımı oldukça yaygın bir yöntem olup, matris malzemesi olarak kullanıldıkları çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Takviye malzemelerine bakıldığında ise ülkemizde yerfıstığı kabuğu, antepfıstığı kabuğu gibi çeşitli tarımsal atıkların kullanıldığı kompozit malzeme tasarım çalışmaları olduğu görülmektedir [51-53].

Tekstil malzemelerine bakıldığında ise atık lif ve kumaşların değerlendirilmeye çalışıldığı birkaç çalışmaya rastlanmaktadır. Aşağıda atık malzemelerin değerlendirilmesine yönelik yapılmış çeşitli çalışmaların özet içeriklerine yer verilmiştir:

Bateman ve Wu tarafından 2001 yılında yayınlanan bu çalışma atık tekstil malzemesinin değerlendirilmesi adına oldukça güzel bir örnektir. Çalışmada atık halılardan yararlanılması amacıyla naylon hammaddeli halı ve düşük yoğunluklu polietilenden oluşan kompozitler hazırlanmıştır. Halılar yaklaşık 30cm<sup>2</sup>'lik parçalara kesilmiştir ve ilk önce polietilenle lamine edilmiştir. Daha sonra lamine edilmiş parçalar bir giyotinle doğranmış ve bir pelletleyici yardımıyla ekstrüzyona uygun boyutlarda pelletler haline getirilmiştir. Ekstrüzyon işleminden sonra enjeksiyon makinesiyle kompozitler oluşturulmuş ve çekme testleri ASTM 638 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme modülü en yüksek değere %50 halı takviyeli kompozitte ulaşırken; çekme dayanımı, uzama ve spesifik çekme enerjisi takviye oranı azaldıkça azalmakta ve en yüksek değerlere saf polietilende ulaşmaktadır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise yapıya eklenen polietilen kopolimerleri ile arayüz iyileştirilerek çekme özelliklerinin daha yüksek değerlere ulaşması sağlanmıştır [54].

Priya ve arkadaşları tarafından 2005 yılında yayınlanmış olan çalışma, Hindistan bölgesinde üretilen ipek kumaşlardan oluşan atıkların değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Tekrar kullanımı mümkün olmayan atık ipek kumaşlar, epoksi reçine kullanılarak kalıplanmış ve farklı takviye oranlarında kompozit yapılar oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucunda çekme ve eğilme özelliklerinin takviye

oranı yükseldikçe, arttığı görülmüştür. %25 ipek kumaş oranında saf epoksiye göre %65 daha yüksek çekme dayanımı ve yaklaşık %30 daha yüksek eğilme dayanımı elde edildiği ifade edilmiştir. Kimyasal olarak da solvent ve bazı bazlara karşı iyi bir dayanıma sahip olduğu görülmüştür [34].

Priya ve arkadaşlarının bir önceki çalışmalarının devamı niteliğindeki bu yayınlarında ise atık ipek kumaşlarla oluşturulan epoksi matrisli kompozitlerin darbe ve bası özellikleri ve bunun yanı sıra yoğunluk, boşluk oranı ve ağırlık düşüşü özellikleri incelenmiştir. Standartlara göre yapılan testler sonucunda darbe dayanımının ve bası dayanımının takviye oranının yükselmesiyle arttığı ve %25 ipek kumaş takviyeli kompozitin saf epoksi ile karşılaştırıldığında darbe dayanımının yaklaşık %83, bası dayanımının yaklaşık %50 arttığı belirtilmiştir. Kompozitlerin yoğunluk ve ağırlıkları ipeğin yoğunluğunun daha az olması sebebiyle, saf epoksiye göre daha düşük değerler vermiştir. Boşluk oranının da takviye oranı arttıkça azaldığı görülmüştür [35].

Arnold, Brien ve Moody'nin 2006 yılında yayınladıkları bu çalışmada inşaat ve tarım sektöründe çokça kullanılan polipropilen çuvalların, kullanımları sonrasında su ile temizlenerek ve parçalara bölünerek kompozit yapımı ile değerlendirilmesi amacı güdülmektedir. Çalışmada polipropilen kumaşların hem elle 3cm genişliğinde şeritler halinde kesilmesi ve 0, 45 ve 90 derecelik açılarla serilmesi hem de endüstriyel üretime daha yatkın olması amacıyla makine ile kırılarak gelişigüzel serilmesi şeklinde farklı teknikler kullanılmıştır. Polietilen filmlerin polipropilen tabakaların birleştirilmesi ısı ve basınç ile kalıplama ile yapılmıştır, polietilenin eridiği ama polipropilenin ermediği sıcaklıklarda çalışıldığında iyi performans özellikleri elde edildiği görülmüştür. Gelişigüzel serimlerin düzgün serimlere göre çok daha düşük çekme, eğilme ve darbe dayanımı gösterdiği görülmüştür. Elde edilen malzemelerin ucuz olduğu ve dış ortamda kullanılan odun esaslı benzer plakaların yerini alabileceği ve geri dönüşümlerinin mümkün olduğu vurgulanmıştır [55].

Singleton ve arkadaşları tarafından 2003 yılında yayınlanan bu çalışmada dokunmamış keten kumaş ve şişelerin geri dönüşümüyle elde edilmiş olan yüksek yoğunluklu polietilen filmlerinden, elle yatırma ve baskı kalıplama yöntemleri ile oluşturulmuş olan tabakalı kompozitlerin çekme ve darbe davranışları incelenmiştir. Kompozitin oluşturulması kumaş ve film tabakalarının dikdörtgen bir kalıpta kat kat serilerek 8 MPa basınç ve 155°C sıcaklıkta 15 dakika kalıplanması ile

gerçekleştirilmiştir. Farklı keten lifi oranlarında üretilen numunelerden elde edilen sonuçlara göre liflerin hacimsel oranının artmasının lif kümelenmesine bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerindeki değişkenliğin artmasına sebebiyet verdiği söylenmiş ve kompozitlerde delaminasyon, yarık köprülerinin oluşumu ve mikro çatlaklar gibi farklı deformasyon ve kırılma biçimlerinin görüldüğünden bahsedilmiştir [56].

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1 Amaç

Bu çalışmada, tekstil kumaş atıklarıyla takviyelendirilen polimer matrisli kompozitlerin deneysel olarak çekme dayanımı ve darbe dayanımı gibi çeşitli performans değerlerinin eldesi ve bu değerlerin istatistikî analizlerinin yapılması amaçlanmaktadır. Kullanılan polimere kumaş takviyesinin eklenmesiyle, plastiğin bazı performans özelliklerinde gelişme sağlanması aynı zamanda atık formundaki kumaşların değerlendirilmesi ve bu sayede çevresel bir kazanç oluşumu ön görülmektedir.

Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında takviye malzemesi olarak iki farklı kumaş (pamuklu ve PET-OR) kullanılmış ve üretilen malzemelerin çekme ve darbe dayanım özellikleri test edilmiştir.

Birinci aşamada gerçekleştirilen çalışmaların hedefleri şu şekildedir:

- 1)Yapılan deneyler sonucunda istatistiksel analizi yapılacak olan numunelerin sayısını arttırabilmek üzere, aynı üretim parametreleriyle benzer plakalar üretebilmeyi sağlamak ve istatistiksel olarak benzerlikleri doğrulamak.
- 2)Takviye hammaddesinin kompozit malzemenin çekme ve darbe dayanım özellikleri üzerindeki etkisini incelemek: Türkiye tekstil sanayinde en çok üretimi olan pamuk ve polyester kumaşların aynı ağırlık oranında ve aynı oryantasyonda, kompozit malzeme içerisinde kullanımının nasıl bir etkisi olacağı incelenmesi hedeflenmiştir.
- 3)Takviye malzemesinin boyut ve ortanyasyonunun kompozit malzemenin çekme ve darbe dayanım özellikleri üzerindeki etkisini incelemek: Tekstil sanayinde üretim aşamasına bağlı olarak kumaş atıkları, büyük metrajlarda ve sürekli veya küçük parçalar halinde olabilmektedir. Bu sebeple atık kumaşların kullanımının hedeflendiği bu çalışmada farklı boyuttaki kumaşların kullanımının dayanım değerlerini nasıl etkileyeceğinin belirlenmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu amaçla aynı kumaş ve reçine

miktarları kullanılarak hem sürekli hem de küçük parçalı kumaşlardan numunelerin hazırlanması ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılarak değerlendirme yapılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşaması, birinci aşamadan elde edilen değerler ve bilgiler ışığında planlanmıştır. Bu aşamada farklı bir polyester kumaş (PET-VN) kullanılarak üretime devam edilmiş ve malzemelerin darbe dayanım özellikleri test edilmiştir.

İkinci aşamada gerçekleştirilen çalışmaların hedefleri şu şekildedir:

- 1) Takviye malzemesi olarak kullanılacak küçük boyutlu kumaşlarda kontrollü olarak boyut etkisini incelemek ve darbe dayanım değerleri üzerinden en uygun boyutun belirlenmeye çalışılmak: Küçük parçalı kumaşların boyut etkilerini incelenmek üzere, kumaşlar belirli ve farklı boyutlarda kesilmiş ve etkileri incelenmiştir
- 2) Takviye malzemesinin kompozit içerisindeki ağırlıksal oranının dayanım değerleri üzerindeki etkisini incelemek: Diğer tüm parametreler aynı olmak üzere takviye ağırlık oranı %20, %30 ve %40 olan kompozit plakalar üretilerek darbe dayanımları üzerindeki etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

## 5.2 Malzeme

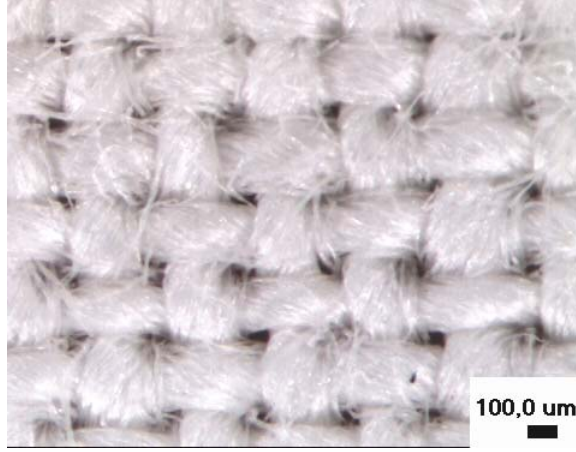
### 5.2.1 Takviye malzemeleri

Çalışmada takviye malzemesi olarak biri %100 pamuk diğerleri %100 polyester esaslı olmak üzere üç farklı bezayağı kumaş kullanılmış. Kumaşların stereo mikroskopla x20 büyütmeyle çekilmiş görüntüleri Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Kumaşlara ait bazı bilgilere Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de yer verilmiştir.

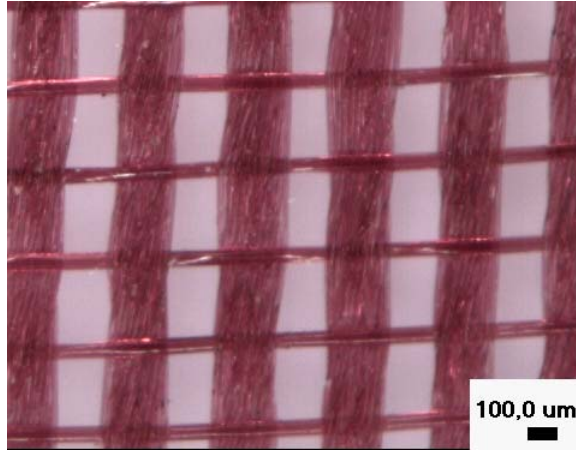
**Çizelge 5.1 : Kullanılan takviye malzemelerinin çeşitli özellikleri**

Takviye malzemesi	Gramaj (gr/m <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)	Çözümlü Sıklığı (Tel/cm)	Atkı Sıklığı (Tel/cm)
Pamuklu Kumaş	121	0,23	41	35
PET-OR	36	0,08	39	29
PET-VN	49	0,15	30	28

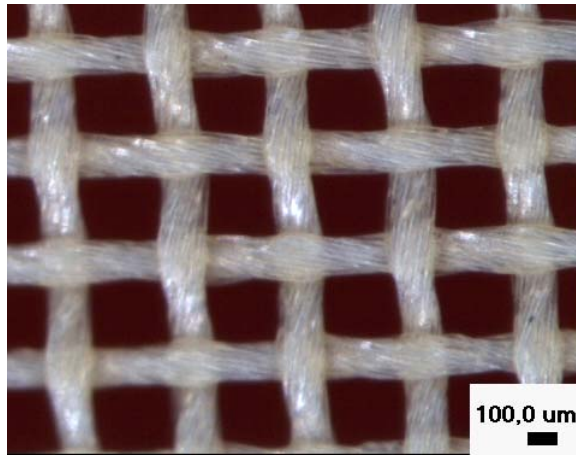




**Şekil 5.1** : Pamuklu kumaş görüntüsü (x20 büyütme)



**Şekil 5.2** : PET - OR polyester kumaş görüntüsü (x20 büyütme)



**Şekil 5.3** : PET – VN polyester kumaş görüntüsü (x20 büyütme)

**Çizelge 5.2 : Kullanılan takviye malzemelerinin çekme deneyi sonuçları**

Takviye malzemesi / Yön	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)
Pamuklu Kumaş / Çözümlü Boyuna	41,40	19,73
Pamuklu Kumaş / Atkı Boyuna	40,93	11,30
PET-OR/ Çözümlü Boyuna	38,27	21,50
PET-OR / Atkı Boyuna	110,67	22,89
PET-VN/ Çözümlü Boyuna	54,74	39,93
PET-VN/ Atkı Boyuna	54,20	36,44

### 5.2.2 Matris malzemesi

Yapılan kompozit çalışmalarında matris malzemesi olarak kullanılan reçine pres kalıplama yöntemleri için kullanımı uygun olan ortoftalik tip polyeşter reçinedir (Crystic 703PA-Scott Bader).

Kullanılan reçine önceden hızlandırılmıştır. Dolayısıyla üretim işleminde hızlandırıcı ek bir kimyasal kullanımına gerek kalmamaktadır. Reçinenin jelleşme reaksiyonunun başlayabilmesi için ise kompozit üretim işleminden önce %2 oranlarında katalist (Butanox M50) ihtivası gerekmektedir. Katalist reçineye doğrudan ilave edilmekte ve belli bir süre karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmeye çalışılmaktadır. Sıvı reçinenin bazı özelliklerine Çizelge 5.3’de yer verilmiştir.

**Çizelge 5.3 : Sıvı reçinenin özellikleri**

Özellikler		Sıvı Reçine
Viskozite (25°C’de)	Poise	1.6
Uçuculuk	%	28
Bekleme Süresi (Karanlıkta ve 20°C’de)	Ay	3
Jelleşme Süresi (20°C, %1.5 Butanox M50)	Dakika	124

Polyester reçinenin plaka halinde mekanik özelliklerini belirleyebilmek için ilk önce takviye malzeme kullanılmadan 3 mm kalınlığında %100 polyeşter’den mamul bir plaka üretilmiş olup, bu malzemenin çekme ve darbe dayanım testleri yapılmıştır. Elde edilen ortalama değerler Çizelge 5.4’de verilmiştir.

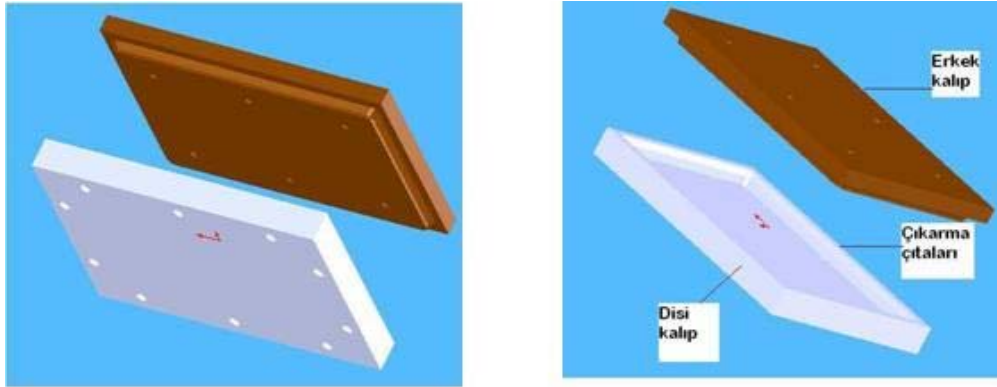
**Çizelge 5.4 :** Doymamış polyester plakanın çekme ve darbe deneyi sonuçları

Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	16,47
Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	1316,54
Çekme Kırılma Uzaması (%)	0,91
Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	16,4

Plakalar öncelikle oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiş, daha sonra 80°C de 3 saat süreyle kürleştirilmiştir.

### 5.3 Yöntem

Polimer matrisli kompozit üretim yöntemlerinden biri olan pres kalıplama işlemi gerek ucuzluğu gerekse kolay uygulanabilirliği nedeniyle kompozit malzeme üretim yöntemi olarak seçilmiştir. Kalıplama işlemi için ilk olarak 300\*500\*70 cm boyutlarında, tekstil atıklarıyla polimer matrisli kompozit oluşturmaya uygun alüminyum malzemeden kalıp aşağıda görünen şekilde imal edilmiştir.



**Şekil 5.4 :** Kalıbın üç boyutlu görünümü

Pres kalıplama işlemi için kullanılan kalıp, kompozit üretimi için özel imal edilmiş olup, gerek polimerin kalıba yapışma probleminin karşı portatif çitalarıyla gerekse erkek kalıptan elde edilecek ürünün kalınlığının 3, 6 ve 9 mm olarak ayarlanabilmesinin imkân veren tasarımıyla son derece kullanışlıdır.

Detayları yukarıda anlatılan kalıp kullanılarak presle kalıplama işlemi aşağıdaki işlem basamakları ile gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak takviye olarak kullanılacak kumaşlar sürekli veya süreksiz olmasına bağlı olarak göre istenilen boyutlarda kesilmektedir (Şekil 5.5).

Kumaşlar hazırlandıktan sonra kalıba polimer malzemenin kalıba yapışmasını engellemek için kalıp ayırıcı (vazelin) ince bir şekilde sürülmektedir (Şekil 5.5). Üretilen malzemenin kolay çıkarılabilmesini sağlayan çıtalara ait civata delikleri ve çıkartma delikleri yine aynı şekilde polimere karşı vazelinle doldurulmaktadır.



**Şekil 5.5 :** Kumaşların hazırlanması ve kalıbın vazelinlenme işlemleri

Dişi kalıbın vazelinleme işleminin hemen ardından kalıp boşluğu üretilen malzemenin kalıptan çıkarılmasını kolaylaştıran yumuşak asetat kâğıdı ile kaplanmaktadır. Asetat kâğıdının üstü de vazelinlenmektedir.

Aynı işlemler erkek kalıbın dişi kalıpla temas ettiği yüzey için de tekrarlanmaktadır.

Kalıbın hazırlanmasından sonra kompozit üretimi için kullanılacak polimerin (polyester) hazırlanma işlemine geçilmektedir (Şekil 5.6). Yapılacak kalıplama işlemi için uygun oranlarda polyester tartıldıktan sonra içine %2 oranda sertleştirici katkı ilave edilerek yaklaşık 5 dakika karıştırılmaktadır.



**Şekil 5.6 :** Reçinenin hazırlanması

İstenen boyutlarda kesilen kumaşlar derin bir kaba konulduktan sonra hazırlanan polyester reçine her kumaş parçasını ıslatabilecek şekilde kumaş parçalarının üzerine dökülmekte ve ıslanan kumaş parçaları kalıba serilmeye hazır hale gelmektedir (Şekil 5.7).



**Şekil 5.7 :** Kumaşın reçine ile ıslatılması

Kumaş parçaları kalıba serilmenden önce sıkılarak optimum reçine emilmesi sağlanmaktadır.

Sıkılan kumaş parçaları eğer sürekli ise her iki ucundan gerginlik verilerek kalıba serilmektedir (Şekil 5.8). Her iki serimden sonra kumaşın sıkılmasından elde edilen reçineler kalıba dökülür ve bir sıyırıcı yardımıyla eşit dağılımı sağlanır. Eğer küçük boyutlu kumaşlar ile çalışılıyor ise, parçalar olabildiğince düzgün bir biçimde -yerel kalınlık farklarının en az olmasına dikkat edilerek- kalıplama alanına yerleştirilmektedir.



**Şekil 5.8 :** Reçineyle ıslatılmış sürekli kumaşların kalıba serim işlemi

Yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra erkek kalıp dişi kalıbın üzerine konularak kalıp kapatılır (Şekil 5.9).



**Şekil 5.9** : Kalıbın kapatılması

Üzerine herhangi bir kuvvet uygulanmadan kapatılan kalıp (Şekil 5.9), sıkıştırmanın sağlanması için kalıp boyutlarına uygun şekilde yaptırılan atölye tipi masa üstü kalıp alıştırma presi tablasına yerleştirilir (Şekil 5.10).

Presin tablasına yerleştirilen kalıbın üzerine, presle uygulanan basıncın eşit dağılması için sıkıştırma levhası konulur. Bu şekilde kalıp preslenmeye hazır hale gelmektedir.

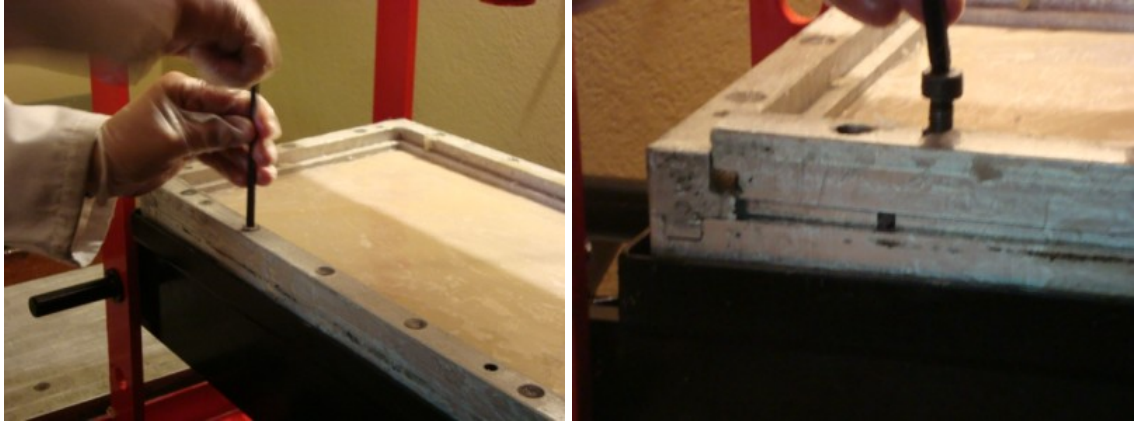


**Şekil 5.10** : Kalıbın prese yerleştirilmesi

Sıkıştırma işlemine hazır hale gelen kalıbımıza presin üzerinde bulunan kol vasıtasıyla basınç uygulanarak 24 saat bekletilir.

24 saat bekleme süresinden sonra kalıbın üzerindeki basınç, presin üzerindeki vana vasıtasıyla boşaltılır. Basıncı yaymaya yarayan sıkıştırma levhası alındıktan sonra erkek kalıp bir levye yardımıyla dişi kalıptan ayrılır.

Uzun çıtalardan herhangi biri, cıvataları çıkarıldıktan sonra, üzerinde bulunan çıkarma deliklerine yine aynı cıvatalarla çektirme uygulanarak dişi kalıptan ayrılır (Şekil 5.11). Ön kürleşmesi tamamlanan kompozit plaka spatula yardımıyla kalıptan kolayca sıyrılarak alınır.



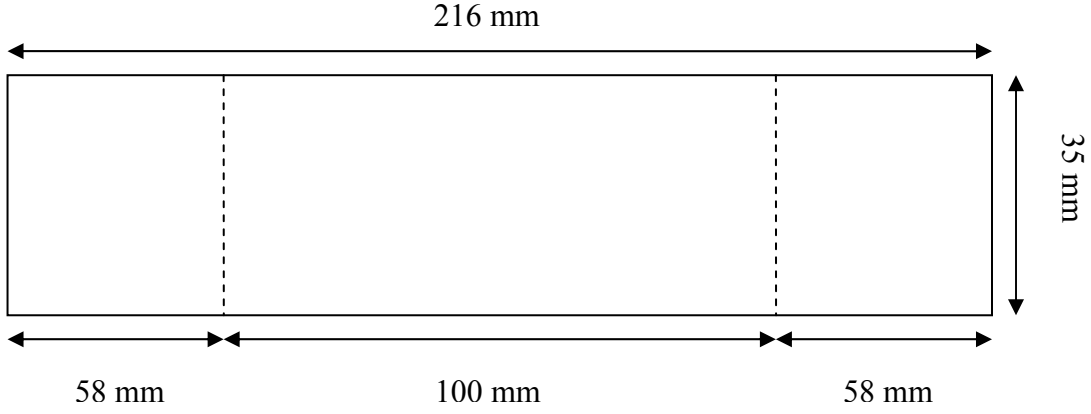
**Şekil 5.11** : Ön kürleşmesi tamamlanmış kompozitin kalıptan çıkarılma işlemi

Son olarak üretilen plaka 80°C'lik fırında 3 saat süreyle bekletilerek kürleşirme işleminin tamamlanması sağlanır.

## 5.4 Deneyler

### 5.4.1 Tek eksenli çekme deneyi

Kompozitlerin tek eksenli çekme deneyi ASTM D3039 standardına göre yapılmıştır. Numunelerin her iki ucuna ve her iki tarafına (ön ve arka) olmak üzere dörder pleksiglas sap, numune gövdesine polyester yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır. Sapların eni 35 mm ve uzunluğu 58 mm olup, kalınlıkları 5 mm'dir. Standarda göre sapların, numunenin çenelerden kopmasının önlenmesi için kullanılması tavsiye edilmektedir. Saplı çekme deney numunelerinin boyutları Şekil 5.12' de gösterilmiştir.



**Şekil 5.12 :** ASTM D3039 standart çekme deney numunesi boyutları

Oda sıcaklığındaki tek eksenli çekme deneyi 50 kN kapasiteli vidalı ve video ekstensometreli Shimadzu AG-IS (Şekil 5.13) çekme cihazında yapılmıştır.



**Şekil 5.13 :** Shimadzu AG-IS çekme deney cihazı

#### **5.4.2 Charpy darbe deneyi**

Darbe deneyleri; malzemelerin dinamik yüklere karşı darbe dayanımını belirlemek için yapılan bir deneylerdir. Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerin darbe dayanımları Charpy deney cihazı kullanılarak belirlenmiştir.





**Şekil 5.14 :** Charpy deney cihazı

ASTM D6110 standardına göre 12,7 mm en ve 127 mm boyunda kesilen numunelerin, boyuna yönde tam ortalarından ve tek taraftan 45°'lik bir çentik açılmıştır. Numuneler cihaza, çentiklerinin ağzı çekicinin geliş yönünün tersine olacak biçimde yerleştirilmekte ve ortalanmaktadırlar.

Yapılan ön denemeler sonucu elde edilen veriler ışığında 6 Joule ve 12 Joule kapasitesindeki çekiçlerin deneyler için uygun olacağı düşünülmüştür.



## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Elde edilen plakaların boyutlarının kalıp boyutuna bağılı olarak kısıtlı olması sebebiyle bir plakadan elde edilen numune adetleri yüksek tutulamamaktadır. Çalışmanın birinci aşamasında, bu problemin aşılabilmesi için aynı kumaş ve reçine ağırlıklarına sahip plakaların tekrarlı olarak üretilmesi ve aynı özelliklere sahip numune sayısının artırılması hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında %25 kumaş ağırlık oranı hedeflenmiş, 3 adet sürekli pamuk kumaş takviyeli (C-S), 3 adet kırpıntı pamuk kumaş takviyeli (C-K), 3 adet sürekli PET-OR polyester kumaş takviyeli (PS22) ve 2 adet kırpıntı PET-OR polyester kumaş takviyeli (PK) plakalar üretilmiştir.

Sürekli kumaş takviyeli plakalarda kumaşlar 23 cm x 43 cm boyutlarında, uzun kenar çözümlü yönü olmak üzere kesilmiş ve hep aynı yönlü olmak üzere belirlenen kat sayılarında serilmiştir. İstenilen takviye ağırlık oranının elde edilebilmesi için gramajları (Çizelge 5.1) farklı olan bu iki kumaştan farklı kat sayılarında serim yapılmıştır. Polyester kumaştan 22 kat kumaş serilirken, pamuklu kumaştan 8 kat serim yapılmıştır.

Kırpıntı kumaş takviyeli plakalarda kullanılan kumaşlar ise 1 cm<sup>2</sup>-3 cm<sup>2</sup> boyutlarında gelişigüzel olarak kesilmiş ve gelişigüzel olarak serilmiştir.

Sürekli serilmiş ve küçük parçalara bölünerek gelişigüzel serilmiş kumaş takviyeli plakaların üretiminde eşit miktarlarda kumaş ve reçine kullanılmıştır. Kürleşme sonrası elde edilen plakalar tartılarak da plakaların son ağırlıkları ölçülmüştür. Çizelge 6.1'de de görülebileceği gibi plakaların son ağırlıkları, kumaş ve reçinenin toplam ağırlıklarından daha düşük olmaktadır. Bu durum kullanılan reçinenin bir kısmının uçması, üretim sırasında reçinenin bir kısmının karışım kabında ve kalıpta kalması gibi sebeplerden dolayı oluşmaktadır.

**Çizelge 6.1 : Üretilen kompozit plakaların özellikleri**

Numune Kodu	Kumaş Miktarı (gr)	Reçine Miktarı (gr)	Üretilen Plaka Ağırlığı (gr)	Takviye ağırlık oranı (%)	Üretilen Plaka Kalınlığı (mm)
C-S-1	90	306	309	29,13	2,8-3
C-S-2	89	306	315	28,25	2,8-3
C-S-3	90	306	323	27,86	2,8-3
C-K-1	90	306	348	25,86	3-3,1
C-K-2	90	306	367	24,52	3-3,2
C-K-3	90	306	355	25,35	3-3,2
P-S-22-1	77	245	254	30,31	2,5-2,7
P-S-22-2	78	245	259	30,12	2,5-2,7
P-S-22-3	76	245	253	30,04	2,5-2,7
P-K-1	78	245	306	25,49	2,8-3
P-K-2	78	245	310	25,16	2,8-3

Sürekli kumaş takviyeli plakalara bakıldığında hem pamuk hem de polyester kumaş takviyeliler için ortalama %21'lik ağırlık kaybı olduğu, kırpıntı kumaş takviyeli plakalarda ise hem pamuk hem de polyester kumaş takviyeliler için ortalama %10'luk ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Sürekli ve kırpıntı arasındaki bu farkın, kumaşların küçük parçalara bölünerek yüzey alanlarının artması ve reçineyi daha iyi hapsedmesi sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir.

Tüm plakalar için %25'lik takviye ağırlık oranının hedeflenmiş olmasına rağmen sürekli kumaş takviyeli plakalarda bu oran %30'lar civarındadır. Kırpıntı kumaş takviyeli plakalarda ise istenilen oranlara ulaşılabilmektedir.

Plakaların benzer yapılara sahip olup olmadığının daha iyi anlaşılabilmesi için performans özelliklerinin de benzer değerler verip vermediğinin incelenmesi gerekmektedir. Bu sebeple yapılan testler sonucunda elde edilen değerlerin benzerlikleri de incelenecektir.

### **6.1 Plaka Benzerliklerinin İstatistiksel Analizi**

Aynı grup numuneden elde edilen birden fazla plakanın benzer performans özellikleri gösterip göstermediğinin anlaşılabilmesi için, deney numuneleri üzerinden istatistiksel karşılaştırmalar yapılması yöntemine başvurulmuştur. Üretimi tamamlanan her plakadan eşit adetlerde darbe deney numunesi elde edilmiştir. Daha

sonra gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen dayanım değerleri, aynı özellikler taşıyan plakaların benzerliklerinin incelenmesi için karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma istatistikî olarak yapılmış ve hipotez testlerinden t-testinin kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Analizler SPSS programı kullanılarak yapılmıştır.

### 6.1.1 Sürekli pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması

Deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler ve standart sapmaları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

**Çizelge 6.2 : C-S kompozit plakaların darbe deneyi sonuçları**

	Yön (°)	Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
CS-1	0	24,3	2,0
CS-2	0	30,5	2,6
CS-3	0	32,8	4,6
CS-1	45	29,9	3,0
CS-2	45	38,1	3,3
CS-3	45	34,8	4,3
CS-1	90	24,6	2,3
CS-2	90	30,5	4,9
CS-3	90	31,5	5,3

Yapılan t-testi sonucunda elde edilen p değerleri ise Çizelge 6.3’de verilmiştir. Karşılaştırmalar 1. ve 2. plaka, 1. ve 3. plaka ve 2. ve 3. plakalar arasında yapılmıştır. Çizelge 6.3’de görüldüğü üzere tüm p değerleri 0,01’den büyüktür yani, %99 güven aralığında plakalar birbirlerine benzerdir denilebilmektedir.

**Çizelge 6.3 : C-S plakalarından elde edilen p değerleri**

Yön (°)	CS-1 vs CS-2	CS-1 vs CS-3	CS-2 vs CS-3
0	0,036	0,068	0,473
45	0,029	0,165	0,346
90	0,164	0,140	0,802

Bunun yanı sıra sürekli pamuklu kumaş takviyeli 1. plaka ile 2. ve 3. plakaların karşılaştırıldığı analizlerde p değerleri düşüktür. Bu durumun sebebi 1. plakadan elde edilen darbe dayanım değerlerinin daha düşük bir ortalama sahip olmasıdır. Üretim aşamasındaki hassasiyetin daha arttırılmasıyla plakalar arasındaki farklılıkların en aza indirgenebileceği düşünülmektedir.

### 6.1.2 Sürekli polyester kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması

Deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler ve standart sapmaları Çizelge 6.4'de verilmiştir.

**Çizelge 6.4 : P-S-22 kompozit plakaların darbe deneyi sonuçları**

	Yön (°)	Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
P-S-22-1	0	41,8	20,9
P-S-22-2	0	84,6	14,3
P-S-22-3	0	73,6	25,3
P-S-22-1	45	108,4	21,2
P-S-22-2	45	101,5	1,1
P-S-22-3	45	90,5	11,7
P-S-22-1	90	160,1	9,9
P-S-22-2	90	114,7	10,3
P-S-22-3	90	164,1	15,8

Yapılan t testi sonucunda elde edilen p değerleri ise Çizelge 6.5'de verilmiştir. Karşılaştırmalar 1. ve 2. plaka, 1. ve 3. plaka ve 2. ve 3. plakalar arasında yapılmıştır.

**Çizelge 6.5 : P-S-22 plakalarından elde edilen p değerleri**

Yön (°)	P-S-22-1 vs P-S-22-2	P-S-22-1 vs P-S-22-3	P-S-22-2 vs P-S-22-3
0	0,050	0,285	0,656
45	0,631	0,289	0,246
90	0,005	0,711	0,014

Sürekli polyester kumaş takviyeli 2 numaralı plakanın 90 derece yönündeki darbe dayanım değerleri diğer plakalara nazaran düşük bir ortalama vermektedir. Bu sebeple düşük p değerleri elde edilmiştir. Bu numune grubu dışındaki tüm gruplardan elde edilen p değerlerine bakıldığında plakaların %99 güven aralığında benzer oldukları söylenebilmektedir.

### 6.1.3 Kırpıntı pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması

Deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler ve standart sapmaları Çizelge 6.6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.6 : C-K plakaların darbe deneyi sonuçları**

	Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
C-K-1	27,3	4,0
C-K-2	44,9	23,0
C-K-3	38,1	13,8

Yapılan t testi sonucunda elde edilen p değerleri ise Çizelge 6.7’de verilmiştir. Karşılaştırmalar 1. ve 2. plaka, 1. ve 3. plaka ve 2. ve 3. plakalar arasında yapılmıştır.

**Çizelge 6.7 : C-K plakalarından elde edilen p değerleri**

	C-K-1 vs C-K-2	C-K-1 vs C-K-3	C-K-2 vs C-K-3
P Değerleri	0,052	0,051	0,458

Kırpıntı kumaş takviyeli numunelerde yöne bağlı bir davranıştan bahsedilememektedir. Dolayısıyla karşılaştırılabilir darbe deney numunesi sayısı 9’a çıkmaktadır. Çizelge 6.7’de görülebileceği üzere %99 güven aralığında her plakanın birbirlerine olan benzerliği istatistikî olarak doğrulanmaktadır.

#### **6.1.4 Kırpıntı polyester kumaş takviyeli kompozitlerin karşılaştırılması**

Deneyle sonucunda elde edilen ortalama değerler ve standart sapmaları Çizelge 6.8’de verilmiştir.

**Çizelge 6.8 : P-K kompozit plakaların darbe deneyi sonuçları**

	Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
PK-1	91,3	22,3
PK-2	73,9	23,6

Yapılan t testi sonucunda elde edilen p değerleri ise Çizelge 6.9’da verilmiştir. Karşılaştırmalar 1. ve 2. plakalar arasında yapılmıştır.

**Çizelge 6.9 : P-K plakalarından elde edilen p değeri**

	PK-1 vs PK-2
P Değeri	0,13

Dokuz adet numune üzerinden yapılan analiz sonucu %99 güven aralığında, üretilmiş olan iki plakanın benzer olduğu söylenebilmektedir.

## 6.2 Takviye Hammaddesinin Etkisi

Yapılan çalışmalarda takviye hammaddesinin değiştirilmesiyle kompozit malzemenin özelliklerinin nasıl bir değişiklik göstereceği incelenmeye çalışılmıştır.

Üretilen pamuklu kumaş takviyeli ve PET-OR polyester kumaş takviyeli plaklardan hem çekme hem de darbe deney numuneleri elde edilerek, deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen sürekli pamuklu ve sürekli polyester takviyeliler kendi aralarında, kırpıntı pamuk ve kırpıntı polyester takviyeliler kendi aralarında karşılaştırılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır.

### 6.2.1 Sürekli pamuklu ile sürekli polyester kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.10'da sürekli polyester (PET-OR) ve sürekli pamuklu kumaş takviyeli kompozit plakalardan darbe testi sonucunda elde edilen ortalama darbe dayanımı değerleri bulunmaktadır.

Her iki gruba ait plakaların takviye ağırlık oranı birbirlerine benzer olup %28-30 civarlarındadır ve plaka kalınlıkları da benzerdir (Çizelge 6.1).

**Çizelge 6.10 : P-S-22 ve C-S plakalarının darbe deneyi sonuçları**

	Yön (°)	Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
P-S-22	0	162,3	11,0
P-S-22	45	100,0	14,3
P-S-22	90	77,7	15,0
C-S	0	29,2	4,9
C-S	45	34,2	4,9
C-S	90	28,9	4,9
Saf Reçine	-	16,4	1,1

Polyester kumaş takviyeli numunelerden elde edilen darbe dayanımı değerleri her üç yönde de pamuklu kumaş takviyelilerden çok daha yüksek değerlerdedir (Çizelge 6.10). Polyestere nazaran daha gevrek yapıda olan pamuk liflerinin darbe kuvvetine maruz kaldığında daha düşük enerjilerde koptuğu düşünülmektedir.



Çizelge 6.11’de ise sürekli polyester ve sürekli pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları bulunmaktadır. Kumaşların atkı ve çözgü yönlerindeki çekme dayanımı değerlerine (Çizelge 5.2) bakıldığında en yüksek değerlerin polyester kumaşın atkı yönünde olduğu görülmektedir ve çekme testinde de en yüksek darbe dayanımı değerine bu yönde ulaşılmıştır. Pamuklu kumaşın atkı ve çözgü yönlerindeki değerleri ise birbirlerine oldukça yakın olup, bu değerlerin polyesterin çözgü yönündeki değerinden az miktarda yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 5.2).

**Çizelge 6.11 : P-S-22 ve C-S plakalarının çekme deneyi sonuçları**

	Yön (°)	E. Modül (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
P-S-22	0	864,37	65,80	27,14
P-S-22	45	975,44	35,66	29,74
P-S-22	90	1038,99	26,76	20,92
C-S	0	1108,84	21,23	2,19
C-S	45	1151,94	27,23	3,84
C-S	90	1191,36	28,18	4,24
Saf Reçine	-	1316,54	16,47	0,91

Kompozit plakaların çekme testi sonuçlarında, kumaşların çekme testi sonuçlarından elde edilen değerlere benzer ilişkiler bulunduğu görülmektedir. Örneğin P-S-22’nin 90 derece yönündeki çekme dayanımı değerleri C-S plakasının değerlerine oldukça yakındır (Çizelge 6.11). Aynı zamanda polyester kumaşın atkı yönü, çözgü yönünün neredeyse 2,5-3 katı kadar çekme dayanımına sahipken (Çizelge 5.2), P-S-22 plakasının 0 derecelik yönü de 90 derecelik yönünün yaklaşık 2,5 katı kadardır. Sonuç olarak kompozit plakaların çekme dayanımı değerlerinin polyester ve pamuk hammaddelerinden bağımsız olmak üzere takviye olarak kullanılan kumaşların çekme dayanım değerleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Malzemelerin % uzama değerlerine bakıldığında ise polyester takviyelilerin uzamalarının, kumaş formundaki çekme uzama değerlerine yakın olduğu, pamuklu kumaş takviyelilerin ise uzamalarının kumaş formundaki uzamalarına nazaran oldukça düşük olduğu görülmektedir. Pamuk kumaşın çekme uzamalarının %10 - %20 (Çizelge 5.2) civarlarında olmasına rağmen, reçine muamelesi sonrası aynı uzamalara ulaşamadığı görülmektedir. Bu durumun hidrofilik yapıdaki pamuk lifinin reçineyi yüzeyde tutmayıp, lif gövdesi içerisine alması ve reçinenin lif

içerisinde sertleşerek pamuk lifini daha gevrek bir yapıya dönüştürmesi sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir.

### 6.2.2 Kırpıntı pamuklu ile kırpıntı polyester kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Sürekli kumaş takviyeli kompozit plaklara benzer olarak, kırpıntı kumaş takviyeli plakalar karşılaştırıldığında da polyester kumaş takviyeliler, pamuklu kumaş takviyelilere nazaran daha yüksek darbe dayanımı değerlerine sahiptir (Çizelge 6.12). Bu durumun süreklilerde de olduğu gibi pamuk lifin daha gevrek olan yapısı sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir.

**Çizelge 6.12 : P-K ve C-K plakalarının darbe deneyi sonuçları**

	Darbe Dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
P-K	82,4	24,0
C-K	37,2	16,9
Saf Reçine	16,4	1,1

Çekme testi sonuçlarına bakıldığında ise sürekli numunelerdeki değerlere benzer olarak pamuk takviyelilerin daha yüksek elastik modül değerlerine ve düşük uzamalara sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 6.13). Her iki durumunda pamuğun gevrek yapısı sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Çekme dayanımı değerleri ise birbirlerine yakın olup, saf reçineye nazaran daha düşüktür.

**Çizelge 6.13 : P-K ve C-K plakalarının çekme deneyi sonuçları**

	E. Modül (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
P-K	767,20	14,51	3,84
C-K	1122,30	12,50	0,94
Saf Reçine	1316,54	16,47	0,91

### 6.3 Kumaş Boyut ve Oryantasyonunun Etkisi

Kompozit malzemelerde, takviye malzemesinin boyutları ve oryantasyonu malzemenin performansı üzerinde etkili oldukça önemli değişkenlerdir.

Bu çalışmada, mevcut kumaşlar kalıp boyutunda kesilerek hep aynı yönlü olarak kat kat yerleştirilmiş ve sürekli takviyeye sahip plakalar elde edilmiştir. Aynı kumaşlar gelişigüzel olarak küçük boyutlarda ( 1-3 cm<sup>2</sup>) kesilmiş ve gelişigüzel olarak serilerek kırpıntı (süreksiz) takviyeye sahip plakalar elde edilmiştir.

Hem pamuklu kumaş hem de PET-OR polyester kumaşı kullanılarak sürekli ve kırpıntı takviyeli plakalar elde edilmiştir. Karşılaştırmalar aynı hammaddeden plakaların sürekli ve kırpıntı takviyelileri arasında yapılmıştır.

### 6.3.1 Sürekli pamuklu ile kırpıntı pamuklu kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Darbe deneyi sonucu sürekli pamuklu kumaş takviyeli plakalar (C-S) ile kırpıntı pamuklu kumaş takviyeli plakalardan (C-K) elde edilen darbe dayanımı değerlerine Çizelge 6.14’de yer verilmiştir.

**Çizelge 6.14 : C-S ve C-K plakalarının darbe deneyi sonuçları**

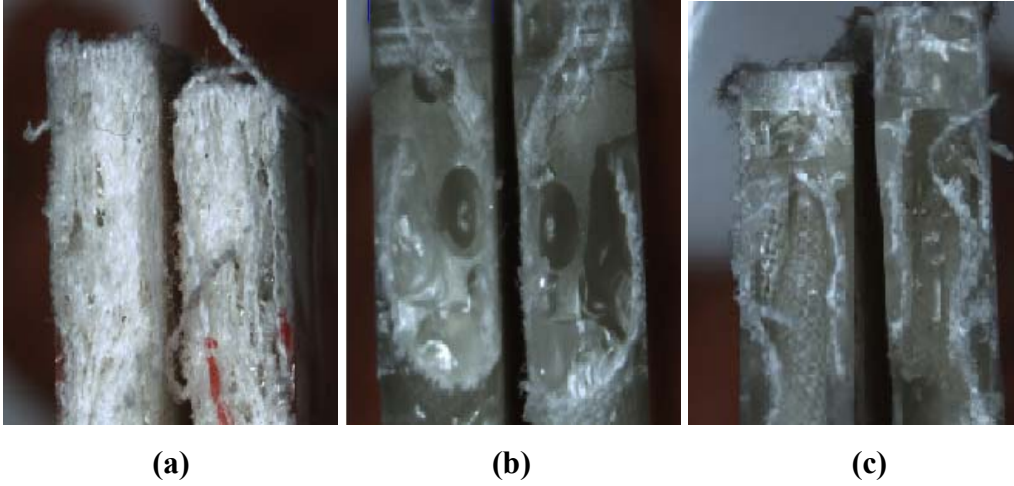
Kompozit Plaka	Yönlenme	Darbe dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
C-S	0	29,2	4,9
C-S	45	34,2	4,9
C-S	90	28,9	4,9
C-K	0	27,6	6,8
C-K	45	43,9	20,6
C-K	90	37,8	18,1
Saf Reçine	-	16,4	1,1

Sürekli kumaş takviyesine sahip C-S plakalarından elde edilmiş olan numunelerin standart sapma değerlerine bakıldığında gelişigüzel serilmiş kumaş takviyeli kumaşa göre daha düşük sınırlar dâhilinde olduğu görülmektedir. Küçük parçalar halinde kesilmiş ve gelişigüzel olarak serilmiş plakalarda düzenli bir içyapı bulunmamaktadır. Bu plakaların kesit görünümü incelendiğinde, yapıda yer yer kumaş yığılmaları, yer yer reçine birikmeleri olduğu ve sürekli kumaş takviyeli plakalara göre daha fazla hava boşlukları içerdiği görülebilmektedir.



**Şekil 6.1 : C-K plakalarının kesit görünümü**

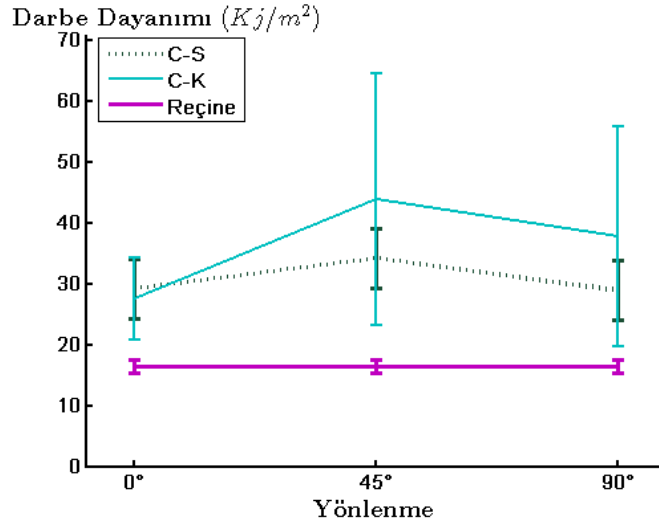
Bazı C-K numunelerinin darbe test sonuçları, C-S numunelerinin her üç yönüne nazaran daha yüksek değerler vermiştir. Bu numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde kırılma bölgelerinde kumaş yığılmaları (Şekil 6.2-a) olduğu görülmektedir. Bazı C-K numunelerinde ise C-S numunelerine nazaran oldukça düşük darbe dayanım değerleri elde edilmiştir. Bahsi geçen numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde ise bu bölgelerde reçine oranının (Şekil 6.2-b) yüksek olduğu ve/veya hava boşluklarının sıkça veya büyük boyutta (Şekil 6.2-c) bulunduğu bölgeler olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle hava boşluklarının yoğun olduğu bölgelerde dayanım oldukça düşmektedir. Hatta kırılma, numunedeki çentikli bölge yerine hava boşluğunun hâkim olduğu bölgede dahi gerçekleşebilmektedir.



**Şekil 6.2 :** C-K darbe deney numunelerinin kırılma yüzeyleri

a)Kumaş yığılmalı bölge b) Reçine birikmeli bölge c) Hava boşluklu bölge

Ortalama darbe dayanım değerlerine bakıldığında ise C-K numuneleri C-S numunelerine nazaran daha yüksek değerlere sahiptir. Bu durumun tesadüfî olup olmadığını anlaşılabilmesi için daha yüksek miktarda numune üzerinde çalışılmasının ve elde edilen verilerin üzerinden istatistikî analizlerin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

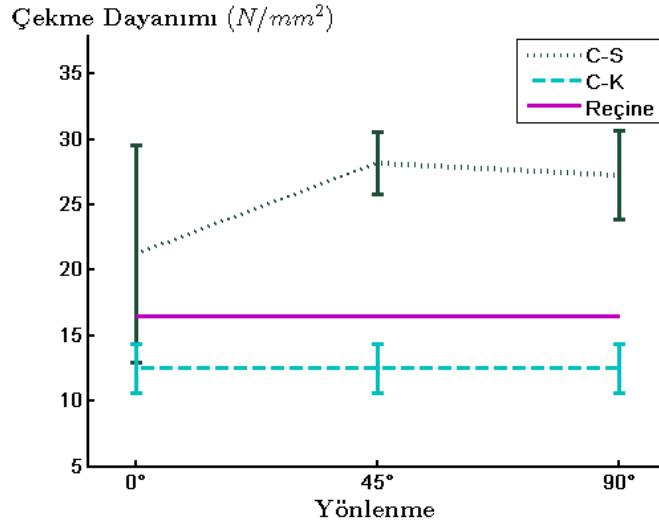


**Şekil 6.3 :** C-S ve C-K plakalarının darbe dayanım değerlerinin karşılaştırılması

**Çizelge 6.15 :** C-S ve C-K plakalarının çekme deneyi sonuçları

	Yönlenme	E. Modül (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
C-S	0	1108,84	21,23	2,19
C-S	45	1151,94	27,23	3,84
C-S	90	1191,36	28,18	4,24
C-K	-	1122,30	12,50	0,94
Saf Reçine	-	1316,54	16,47	0,91

Sürekli kumaş takviyeli numunelerin çekme dayanımları (Çizelge 6.15), saf reçinenin çekme dayanımıyla karşılaştırıldığında; plastiğin kumaş ile takviyelendirilmesiyle %70'e varan oranlarda dayanım artışı elde edilebileceği görülmektedir. Sürekli takviyelerde gözlenen bu artış C-K numunelerinde görülememektedir ve C-K'nin çekme dayanım değeri ortalaması saf reçineye göre daha düşüktür. Bu durumun küçük kumaş parçalı ve gelişigüzel serimli yapıya sahip C-K plakalarının hava boşluk miktarlarının oldukça yüksek olması sebebiyle oluştuğu düşünülmüştür.



**Şekil 6.4 :** C-S ve C-K plakalarının çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Pamuk kumaş takviyeli kompozitlerde, uzama saf reçineye nazaran 2-4 kat daha yüksek olmakla beraber polyester takviyelilere göre oldukça düşüktür. Pamuk kumaşın çekme uzamalarının %10-%20 civarlarında olmasına rağmen, reçine muamelesi sonrası aynı uzamalara ulaşamadığı görülmektedir. Bu durumun hidrofilik yapıdaki pamuk lifinin reçineyi yüzeyde tutmayıp, lif gövdesi içerisine alması ve reçinenin lif içerisinde sertleşerek pamuk lifini daha gevrek bir yapıya dönüştürmesi sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

### 6.3.2 Sürekli polyester ile kırpıntı polyester kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve çekme dayanımlarının karşılaştırılması

PS-22 ve PK numuneleri aynı tip kumaş ve reçine ile eşit kumaş ve reçine miktarlarıyla üretilmiş olan plakalardır. PS-22 numunesi sürekli olarak 22 kat serilmiş kumaştan, PK numunesi ise 1-3 cm<sup>2</sup>'lik boyutlarında gelişigüzel olarak kesilmiş kumaş parçalarından oluşmaktadır.

Kırpıntı kumaş takviyesine sahip numunelerin dayanım değerleri yüksek dağılım göstermektedir (Çizelge 6.16). Sürekli takviyelilerle karşılaştırıldığında genel olarak ortalama değerlere sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 6.16) Sürekli numunelerin 0 derecedeki en yüksek değerlerine ise, ulaşan kırpıntı kumaş takviyeli numuneler bulunmamaktadır.

**Çizelge 6.16 : P-S-22 ve P-K plakalarının darbe deneyi sonuçları**

	Yön (°)	Darbe dayanımı (Kj/m <sup>2</sup> )	Standart Sapma
P-S-22	0	162,3	11,0
P-S-22	45	100,0	14,3
P-S-22	90	77,7	15,0
P-K	-	82,4	24,0
Saf Reçine	-	16,4	1,1

Düzensiz dağılıma sahip ve küçük parçalı plakalardan elde edilen bu değerler beklenildiği gibi yüksek sapmalara sahiptir (Çizelge 6.16). Buna rağmen kırpıntı kumaş takviyeli numunelerden elde edilen değerler, sürekli ve düzenli bir içyapıya sahip numunelerden elde edilen darbe dayanımı değerlerine yakındır.

Değerler ortalama 16,4 K<sub>j</sub>/m<sup>2</sup> darbe dayanım değerine sahip saf reçineyle karşılaştırıldığında ise elde edilen dayanım kazançlarının P-K numunelerinde %500 civarı iken, sürekli takviyeye sahip P-S-22 numunelerinde %475-1000 aralığındadır.

Çekme dayanım değerlerine bakıldığında ise sürekli polyester kumaş takviyeli numunelerin dayanım değerlerinin saf reçineye nazaran daha yüksek olduğu görülebilmektedir (Çizelge 6.17). Aynı numunelerin elastik modül ortalamaları ise saf reçineye göre daha düşük iken, uzama (%) değerlerin oldukça yüksek olduğu görülebilmektedir.

Kırpıntı polyester kumaş takviyeli numunelerin ise çekme dayanım değerleri ve elastik modülleri saf reçineden daha düşüktür. Uzama(%) değerleri ise daha yüksektir (Çizelge 6.17).

**Çizelge 6.17 : P-S-22 ve P-K plakalarının çekme deneyi sonuçları**

	Yönlenme	E. Modül (N/mm <sup>2</sup> )	Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
P-S-22	0	864,37	65,80	27,14
P-S-22	45	975,44	35,66	29,74
P-S-22	90	1038,99	26,76	20,92
P-K	-	767,20	14,51	3,84
Saf Reçine	-	1316,54	16,47	0,91

Darbe testinden elde edilen kırılma enerjilerinde sürekli ile kırpıntı kumaş takviyeliler arasında çok büyük bir fark olmamasına ve saf reçineye göre yüksek dayanım kazançları elde edilmesine rağmen; çekme testi sonucunda elde edilen

değerler benzer niceliklerde değildir. Saf reçineye kırpıntı kumaşların eklenmesiyle dayanım kazancı elde edilememiş, aksine düşüş meydana gelmiştir.

Tek yönlü uygulanan çekme kuvvetine karşı gelebilecek sürekli bir elemanın var olmamasının bu düşüşün en önemli sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra kırpıntı kumaş takviyelilerin yapıları incelendiğinde hava boşlukları ve düzensiz serimden kaynaklanan ince bölgelerin varlığı açıkça görülebilmektedir. 7mm/dakika hızla çekme kuvvetine maruz kalan numunelerin bu zayıf bölgelerinde kısa bir süre içerisinde kırılmalar ve ayrılmalar meydana gelmektedir. Sonuç olarak düşük çekme dayanımları elde edilmiştir.

### 6.3.3 Boyut etkisinin kontrollü incelenmesi

Atık kumaşların değerlendirilmesi konusunda önemli noktalardan biri, çeşitli boyutlarda oluşabilen kumaş atıklarıyla, hangi boyutlarda çalışılırsa en iyi sonuçların alınabileceğidir.

Çalışmanın ikinci aşamasında; daha önceki çalışmalarda gelişigüzel olarak kesilen küçük kumaş parçaları daha düşük toleranslarla düzgün bir biçimde kesilmiştir. Bu sayede küçük parçalı atık kumaşların hangi boyutlarda çalışılırsa daha etkin olarak dayanımı arttıracığı incelenmeye çalışılmıştır.

Çalışma için 4 farklı boyut seçilmiştir. Seçilen boyutlar şu şekildedir:

- 2 cm x 0,5 cm (1 cm<sup>2</sup>)
- 2 cm x 1 cm (2 cm<sup>2</sup>)
- 2 cm x 3 cm (6 cm<sup>2</sup>)
- 2 cm x 6 cm (12 cm<sup>2</sup>)

Her kumaş boyutundan üretilen plakaların kumaş boyutları dışında diğer tüm üretim parametreleri aynıdır. Plakalar ait üretim bilgileri Çizelge 6.18'de verilmiştir.

**Çizelge 6.18 : Üretim parametreleri**

Üretim Yöntemi	Pres kalıplama (kalıp alanı 230 cm x 430 cm)
Kullanılan takviye	PET-VN (%100 polyester bezayağı dokuma)
Kullanılan reçine	Crystic 703 PA (doymamış polyester reçine)
Uygulanan basınç	4 ton
Kürleşme	24 saat oda sıcaklığı, 3 saat 80 °C



Kompozit malzemelerin ağırlıksal takviye oranları ise %20, %30 ve %40 olarak seçilmiş ve her takviye tipi için üç farklı takviye oranında malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

Daha önceki çalışmalarda 2 ton olarak uygulanan pres basıncı 4 tona çıkarılmıştır. Basınç artışının malzemenin daha düzgün bir yapıya ulaşmasını sağlayacağı düşünülmüştür. Bu sayede daha iyi dayanım değerleri elde edileceği beklenmektedir.

Daha önceki çalışmalarda kırpıntı kumaşlar ile çekme dayanımından kazanç sağlanamaması ve darbe dayanımında yüksek oranda artışların elde edilebilmesi sebebiyle, çalışmalara darbe testleri üzerinden devam edilmiştir.

Çekme test numunelerin iptal edilmesiyle bir plakadan 19 adet darbe test numunesi elde edilmesi mümkün olmuştur. Hatalı numunelerin ayrılmasıyla ortalama 14 adet numune teste tabi tutulabilmiştir. Numune sayısının artışıyla istatistiksel analizin daha güvenilir şekilde yapılabilmesi sağlanmıştır.

Planlaması yapılan plakaların üretim aşamasında herhangi bir problem oluşmamıştır. Plakalar genel olarak düzgün bir görünüme sahiptir. Daha önce üretilmiş olan plakalara nazaran daha düzgün olmalarının uygulanan basıncın yüksek olması ve kumaş parçalarının daha homojen boyutlarda üretilmiş olmasından dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra gelişigüzel serimden kaynaklanan yerel incelik ve yerel kalınlıklar üretilen her plakada birkaç farklı noktada görülen hatalardır.

Üretilen plakalardan darbe test numunesi elde edilmesi aşamasında, plakaların hatalı kısımlarına denk gelen numuneler yığından ayrılmıştır. Test aşamasına gelindiğinde ise çekiç darbesi sonucunda kırılma göstermeyen veya çentikten değil de numunenin farklı bir bölgesinden kırılan numuneler istatistiksel analize katılmamıştır.

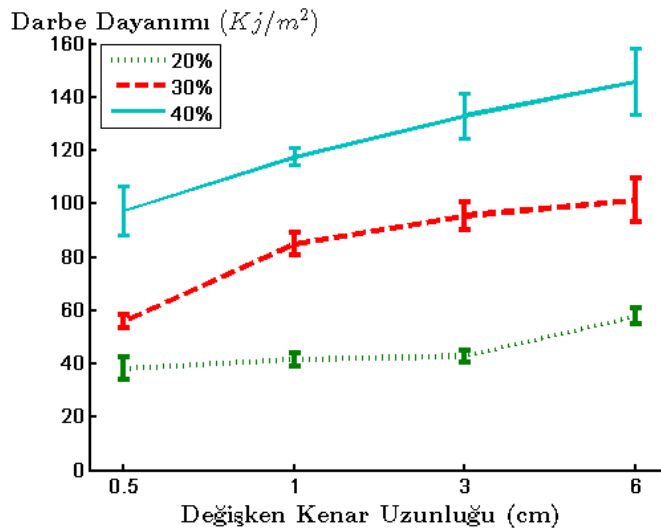
Darbe testi için Charpy sarkaçlı darbe dayanım cihazı ve çekiç olarak 12 joule kapasitesindeki çekiç kullanılmıştır. Çekiç kapasitesinin daha önceki çalışmalarda kullanılanlara (6 joule) göre arttırılmasının sebebi, test edilen bazı numunelerin 4,8 joule ve üzerinde değerler vermesidir. Standarda (ASTM D6110) göre test edilen numunenin darbe dayanımı çekiç kapasitesinin en fazla %80'i kadar olmalıdır; olmadığı takdirde çekiç kapasitesi arttırılmalıdır.

Çizelge 6.19'da plakalara ait darbe test sonuçlarının ortalamaları ve standart hata değerleri verilmiştir.

**Çizelge 6.19 :** Boyut etkisi çalışmasında üretilen plakaların darbe değerleri

Kumaş boyutları	Takviye oranı (%)	Darbe dayanımı ( $Kj/m^2$ )	Standart hata
2 cm x 0,5 cm	20	38,2	4,32
2 cm x 1 cm	20	41,5	2,34
2 cm x 3 cm	20	42,8	2,13
2 cm x 6 cm	20	57,8	2,94
2 cm x 0,5 cm	30	55,8	2,46
2 cm x 1 cm	30	84,9	4,39
2 cm x 3 cm	30	95,4	5,08
2 cm x 6 cm	30	101,3	8,30
2 cm x 0,5 cm	40	97,3	9,01
2 cm x 1 cm	40	117,6	3,24
2 cm x 3 cm	40	133,0	8,49
2 cm x 6 cm	40	145,7	12,41
Saf Reçine	0	16,2	0,98

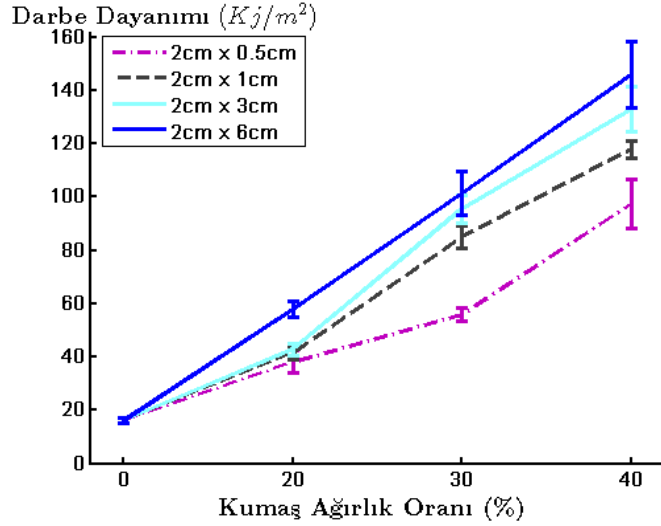
Farklı takviye oranlarında kumaş boyutlarının darbe dayanım değerleriyle ilişkisi Şekil 6.5’de görülmektedir. Her üç takviye oranı için de kumaş parçalarının boyutları arttığında darbe dayanımında artış gözlemlenmektedir. En yüksek değerlere 2cm x 6 cm boyutlarındaki parçalarla takviyelendirilmiş kompozitlerde ulaşılmıştır.



**Şekil 6.5 :** Kompozitin darbe dayanımının takviye boyutuyla ilişkisi

Takviye oranlarının darbe dayanımları üzerindeki etkisine bakıldığında ise her dört boyut için de %0’dan %40’a yüksek miktarda artışlar gözlemlendiği görülmektedir (Şekil 6.6). Artış miktarı %20’lik kumaş ağırlıksal oranına ulaşıncaya kadar daha düşük iken, %20’den sonra daha yüksek bir artış gözlemlenmektedir.

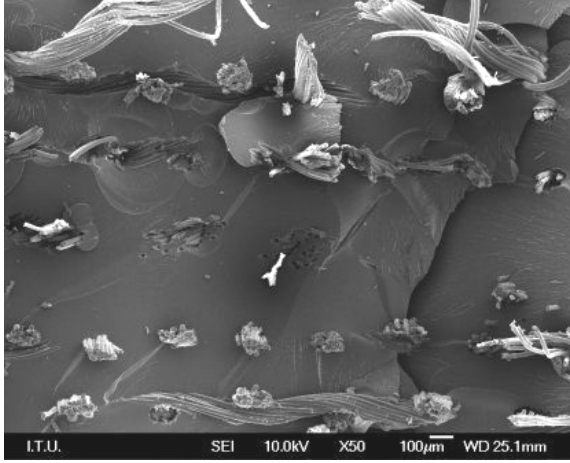
Saf reçinenin darbe dayanım değeriyle karşılaştırıldığında, %40'lık takviye oranında yaklaşık %900'lere ulaşan bir darbe dayanım artışı oluşmuştur. Tüm takviye oranlarında saf reçineye göre darbe dayanımında artış meydana gelmiştir. Dolayısıyla her üç takviye oranı için de kritik hacimsel oranının üzerindedir denilebilmektedir.



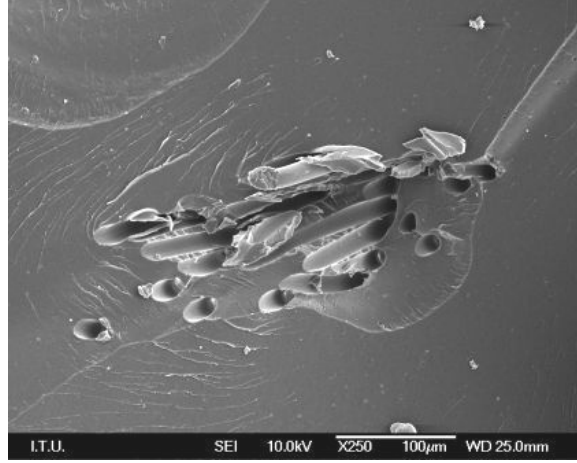
**Şekil 6.6 :** Kompozitin darbe dayanımının takviye ağırlık oranıyla ilişkisi

Kompozit malzemelerde, arayüzlerin ve kırılma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için darbe testi sonucunda oluşan kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

Farklı büyütme oranlarında elde edilen görüntüler sonucunda; liflerin reçine gövdesinden sıyrılarak ayrıldığı, lif kopmalarının meydana geldiği (Şekil 6.7 ve Şekil 6.9) ve liflerin sıyrılarak ayrıldığı bölgelerde geriye boşlukların kaldığı görülmektedir (Şekil 6.8). Kırılma esnasında enerji, öncelikle lif ile reçine arasındaki bağın zayıflatılması ve lifin gövdeden ayrılmasını sağlarken, eğer lif üzerindeki gerilme lokal lif dayanımı aşar ise liflerde kopmalar meydana gelebilmektedir. Görüntüler incelendiğinde her iki durumunda gerçekleştiği görülmektedir.

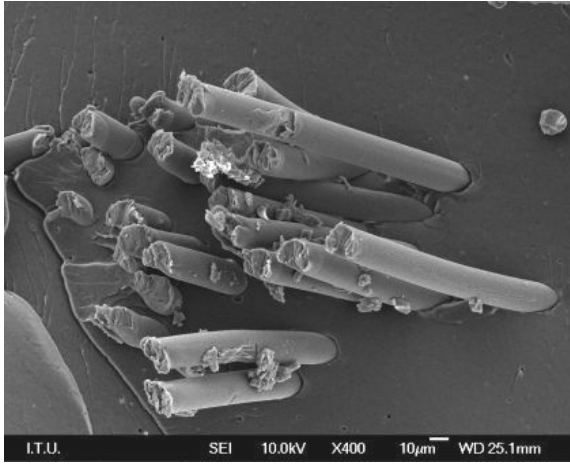


**Şekil 6.7 :** Kırılma yüzeyinin SEM analizi  
(2cm x 3cm, %20)

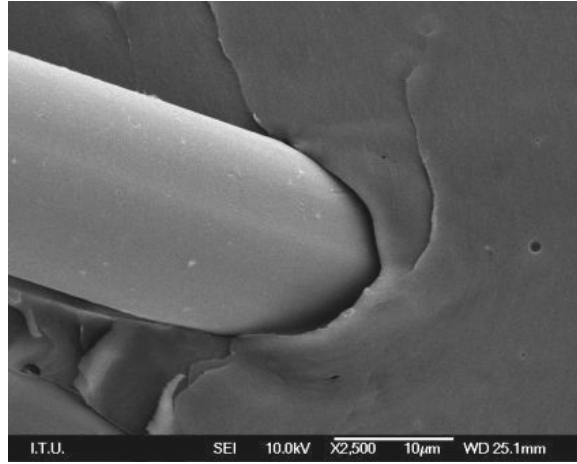


**Şekil 6.8 :** Kırılma yüzeyinin SEM analizi  
(2cm x 3cm, %20)

Daha yüksek büyütmeyle çıkılarak lif ile reçine arasındaki arayüz oluşumu incelendiğinde ise, lifin gövde ile temas ettiği bölgelerde boşlukların mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 6.10). Bunun yanı sıra gövdeden sıyrılan liflerin yüzeyleri pürüzsüz (Şekil 6.9 ve Şekil 6.10) ve liflerden geriye kalan boşlukların yüzeyleri de pürüzsüzdür (Şekil 6.8). Tüm bu görüntüler PET lifleri ile doymamış polyester reçine arasında zayıf bir arayüz oluştuğunun kanıtıdır. Bu durumun pürüzsüz bir dış yüzeye sahip eriyik çekim PET lifleri ile reçine arasında fiziksel bir tutunmanın gerçekleşmemesi sebebiyle oluşmaktadır [59].



**Şekil 6.9 :** Kırılma yüzeyinin SEM analizi  
(2cm x 6cm, % 20)



**Şekil 6.10 :** Kırılma yüzeyinin SEM analizi  
(2cm x 6cm, % 20)

## 7. TARTIŞMA

Çalışmanın birinci aşamasında takviye malzemesi olarak kullanılan polyester (PET-OR) ve pamuklu kumaşların atkı ve çözgü yönlerindeki dayanımları farklıdır. Bu kumaşlarla takviyelendirilen kompozit malzemelerde de benzer şekilde yöne bağlı davranış görülmektedir [37].

Sürekli kumaş takviyesiyle oluşturulan kompozit plakaların darbe ve çekme özellikleri incelendiğinde, saf reçineye göre hem darbe dayanımı, hem de çekme dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Atık kumaşların değerlendirilmesinin hedeflendiği bu çalışmada, küçük parçalı atıkların kullanımının da nasıl bir etkisinin olacağını görebilmek amacıyla öncelikle atık kumaşlar gelişigüzel olarak küçük parçalara bölünmüş ve gelişigüzel olarak serilmiştir. Bu plakalardan elde edilen çekme dayanım değerleri saf reçineye göre daha düşük değerler vermiştir. Bu durumun oluşmasındaki en önemli sebeplerden ikisinin malzemenin gelişigüzel oryantasyondan dolayı düzensiz bir içyapıya sahip olması ve yüksek hava boşlukları içermesi olduğu düşünülmektedir. Sürekli takviyeye sahip plakalarda yük, takviye malzemesindeki yüke paralel elemanlar (atkı ve çözgü) tarafından taşınırken, küçük parçalı ve gelişigüzel oryantasyonlu plakalarda ise böyle bir durum söz konusu olamamaktadır. Ayrıca takviye miktarı ve uygulanan basınç değerleri aynı olmakla beraber gelişigüzel oryantasyonlu plakalarda daha çok hava boşluğu kaldığı görülmektedir. Bu oluşan boşlukların da malzemenin dayanımını ciddi miktarda düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Küçük parçalı ve gelişigüzel serimli plakalar, düzensiz yapılarına rağmen saf reçineye göre daha iyi darbe dayanımı değerleri vermektedir. Bu durum polimer matris içerisine eklenen liflerin, etkiyen darbe kuvvetinin malzeme içerisinde dağıtımını sağlamasıyla oluşmaktadır [36-42]. Özet olarak üretilen tüm kompozit plakalarda darbe dayanımı kazancı sağlanmıştır.

Çekme sonuçlarına bakıldığında kompozit plakaların daha yüksek uzama değerleriyle saf reçineye göre daha sünek davranış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca polyester kumaş takviyeli kompozitlerin uzama (%) değerlerinin %50'lere kadar vardığı, pamuk takviyelilerin ise saf reçineden daha yüksek olmakla beraber ancak % 3-4'lere ulaşabildiği görülmektedir. Bu durumun pamuğun hidrofilik yapısından kaynaklandığı ve lifin içerisine emilen reçinenin lif içerisinde sertleşerek yapıyı gevreklettiği düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında farklı bir polyester kumaş (PET-VN) kullanılmış ve kumaşlar belirlenen dört farklı boyutta küçük parçalara bölünmüştür. Darbe dayanım değerleri incelenen kompozitlerde kumaş boyutu büyüdükçe darbe dayanım değerlerinin arttığı görülmüştür.

Kumaş boyutlarının yanı sıra takviye ağırlık oranının mümkün olan (liflerin hepsinin ıslanması hedeflenerek) en yüksek orana (%40) ulaştığında, en yüksek darbe dayanım değerleri elde edilmiştir. Kompozit malzeme içerisinde yükü taşıyan ve enerji absorpsiyonunda önemli göreve sahip liflerin malzeme içerisindeki oranları arttığında sönmelenen enerji miktarı da artmaktadır. Sonuç olarak olabildiğince homojen bir lif-polimer dağılımı sağlanarak en yüksek takviye ağırlık oranına çıkıldığında malzemenin yüksek darbe dayanım değerlerine ulaşılması mümkün olmaktadır. Taramalı elektron mikroskopuyla yapılan yüzey incelemeleriyle ise PET lifler ile doymamış polyester reçine arasında zayıf bir arayüz oluşmuş olduğu görülmektedir. Pürüzsüz PET liflerinin yüzeyleri, çeşitli kimyasal yüzey işlemleriyle pürüzlü formlara getirilerek lif ile reçine arasındaki arayüzün geliştirilebileceği düşünülmektedir [59].

## KAYNAKLAR

- [1] **Türkiye Çevre Atlası**, 2004, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [2] **Armağan, B., Demir, İ., Demir, Ö., Gök, N.**, 2006, Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi, İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 2006-23 İstanbul.
- [3] **Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği**, 02/11/1994 tarih ve 22099 sayılı R.G.
- [4] **Köse, H.Ö., Ayaz, S., Köroğlu, B.**, 2007, “Türkiye’de Atık Yönetimi, Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi”, T.C. Sayıştay Başkanlığı.
- [5] **Cremer, H., Can, A., Güracar, M., Eyener, D.**, 1994, “Üretime İntegre Edilmiş Çevre Koruma” Çevre Dergisi Sayı :10.
- [6] **Sevim,Ü., Kuyumcu,O.**, 2007, Kumaş Sanayi, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi.
- [7] **Alpay, H.R.** 1985 Dokuma Makinaları TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No:114 s.24
- [8] **Dokuzuncu Kalkınma Planı**, 2007, Tekstil, Deri ve Giyim Sanayii, Özel İhtisas Komisyonu Raporu Yayın No: DPT:2715-ÖİK:668, Ankara.
- [9] **Bozkurt, Y.**, 1983, Tekstil Sektöründe Artık Sorunu ve Değerlendirme Olanakları. Çevre’83: II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu, 1-5 Haziran, İzmir.
- [10] **Daşçı,Ç.**, 1998, Solid Waste Management Practices in the Textile Industry: A Case Study, Master of Science in Enviromental Technology, Boğaziçi Üniversitesi.
- [11] **Koch, K., Domina, T.**, 1999, Consumer Textile Recycling as a Means of Solid Waste Reduction Family and Consumer Sciences Research Journal, Vol. 28, No. 1.
- [12] **Ağdağ, O.N., Kırımhan S.**, 1999, Denizli Organize Sanayi Bölgesi’nde Endüstriyel Katı Atık Durumu ve Geri Kazanımı.
- [13] **Smith, W.F.**, 2001, Materials Science and Engineering, Literatür yayıncılık, İstanbul, Çeviren; Nihat G:Kınıkoğlu.
- [14] **Mazumdar, S.K.**, 2002, Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering, CRC PRESS,USA.
- [15] **Kaw, A. K.**, 2006, Mechanics of Composite Materials, Taylor & Francis Group, New York.
- [16] **Rösler, J., Harders, H., Bäker, M.**, 2007, Mechanical Behaviour of Engineering Materials, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- [17] **Şahin, Y.**, 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- [18] **Ersoy, H.Y.**, 2001, Kompozit Malzeme Literatür Yayınları, İstanbul.
- [19] **Kayrak, M. A.**, 1999, Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Maliyet Analizleri, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- [20] **Alhalabi, K.**, 2007, Suriye ve Türkiye’de üretilen pamuk liflerinin özelliklerinin ve eğilme yeteneklerinin karşılaştırılması incelenmesi Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- [21] **Goswami B. C., Anandjiwala R. D., Hall D. M.**, 2004, Textile Sizing Marcel Dekker Inc., Chapter 2: Properties of fibers and yarns.
- [22] **Hockenberger, A.**, 2004, Tekstil Fiziği Alfa Basım Yayın, 1. Baskı, Nisan 2004, s. 142-144.
- [23] **Başer, İ.**, 2002, Elyaf Bigisi, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayını.s.139-143.
- [24] **Topal, Ö.**, 2006, İçi boş (hollow) PET liflerinin boyanma özelliklerinin incelenmesi Uludağ Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- [25] **Gay,D.,Hoa,V.S., Tsai, W.S.**, 2003, Composite Materials CRC PRESS, New York.
- [26] **Schwartz, M.**, 1992, Composite Materials Handbook, McGraw-Hill,New York.
- [27] **Yülek, M.**, 1988, Havacılık ve Uzay Sanayi İçin Malzemeler Mühendis ve Makine dergisi Sayı 338 İstanbul.
- [28] **ASM Handbook Volume 21: Composites**, 2001, ASM International, USA.
- [29] **Varma I.K.,Gupta V.B.**, 2000, Comprehensive Composite Materials Vol.2 Polymer Matrix Composites 2.01 Thermosetting Resins-Properties.
- [30] **Saçak, M.**, 2005, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, Ankara, 221-224.
- [31] **Polyesterrie, E. M.**, 2008, Vinyl Ester Adhesives SpecialChem Articles.
- [32] **Ersoy, M.S.**, 2005, Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [33] **Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Groydanov, A., Gentile, G., Errico, M.E.**, 2007, Natural Fiber Eco-Composites, Polymer Composites.
- [34] **Priya, S. P., Ramakrishna, H. V., Rai S. K.**, 2005, Tensile, Flexural, And Chemical Resistance Properties Of Waste Silk Fabric-Reinforced Epoxy Laminates, Journal Of Reinforced Plastics And Composites, Vol. 24, No. 6.
- [35] **Priya, S. P., Rai S. K.**, 2005, Impact, Compression, Density, Void Content, And Weight Reduction Studies On Waste Silk Fabric/Epoxy Composites, Journal Of Reinforced Plastics And Composites, Vol. 24, No. 15.
- [36] **De Carvalho, L. H., Cavalcante, J. M. F., d’Almeida, J. R. M.**, 2006, Comparison of the Mechanical Behavior of Plain Weave and Plain



Weft Knit Jute Fabric Polyester-Reinforced Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45: 791–797.

- [37] **De Medeiros, E.S., Agnelli, J A. M., Kuruvilla, J., Laura, De Carvalho L.H., Mattoso, L.H.C.**, 2005, Mechanical Properties of Phenolic Composites Reinforced With Jute/Cotton Hybrid Fabrics, *Polym. Compos.*, 26:1–11.
- [38] **Singleton, A.C.N., Baillie, C.A., Beaumont, P.W.R., Peijs, T.**, 2003, On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fibre/recycled polymer composite, *Composites: Part B* 34 519–526.
- [39] **Tserki, V., Matzinos, P., Panayiotou, C.**, 2003, Effect of Compatibilization on the Performance of Biodegradable Composites using Cotton Fiber Waste as Filler, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 88, 1825–1835,
- [40] **Sabeel A.K., Vijayarangan, S.**, 2007, Experimental Characterization of Woven Jute-Fabric-Reinforced Isothalic Polyester Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 104, 2650–2662.
- [41] **Gowda, T. M., Naidu, A.C.B., Chhaya, R.**, 1999, Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites, *Composites: Part A* 30 277–284.
- [42] **Mwaikambo, L.Y., Bisanda, E.T.N.**, 1999, The performance of cotton–kapok fabric–polyester composite, *Polymer Testing* 18 181–198.
- [43] **Joffe, R., Wallström, L., Berglund, L.A.**, 2001, Natural Fiber Composites Based on Flax - Matrix Effects, *International Scientific Colloquium Modelling for Saving Resources Riga*.
- [44] **Paiva Ju'nior, C.Z., De Carvalho L.H., Fonseca, V.M, Monteiro, S.N., d'Almeida, J.R.M.**, 2003, Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie– cotton fabric composites.
- [45] **Alsina, L.S., De Carvalho, L.H., Ramos Filho F.G., d'Almeida, J.R.M.**, 2004, Thermal properties of hybrid lignocellulosic fabric-reinforced polyester matrix composites.
- [46] **Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y., Richardson, M.O.W.**, 2006, Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites, *Composites Science and Technology*.
- [47] **Shibata, M., Oyamada,S., Kobayashi,S., Yaginuma,D.**, 2004, Mechanical Properties and Biodegradability of Green Composites Based on Biodegradable Polyesters and Lyocell Fabric, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 92, 3857–3863.
- [48] **Jiang, L., Hinrichsen, G.**, 1999, Flax and cotton fiber reinforced biodegradable polyester amide composites I - Manufacture of composites and characterization of their mechanical properties, *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 268 13–17 (Nr. 4649).
- [49] **Jiang, L., Hinrichsen, G.**, 1999, Flax and cotton fiber reinforced biodegradable polyester amide composites II - Characterization of Biodegradation, *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 268 18–21 (Nr. 4650).

- [50] **De Carvalho, L.H., De Souza, G.C., d'Almeida, J. R. M.**, 2007, Hybrid jute/cotton fabric–polyester composites: effect of fabric architecture, lamina stacking sequence and weight fraction of jute fibres on tensile strength, *Plastics, Rubber and Composites* Vol 36 No 4.
- [51] **Çelik, Ç., Gürdal, E.**, 2005, Yerfıstığı Kabuğunun Agregada Olarak Kullanım Olanakları, *İTÜ Dergisi/A, Mimarlık, Planlama, Tasarım*, Cilt:4, Sayı:1, 37-46.
- [52] **Yıldırım, R.**, 2005, Ceviz Kabuğundan Polimer Kompozit Levha Üretimi Ve Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*.
- [53] **Yıldırım, A.**, 2007, Öğütölmüş Fındık Kabuğunun Polipropilen Matrisli Kompozitlerde Kullanılabilirliği, *Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*.
- [54] **Bateman, S.A., Wu, D.Y.**, 2001, Composite Materials Prepared from Waste Textile Fiber, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 81, 3178–3185.
- [55] **Arnold, J.C., O'brien, F., Moody M.**, 2006, All-Polymer Composites From Recycled Woven Polypropylene Fabrics and Polyethylene Film, *Polym. Eng. Sci.*, 46:1523–1529.
- [56] **Singleton, A.C.N., Baillie C.A., Beaumont P.W.R., Peijs T.**, 2003, On The Mechanical Properties, Deformation And Fracture Of A Natural Fibre/Recycled Polymer Composite, *Composites: Part B* 34 519–526.
- [57] **Teh, S.F., Liu, T., Wang, L., He, C.**, 2005, Fracture behaviour of poly(ethylene terephthalate) fiber toughened epoxy composites *Composites: Part A* 36 (2005) 1167-1173.
- [58] **Thomason, J. L., Vlugg, M. A.**, 1997, Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene: 4. Impact properties *Composites Part A* 28A (1997) 277-288.
- [59] **Teh, S.F., Liu, T., Wang, L., He, C.**, 2005, Fracture behaviour of poly(ethylene terephthalate) fiber toughened epoxy composites *Composites: Part A* 36 (2005) 1167-1173

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Nebahat ARAL

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul – 29.05.1984

**Lisans Üniversitesi:** Uludağ Üniversitesi

### Yayın Listesi:

1. **Aral, N.**, Aydemir, K., Berkalp, O.B., Bakkal, M., Sadikoglu, T., “Investigation of Impact and Tensile Behaviours of Waste Fabric Reinforced Polymer Composites” *Proceedings of 12th International Materials Symposium (IMSP’2008)*, Sept. 15-17, 2008, Denizli, Turkey
2. **Aral, N.**, Berkalp, Ö.B., Bakkal, M., Sadikoglu, T., “Atık Kumaş Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe ve Çekme Davranışlarının İncelenmesi” *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, Nisan-Haziran 2009 Yılı:19 Sayı:2, 139-144*
3. **Aral, N.**, Berkalp, O.B., Bakkal, M., Sadikoglu, T., Yilmaz, S., Karakaslioglu, C., “Impact Properties of Waste Poly(ethylene terephthalate) Fabric Reinforced Polyester Composites” *Fiber Recycling Conference 2009*, 11-12 May 2009
4. Karakaslioglu, C., Yilmaz, S., Bakkal, M., Berkalp, O.B., Sadikoglu, T., **Aral, N.**, “Finite Element Modeling of Waste Poly(ethylene terephthalate) Fabric Reinforced Polyester Composites” *Fiber Recycling Conference 2009*, 11-12 May 2009