

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**1X1 RİB ÖRGÜ YAPISINDAKİ KARBON  
VE CAM ELYAFINDAN ELDE EDİLEN  
HİBRİT KOMPOZİT YAPILARIN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**BU TEZ BAP BİRİMİ TARAFINDAN DESTEKLENMİŞTİR.**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GÜL SEVENCAN  
UŞAK 2011**

**T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**1X1 RİB ÖRGÜ YAPISINDAKİ KARBON VE CAM ELYAFINDAN ELDE  
EDİLEN HİBRİT KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜL SEVENCAN**

**UŞAK 2011**

Gül SEVENCAN tarafından hazırlanan 1x1 Rib Örgü Yapısındaki Karbon ve Cam Elyafından Elde Edilen Hibrit Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi adlı bu tezin Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA .....  
Tez Danışmanı, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)\*\* .....  
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)  
(Ünvanı, Adı ve Soyadı)\*\*\* .....  
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)  
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) .....  
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)  
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) .....  
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)  
(Ünvanı, Adı ve Soyadı) .....  
(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

Tarih\*\*\*\*: ...../...../.....

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yalçın

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

\*\* Jüri Başkanının adı yazılmalıdır.

\*\*\* Tez danışmanın adı yazılmalıdır.

\*\*\*\* Savunma tarihi yazılacak.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gül SEVENCAN

**1X1 RİB ÖRGÜ YAPISINDAKİ KARBON VE CAM ELYAFINDAN ELDE  
EDİLEN HİBRİT KOMPOZİT YAPILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Gül SEVENCAN**

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2011**

**ÖZET**

Sağladığı üstün özellikler ve hafifliği nedeniyle kompozit malzemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Farklı yapıdaki malzemelerin farklı şekil ve yöntemlerle birleştirilmesiyle çeşitli kompozitler üretilmektedir. Karbon ve cam elyafların kompozit alanında kullanımıyla ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır. Bu çalışmada ise karbon ve cam elyaflardan rib yapısında farklı sıklıklara sahip örme kumaşlar üretilmiş ve üretilen kumaşlar farklı dizilimlerle birleştirilerek hibrit kompozit yapılar elde edilmiştir. Üretilen kompozit yapıların mekanik özellikleri çekme ve kayma deneyleri ile incelenmiştir. Uygulanan testlerde kompozit malzemelere örme kumaşın çubuk yönü ve sıra yönü olmak üzere iki yönde kuvvet uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik haline getirilmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan grafikler ve istatistikler sonucunda ise sıklık, kumaş dizilimi ve uygulanan kuvvet yönünün birbirleriyle olan ilişkileri ve kompozit malzemenin mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Bu Yüksek Lisans Tezi Uşak Üniversitesi BAP birimi tarafından proje olarak desteklenmiştir.

**Bilim Kodu : 621.01.00**

**Anahtar Kelimeler :** Karbon elyaf, cam elyaf, örme kompozit, hibrit kompozit, mekanik özellikler

**Sayfa Adedi : 107**

**Tez Yöneticisi : Yrd. Doç.Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA**

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID COMPOSITE  
MATERIALS MADE OF CARBON AND GLASS FIBERS WITH 1X1 RIB  
KNITTED STRUCTURES**

**(M.Sc. Thesis)**

**Gül SEVENCAN**

**UŞAK UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2011**

**ABSTRACT**

The need for composite materials is increasing everyday because of provides superior features and light weight. By different materials combining different shapes and methods, various composites are produced. Studies about the use of carbon and glass fibers in field composite have been done. In this study, rib knit fabrics made of carbon and glass fibers are produced at different tightness value and fabrics, combined with different sequences were obtained from hybrid composite structures. Mechanical properties of composite structures were examined with tensile and shear tests. At tests, forces are applied to composites in two directions which are course direction and wale direction. The results obtained are turned into graphics and were statistically evaluated. As a result of the created graphs and statistics, thickness, fabric layout and applied force directions , relationships of eachother and the effects of composite materials mechanical properties are examined. This Master of Science thesishas been supported by the BAP unit of Uşak University.

**Science Code : 621.01.00**

**Key Words:** Carbon Fiber, Glass Fiber, Knitting Composites, Hybrid Composite, Mechanical Properties

**Page Number: 107**

**Adviser : Yrd. Doç.Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA**

## TEŞEKKÜR

UŞak Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamındaki bu tez alıŐmının yapılmasında, yardımlarını esirgemeyen, her aşamasında ilgi ve katkılarıyla beni yönlendiren ve destek olan danıŐman hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin YÜKSEKKAYA'ya, çalıŐmalarım sırasında katkılarından dolayı Doç.Dr. Mevlüt TERCAN, Doç.Dr. Alaattin AKTAŞ ve Yrd.Doç.Dr. Mehmet AKTAŞ hocalarıma, üretim ve deney aşamalarında yardım ve katkılarından dolayı ArŐ. Gör. H. Ersen BALCIOĞLU ve ArŐ. Gör. Önder YEŐİL'e teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan annem ve babam baŐta olmak üzere tüm aileme teŐekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER .....	3
2.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihi .....	3
2. 2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri .....	4
2. 3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	5
2. 3. 1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	5
2. 3. 2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	5
2. 3. 3. Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	6
2. 4. Kompozit Malzemelerin Temel Bileşenleri.....	6
2. 4. 1. Takviye Elemanları .....	7
2. 4. 2. Matris Malzemeleri .....	16
2. 5. Kompozit Malzemelerin Üretimi .....	24
2. 5. 1. Elle Yatırma Yöntemi .....	24
2. 5. 2. Püskürtme Yöntemi.....	25



2. 5. 3. Basma ve Transfer Kalıplama Yöntemi .....	27
2. 5. 4. Filament Sarma Yöntemi .....	29
2. 5. 5. Profil Çekme Yöntemi: .....	30
2. 5. 6. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi .....	31
<b>3. KOMPOZİT MALZEMELERDE DESTEKLEYİCİ OLARAK KULLANILAN TEKSTİL YAPILARI .....</b>	<b>33</b>
3.1. Örme Kumaş Yapıları .....	33
3.1.1. Örme Yapılarında Kullanılan Terimler .....	34
3.1.2. Örme Kumaşları Sınıflandırılması .....	35
3.2. Dokuma Kumaş Yapıları .....	36
3.3. Dokusuz yüzeyler .....	37
3.4. Şerit (Saç Örgü) .....	38
<b>4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>39</b>
4. 1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri .....	39
4. 1. 1. Mekanik Özellikleri.....	39
4. 1. 2. Termal Özellikleri .....	44
4. 1. 3. Elektriksel Özellikleri .....	44
4. 1. 4. Diğer Özellikleri.....	45
4. 2. Takviye Tekstil Yüzeyinin Yapısı .....	45
4. 2. 1. Örme Kumaş Takviyeli Kompozitler .....	45
4. 2. 2. Dokuma Kumaş Takviyeli Kompozitler .....	47
4. 3. Diğer Kompozit Materyaller .....	48
<b>5. AMAÇ .....</b>	<b>49</b>
<b>6. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>50</b>
6. 1. Materyal .....	50

6.2 Yöntem.....	53
6.2.1 Çekme Testi.....	53
6.2.2. Kayma Testi .....	56
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA .....	59
7.1 Çekme Deneyi Sonuçları .....	59
7.2. Kayma Deneyi Sonuçları .....	67
7.3 İstatistiksel Analiz.....	73
8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	76
9. KAYNAKLAR.....	78
EKLER .....	82
EK-1. Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı .....	83
EK-2. Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı.....	89
EK-3 Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı.....	95
EK-4. Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	107

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. PAN, rayon, zift esaslı karbon lif özellikleri .....	11
Çizelge 2.2. Cam liflerinin içeriğindeki madde oranları .....	12
Çizelge 2.3. Cam liflerinin karakter özellikleri .....	13
Çizelge 2.4. Bazı reçine özellikleri .....	19
Çizelge 2.5. Termoset reçine özellikleri .....	20
Çizelge 2.6. Alüminyum alaşım özellikleri .....	23
Çizelge 6.1 Üretilen kumaşların özellikleri .....	51
Çizelge 6.2 Kompozit malzemelerde kullanılan kumaş oranları ve sıklıkları. ..	52
Çizelge 7.1. Numunelerin elastisite modülü değerleri .....	59
Çizelge 7.2. Maksimum çekme dayanımı (Newton) değerleri .....	60
Çizelge 7.3. Çekme uzaması (mm) değerleri .....	60
Çizelge 7.4. Maksimum Çekme gerilmesi değerleri .....	61
Çizelge 7.5. Maksimum kayma dayanımı (Newton) değerleri .....	68
Çizelge 7.6. Maksimum kayma gerilmesi değerleri .....	68
Çizelge 7.7. Kayma uzaması (mm) değerleri .....	69
Çizelge 7.8. Elastisite modülü özelliğinin varyans analizi .....	74
Çizelge 7.9. Çekme dayanımı ve uzaması özelliğinin varyans analizi .....	74
Çizelge 7.10. Kayma dayanımı ve uzamasının varyans analizi .....	75

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. PAN esaslı karbon lif üretimi .....	8
Şekil 2.2. Zift esaslı karbon lif üretimi .....	10
Şekil 2.3. Ergitme işlemi .....	13
Şekil 2.4. Cam lif üretimi .....	14
Şekil 2.5. Matrislerin sıcaklık dayanımı ve yoğunluklarının karşılaştırılması ..	17
Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemi .....	25
Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi .....	26
Şekil 2.8. Baskı kalıplama yöntemi .....	28
Şekil 2.9. Transfer kalıplama yöntemi .....	29
Şekil 2.10. Filament sarma yöntemi ve makinesi .....	20
Şekil 2.11. Profil çekme işlemi .....	31
Şekil 2.12. Enjeksiyon kalıplama yöntemi .....	32
Şekil 3.1. Örme kumaş yapısı .....	34
Şekil 3.2 İlmek yapısı .....	34
Şekil 3.3 İlmek sırası ve ilmek çubuğu .....	35
Şekil 3.4. Dokuma kumaş oluşum şeması .....	36
Şekil 3.5. Saç örgü oluşumu .....	38
Şekil 6.1. Kumaş dizilimleri .....	51
Şekil 6.2. Çekme testi genel prensibi .....	54
Şekil 6.3. Çekme testi numunesi .....	54
Şekil 6.4. Kayma testi numunesi .....	57
Şekil 7.1. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin elastisite modülüne etkisi .....	62

Şekil 7.2. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme dayanımı değerine etkisi .....	63
Şekil 7.3. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme gerilimi değerine etkisi .....	63
Şekil 7.4. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin çekme uzaması değerine etkisi .....	64
Şekil 7.5. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin elastisite modülüne etkisi .....	65
Şekil 7.6. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme dayanımı değerine etkisi .....	66
Şekil 7.7. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme gerilmesi değerine etkisi .....	66
Şekil 7.8. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin çekme uzaması değerine etkisi .....	68
Şekil 7.9. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma dayanımına etkisi .....	70
Şekil 7.10. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma gerilmesine etkisi .....	70
Şekil 7.11. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma uzamasına etkisi .....	71
Şekil 7.12. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma dayanımına etkisi .....	72
Şekil 7.13. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma dayanımına etkisi .....	72
Şekil 7.14. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma uzamasına etkisi .....	73

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Püskürtme tabancası .....	26
Resim 6.1. Düz örme makinesi .....	50
Resim 6.2. Universal test cihazı .....	53
Resim 6.3. Çekme deney sonucu .....	55
Resim 6.4. 2K1C dizilimine sahip malzemelerin çekme deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri.....	55
Resim 6.5. 2C1K dizilimine sahip malzemelerin çekme deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri.....	56
Resim 6.4. 2K1C dizilimine sahip malzemelerin kayma deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri.....	57
Resim 6.4. 2K1C dizilimine sahip malzemelerin kayma deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri.....	58

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

### **Simgeler**

**Al**

**g/cm<sup>3</sup>**

**mm**

**MPa**

**N**

**N/mm<sup>2</sup>**

**Tex**

**W/mk**

**°C**

**µm**

### **Açıklama**

Alüminyum

Yoğunluk birimi

milimetre, uzunluk birimi

Mega paskal, gerilme birimi

Newton, kuvvet birimi

Elastisite modül birimi

İplik numara birimi

Termal iletkenlik birimi

Sıcaklık birimi

Lif çapı birimi

### **Kısaltmalar**

**AC**

**ASTM**

**BMC**

**C**

**PAN**

**PEEK**

**PPEVASH**

**SMC**

### **Açıklama**

Alternatif Akım

American Standarts For Testing Materials

Hacimli Kalıp Bileşeni

Karbon Elementi

Poliakrilonitril

Poliether-ether-keton

Polipropilen ve Merkaptan Karışımı

Tabaka Kalıp Bileşeni

# 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler hafiflik, yüksek dayanım, yüksek rijitlik, yüksek korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle mühendislik alanında kullanılan metal, seramik gibi diğer malzemeler ile kıyaslandıklarında üstün avantajlar sağlayan yeni tip mühendislik malzemeleridir [1, 2].

Kompozit malzemeler takviye elemanı ve matris olmak üzere en az iki farklı elemandan meydana gelmektedir. Takviye malzemesi olarak elyaflar kompozitlerde önemli bir yer tutmaktadır. Elyaf takviyesi ile hafif ve mekanik dayanımı yüksek kompozit malzemeler üretilmektedir [1, 3].

Elyaf takviyesi olarak yüksek performans özelliklerine sahip çeşitli lifler kullanılmaktadır. Bu amaçla en yaygın olarak kullanılan lifler cam lifleridir. Cam lifleri yüksek dayanım özelliklerine sahip olmakla birlikte en ucuz elyaf takviye elemanıdır. Bu özelliklerinin yanı sıra diğer liflere nazaran daha düşük modül özelliğine sahiptirler [1, 4].

Cam lifleri dışında kullanılan diğer bir elyaf çeşidi de karbon lifleridir. Karbon liflerinin ortaya çıkması çok eskiye dayanmamaktadır, kullanımları 1990'lı yıllarda fiyatlarında meydana gelen düşüşler ile artış göstermiştir. Bu lifler diğer materyaller ile karşılaştırıldığında bilinen en sert malzemedir. Fakat yüksek fiyatı, kırılabilirlik ve yüksek elektrik iletim özellikleri nedeniyle kullanımı sınırlı kalmaktadır [4].

Kompozit malzemelerde oluşumunda lifler serbest halde kullanılabilmesinin yanında örme, dokuma gibi tekstil yüzeyi halinde de kullanılabilir. Örme kumaşlar daha düşük mekanik özellikler göstermeleri nedeniyle fazla tercih edilmemektedirler. Fakat işleme kolaylığı ve karmaşık yapıların elde edilebilmesine imkan sağlamaktadırlar [5].

Kompozit malzemelerin özellikleri ve kullanılan malzemelerin gelişimi için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Cam elyaf ve karbon elyaflardan elde edilmiş kompozit malzemelerin çeşitli biçimlerde kullanılmasıyla ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu liflerin hibrit yapıda kullanılmasıyla ilgili çalışmalar daha kısıtlıdır. Bu çalışmada cam ve karbon elyaflardan hibrit kompozit malzemeler elde edilmiştir. Malzeme eldesinde destekleyici olarak örme kumaş yapısı seçilmiştir. 1x1 rib örme yapısındaki



kumaşlar farklı sıklıklarda üretilmiş ve bu kumaşların farklı dizilimleriyle kompozit malzeme elde edilmiştir. Malzemelerin mekanik özellikleri deneyler ile incelenmiştir. Yapısal özelliklerin mekanik özelliklere olan etkileri istatistiksel olarak incelenerek yorumlanmıştır. Farklı sıklıkların, farklı oranlarda kumaşların kullanılmasının bu özelliklere etkileri araştırılmıştır.

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler nispeten yeni bir alan olmalarına rağmen kullanımları ve gelişimleri her geçen gün artmaktadır. Sağladıkları özellikler nedeniyle spesifik alanlarda kullanılmaktadırlar[1]. Bu bölümde kompozit malzemelerin genel özellikleri, üretimleri, içeriğindeki malzemeler gibi konular hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihi

Kompozit malzemeler, tek başlarına kullanılacak alan için gerekli özelliklere sahip olmayan iki veya daha fazla malzemenin birbirlerinin eksik yönlerini tamamlayacak biçimde, belirli şartlar ve oranlarda, makro yapıda bir araya getirilmesiyle oluşan malzemeler olarak tanımlanırlar [1, 4].

Kompozit malzemeler sadece yapısal özellikleri nedeniyle değil aynı zamanda termal, elektriksel ve aşınma özellikleri nedeniyle de tercih edilmektedirler [6].

Mühendislik alanında kullanılan birçok malzeme bulunmaktadır. Bunlar genel olarak metaller, plastikler ve seramikler olarak 3 ana grupta toplanırlar. Bu malzemelerin birbirinden farklı özellikleri bulunmaktadır. 2. Dünya savaşı sırasında, teknolojideki gelişmeler ile beraber mevcut malzemelerin gereksinimleri karşılayamaması sonucu kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. [1].

Organik matrisli kompozitler, havacılık sektörüne gerekli özgül dayanım ve rijitliği sağlamak için üretilmiştir. Ayrıca bu kompozitler alüminyum gibi havacılık endüstrisinde var olan alaşımların korozyon sorununa da bir çözüm getirmiştir. Savaş sonunda cam elyaf takviyeli plastikler roket motorlarında kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca cam takviyeli plastiklerin değişik uçak prototiplerinde kullanımında başarı göstermişlerdir. 1950'li yıllarda bu malzemelerin kullanım alanları genişlemeye başlamış, yapısal özellikleri ve korozyon direncinde gelişmeler sağlanmıştır. 1960'lı yıllarda spor ekipmanlarında ticari uygulamaları ile pazarı daha da genişlemiştir. Bu genişlemeyle tasarım ve üretim özellikleri artmış, fiyatlarında düşüşler sağlanmış ve tüketici tarafından güvenilmeye ve

tanınmaya başlamıştır. Soğuk Savaş döneminde savunmaya yönelik yeni ileri teknolojik materyaller için yeterli kaynaklar sağlanmış ve uygulamalar için bir pazar oluşturulmuştur. 1970'lerde enerji krizi sırasında ticari havacılığa organik matrisli kompozitlerin tanıtımı için önemli teşvikler sağlanmıştır. Bu dönemde yüksek performanslı karbon liflerinin kullanılmasıyla yapısal özelliklerde büyük artışlar meydana gelmiştir. Karbon elyaflarının üretilebilirliğinin gelişmesiyle organik matrisli kompozitlerin askeri ve ticari havacılık alanında kullanımı önemli bir artış göstermiştir. Son 30 yılda organik matrisli kompozitler, havacılık ve uzay sanayinde önemli bir yer edinmiştir [6].

## 2. 2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler bileşenlerinin iyi özelliklerinin bir arada toplanmasıyla önemli avantajlar sağlamaktadırlar. Bu avantajlar aşağıda sıralanmıştır [1].

- Kompozit malzemeler yüksek sertliğe sahip olmalarını yanında aynı zamanda hafif malzemelerdir.
- Yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler.
- Yüksek aşınma direnci ve korozyon dayanımı gösterirler.
- Yorulma dayanımları yüksektir.
- Kompozitler kullanıldıkları yere göre iletken ya da yalıtkan özellik gösterebilirler.
- Yüksek termal ve ısı iletkenliğine sahiptirler.
- Tasarım ve şekillendirilme kolaylığı sağlarlar.

Bu özelliklerin hepsi bir anda sağlanamaz kullanılacak yere ve gerekli özelliğe göre bir veya birkaç özellik bir malzeme de sağlanabilir. İstenen özelliğin elde edilebilmesi için uygun matris ve takviye elemanı, uygun üretim tekniği, bileşenlerin özellikleri gibi faktörlerin seçimine dikkat edilmelidir [1].

Bu avantajlı özelliklerinin yanında kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar şunlardır [1];

- Kompozit malzemelerin üretimi oldukça güç ve maliyetleri yüksektir.
- İşlenmesi zor olmakta ve gerekli yüzey kalitesi tamamen elde edilememektedir.
- Kırılma uzaması özellikleri düşüktür.
- Geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.

## **2. 3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler takviye elemanlarının yapısına göre üç sınıfa ayrılmaktadırlar.

### **2. 3. 1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Kompozit malzemelerde elyaf takviye kullanımının teorik olarak incelenmesi çok eskilere dayanmamasına rağmen uygulama olarak kullanımı oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. Bitkisel elyaf ve saman ile kerpiç malzeme hazırlanması, bitkisel lifler ile atkuyruğu gibi hayvansal lifler alçı hamurunda kullanılması, asbest gibi inorganik liflerin çimento bağlayıcı olarak kullanılması bilinen uygulamalardandır [3].

Elyaf takviyeli kompozitler, kompozit malzemelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu kısımda malzeme takviyesinde kullanılan elyaf şeklinde küçük boyutlardaki malzemelere lif adı verilmektedir. Elyaf lar kompozit malzemelerde sürekli, süreksiz, kesikli, kısa lifler ya da örme, şerit halinde kullanılmaktadırlar [1, 3, 7].

Takviye malzemesi olarak liflerin kullanılmasıyla mekanik dayanımları yüksek, güçlü kompozit malzemeler üretilmektedir. Sünek ve yumuşak matris içerisine dayanımı ve elastikliği yüksek elyaf ilavesiyle çekme ve yorulma dayanımı, özgül modül ve dayanımı iyi kompozitler elde edilebilmektedir. Kompozit malzemede kullanılacak olan liflerin oranları, yerleşimleri ve yapıları değişik biçimlerde kullanılarak istenilen özellikte materyaller tasarlanabilmektedir [1, 3, 7].

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde lif şekli, uzunluğu, yönlenmesi, lif/matris etkileşimi ve matrisin mekanik özellikleri kompozitin performansını etkilemektedir. İstenilen performansı elde edilebilmesi için uygun materyaller seçilmelidir [3].

### **2. 3. 2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Bu kompozitler makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matrisle oluşturduğu yapılardır. Bu yapılarda gömülen parça boyutu 1µm'den küçük ve parçacık veya partikül hacim oranının %25'den az olmaktadır. Partikül olarak en çok Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC'den oluşan seramik malzemeler kullanılmaktadır [1].

Parçacıklı kompozitler genelde büzülmei azaltmak, aşınma direnci, rijitlik gibi belli özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar. Birçok yerde parçacıklı yapılar özellikleri bozulmadan maliyeti düşürmek için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Ayrıca kauçuk parçacıklar kırılğan yapılı bir polimer matris ile birleştirilerek kırılmaya karşı hassasiyeti azalmış, çatlak ve darbe dayanımı iyileşmiş bir kompozit elde edilebilmektedir [7].

Bu kompozitler döküm yoluyla üretilmektedirler. Bu kompozitlerde parçacıklar eklendiğinde karıştırılma zorlaşmakta ve eriyik viskozitesi düşmektedir. Bu kompozitlerin özellikleri bileşenlerin özelliklerine ve oranlarına bağlıdır [1].

### **2. 3. 3. Tabakalı Kompozit Malzemeler**

Tabakalı kompozitler temel eksen doğrultusunda değişik yönlerde katmanların üst üste yerleştirilip bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit yapılarıdır. Tabakalar matris içine rastgele yerleşmiş elyaf, belli bir yönde yerleşmiş elyaf ya da elyaf yüzeylerden oluşabilmektedir [1].

Bu yapılarda kompozit malzemenin maruz kalacağı yüke uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğinin doğrusal bağımlılığından faydalanılmaktadır [1].

Yapısal uygulamalarda çoğunlukla çok katlı kompozit yapıları kullanılmaktadır. Her katman çok ince olduğundan tek başına kullanılmaz çok katlı olarak kullanılabilir. Bu katmanların her katını oluşturan malzemeler aynı ise bu yapılar izotropik yani laminant olarak adlandırılır. Çok katlı kompozit malzemeyi oluşturan katmanlar farklı malzemelerden oluşuyorsa bu yapılara karma ya da hibrit kompozit malzemeler denilmektedir [1].

### **2. 4. Kompozit Malzemelerin Temel Bileşenleri**

Mühendislik uygulamalarında kullanılan kompozit yapının kullanım özelliklerinin belirlenmesi için kompozit malzeme bileşenlerinin özelliklerinin bilinmesi çok önemli rol oynamaktadır. Bu bilgi kullanım sırasında kuvvet yüklenmesi durumunda yapının nasıl bir davranış göstereceğinin anlaşılması için gereklidir. Kompozit malzemeler takviye elemanı ve matris olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadırlar. Matris ile takviye malzemelerinin

arasında bir ara yüzey oluşmaktadır. Bu iki bileşen birbirleriyle tepkimeye girmeden tamamen farklı yeni bir malzeme oluşturmaktadırlar [8].

#### **2. 4. 1. Takviye Elemanları**

Takviye elemanları kompozit malzemenin yapısını oluşturan en önemli elemandır. Bu elemanlar malzeme üzerindeki yükün büyük bir kısmını taşımakta ve matris malzemenin rijitliğini ve dayanım özelliğini artırmaktadırlar. Yükün takviye elemanına iletilebilmesi için bileşenler arasında fiziksel ve kimyasal uygunluk olması, ara yüzeydeki bağın kuvvetli olması gerekmektedir [1].

Kompozit malzemelerde takviye elemanının üretim şekli, matris ile etkileşimi, takviye elemanı içeriği malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektedir. Bu nedenle kullanım yerine göre takviye elemanlarında yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek elastisite modülü, kimyasal uyumluluk, yüksek sıcaklık dayanımı ve üretim kolaylığı gibi özellikler istenmektedir [1].

Mühendislik alanındaki takviye elemanlarının birçok kısmı elyaf şeklinde üretilmektedir. Bunun nedeni ise bu malzemelerin elyaf halinde üretildiklerinde 30-50 kat daha dayanıklı olmaları ve 3 kat daha rijit bir özellik göstermeleridir [1].

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak karbon, cam, aramid elyaflar, seramik ve metalik malzemeler kullanılabilir [8].

#### **Karbon Elyaf**

Karbon elyaflar yüksek dayanım ve yüksek modül özellikleri nedeniyle kompozit malzemelerde kullanılmaktadırlar. Bu liflerin elli yıldır gelişmekte olan ve gelişimini hala devam ettiren bir elyaf çeşididir. 1990 yıllarına kadar kullanımı oldukça sınırlı kalmıştır. Fakat 1990 yıllarından itibaren fiyatlarında meydana gelen düşüşler ve kullanıma uygunluğunun artmasıyla kullanımı artış göstermektedir [1, 4, 9].

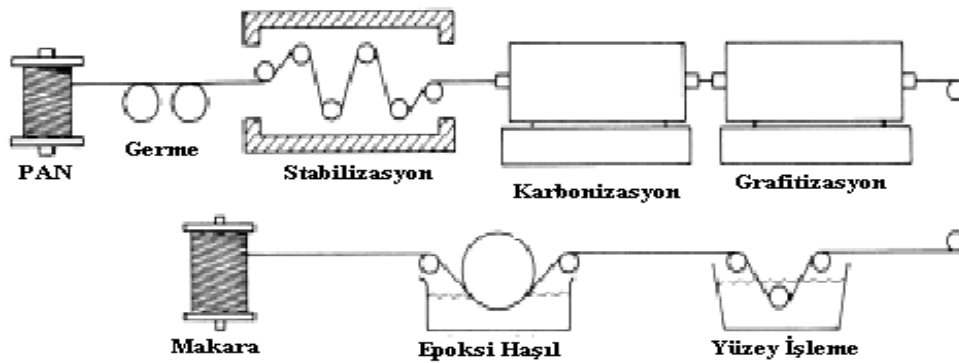
Genellikle karbon yerine grafit de denilmektedir. Bu iki terim aynı materyali tanımlamak için kullanılmaktadır. Fakat karbon lifleri % 95 civarında karbon içeren ve 900°C ile 1500°C arasında karbonlaşırken; grafit elyaflar %99 civarında karbon içeren ve 1900-3000°C sıcaklıklar arasında karbonlaşan malzemelerdir [10].

Karbon lifleri ilk olarak Edison tarafından akkor lamba tellerinde pamuk ve bambu gibi selüloz yapılı malzemelerin karbonizasyonu ile elde edilerek kullanılmıştır. Bu ilk üretilen karbon lifleri yüksek dayanıma sahip olmadığı için 1950'li yıllara kadar sadece bu alanda kullanılmıştır. Daha sonra dayanım özelliklerini daha iyi hale getirebilmek için değişik malzemelerden karbon elyaf elde edilmiştir. 1960'lı yıllarda iyi mekanik özellikteki karbon lifleri üretilmiş ve uzay, havacılık alanlarında kullanılmaya başlanmıştır [9].

Karbon elyaf üretiminde temel üretim tekniği çeşitli organik öncü malzemelerin ayrıştırılmasına dayanmaktadır. Karbon elyaf üretiminde birçok malzemenin kullanılabilmesine karşın en uygun hammaddeler poliakrilonitril (PAN), zift ve rayondur [4].

Karbon liflerinin elde edilmesinde her hammaddenin üretim detayları farklı olmasına karşın temel olarak stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir [9].

Kullanılan karbon liflerinin büyük çoğunluğu akrilik elyaftan elde edilen PAN esaslı karbon lifleridir. PAN esaslı karbon lifleri %93-95 oranında karbon içermektedirler [1, 9]. Şekil 2.1.'de PAN esaslı karbon liflerinin üretim gösterilmektedir. PAN'den lif üretiminde ilk olarak PAN hammaddesi germe işleminin ardından çekme altında 200°C sıcaklıkta oksijen içeren atmosferde ön oksitleme işlemine tabi tutulur. Bu işlem ile elyaf oksijeni emer ve meydana gelebilecek kısalmalar önlenir, çapraz bağlar oluşur ve elyaf stabil hale gelir. Böylece elyaf yüksek sıcaklıklarda da bozunmadan kalabilmektedir [1, 9]. Çekme ve stabilizasyon işlemleri, yüksek oryantasyon yapısının gelişmesini sağlarlar bu da ısı altında yüksek çekme modülü ve gelişmiş çekme dayanımı özelliklerinin oluşmasını sağlamaktadır [9].



Şekil 2.1. PAN esaslı karbon lif üretimi [9].

Daha sonra 1000-1500°C sıcaklıklar arasında karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Oksidasyon işlemi uygulanmış lifler nitrojen gazı içeren bir atmosferde işleme tabi tutulmaktadır. Karbonizasyon sırasında lif yapısında bulunan su, azot, hidrojen, amonyak, karbon monoksit, karbondioksit gibi gazlar serbest kaldığından lif çapında küçülme ve %50 ağırlık kaybı meydana gelmektedir. Bu aşamada lif kristalleri karbonlaşmaktadır [1, 2, 9, 11].

Açığa çıkan gaz hacmi lif hacminden çok daha fazladır. Bu açığa çıkan zehirli atık gazı seyreltmek ve atmosfere salınımını engellemek için inert gaz yani nitrojen kullanılmaktadır [11]. Karbonizasyon ile lif yoğunluğu 1,45 g/cm<sup>3</sup>'den 1,70 g/cm<sup>3</sup>'a çıkmakta, lif çapı 10-15µm'den 6-9µm'ye düşmektedir [11].

Karbonizasyon işleminin ardından 1500°C ile 3000°C sıcaklıkları arasında grafitizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Grafitizasyon işlemi ile elde edilen kristal yapı geliştirilir ve yönelim özelliği iyileştirilmektedir. İnert gaz olarak 2000°C sıcaklığa kadar nitrojen gazı, 2000°C sıcaklığın üstünde ise radon gazı kullanılmaktadır. Nitrojen gazı, 2000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda karbon ile reaksiyona girdiği ve siyanür ortaya çıktığı için kullanılmamaktadır [1, 11].

Ticari olarak iki tip PAN esaslı karbon lifi elde edilebilmektedir. Liflerin tipi grafitizasyon aşamasındaki sıcaklık ile belirlenmektedir. Grafitizasyon işlemi 2500°C sıcaklıkta gerçekleştirildiğinde Tip 1, 1500°C sıcaklıkta gerçekleştirildiğinde Tip 2 karbon lifleri elde edilmektedir. Tip1 karbon lifleri yüksek elastik modüllü, bundan dolayı daha az sünek elyaflardır. Tip 2 karbon lifleri yüksek dayanıma ve daha düşük modüllü yani daha sünek elyaflardır. Tip 1 elyafların maliyeti Tip 2 elyaflara göre daha fazla olmaktadır. Birçok yapısal uygulamalarda Tip 2 karbon lifleri tercih edilmektedir [1, 11].

Grafitizasyon işleminin ardından isteğe bağlı olarak yüzey iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler ile yüzey pürüzlülüğü ve yüzeydeki oksitlenmiş fonksiyonel grup yoğunluğu artırılmaktadır. Böylece kompozit kullanımlarında lif ile matris arasındaki bağ kuvveti artırılmaktadır. Hava ve karbondioksit ile yüksek sıcaklıklar altında işleme tabi tutulması, sodyum klorür ve nitrik asit çözeltileriyle muamele ve elektrolit oksidasyonu yüzey iyileştirmesi için kullanılabilir. Birçok üretici genellikle karboksil, karbonil ve hidroksil grupları ile elektrolit oksidasyon yöntemini kullanmaktadırlar [9, 12].

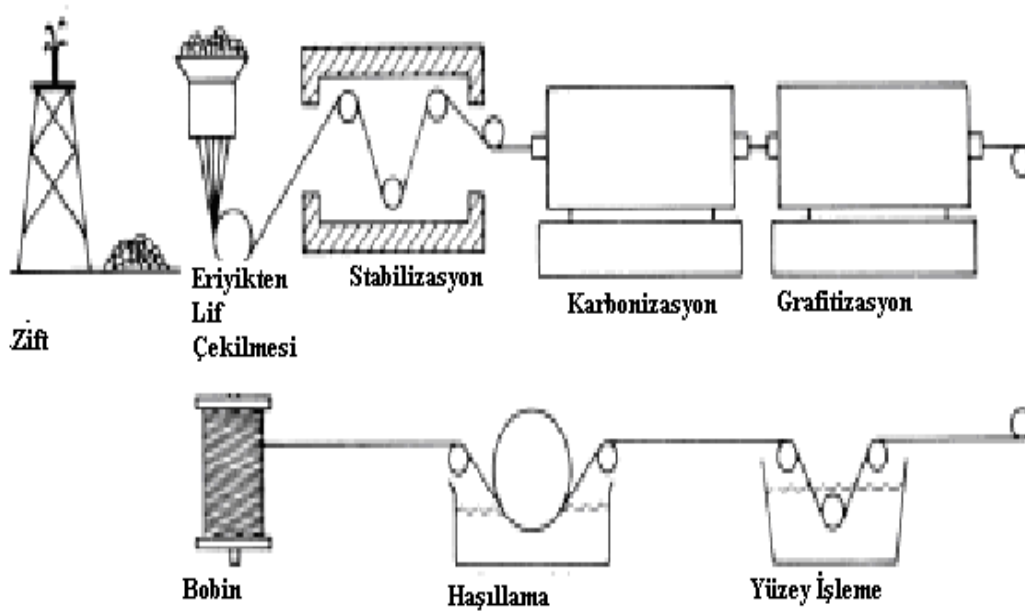


Yüzey işleminden sonra liflerin ıslanabilirliğini artırmak amacıyla düşük moleküllü epoksi ile haşılama işlemi gerçekleştirilmektedir [12].

Rayon esaslı karbon liflerinin elde edilmesi de PAN esaslı karbon lif işlemlerine benzer şekilde yapılmaktadır. Rayon esaslı liflerin üretiminde kullanılan işlem parametreleri farklılık göstermektedir [9]. Rayon esaslı karbon lifleri PAN esaslı liflere nazaran daha ucuz olmalarına karşın PAN esaslı lifler daha iyi moleküler oryantasyon göstermektedirler [11].

Zift; petrol, kömür, asfalt gibi maddelerden üretilen aromatik hidrokarbon karışımı bir yapıdır. Kömür esaslı ziftler petrol esaslı ziftlere göre daha aromatik yapıdadırlar. Zift esaslı karbon elyaf üretim prosesi PAN esaslı elyaf üretimine benzerli göstermektedir [9, 11]. Zift esaslı karbon lif üretim şeması Şekil 2.2' de gösterilmektedir.

Zift esaslı karbon lifi üretiminde ilk olarak zift hammaddesi üretime uygun hale gelmesi için eriyik haline getirilmekte ve bu eriyikten çekilerek lif yapısı şeklinde elde edilmektedir. Daha sonra 250-350°C sıcaklıkta stabilizasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Zift direkt olarak oksijen ile etkileştiğinde keton, karboksil ve karbonil grupları oluşabilmektedir. Oksidasyon işlemi metil ve hidro gruplar ile hızlandırılmaktadır [11].



Şekil 2.2. Zift esaslı karbon lif üretimi [9].

Oksidasyon işleminin ardından 1000°C sıcaklıkta karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Karbonizasyon işlemi azot ortamında gerçekleştirilmektedir. İşlem sırasında is ve katran meydana çıkmaktadır bu maddeler azot ile atılmaktadır. Zift esaslı lif üretiminde de bu aşamada ağırlık kaybı meydana gelmektedir [13].

Daha sonra grafitizasyon işlemi, ardından isteğe bağlı olarak yüzey iyileştirme ve haşılama işlemleri uygulanmaktadır [13]. Zift esaslı karbon lifleri yüksek rijitliğe ve yüksek termal iletkenliğe sahiptirler. Bu nedenle uzay ve termal uygulamalarda tercih edilmektedirler [4].

Karbon lifleri üretim esnasındaki parametrelere bağlı olarak farklı özellikler gösterebilmektedirler. Genel olarak PAN, Rayon ve zift esaslı karbon liflerinin bazı tipik mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. PAN, rayon, zift esaslı karbon lif özellikleri [4].

Özellik, Birim	Öncü Madde Cinsi		
	PAN	Zift	Rayon
Çekme dayanımı, MPa	1925-6200	2275-4060	2070-2760
Çekme modülü, GPa	230-595	170-980	415-550
Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	1,77-1,96	2,0-2,2	1,7
Uzama, %	0,4-1,2	0,25-0,7	-
Termal iletkenlik, W/mK	20-80	400-1100	-
<b>Lif Çapı, µm</b>	<b>5-8</b>	<b>10-11</b>	<b>6,5</b>

Karbon lifleri genel olarak düşük yoğunluklu, düşük termal iletkenliği olan, yapısal olarak etkili ve yüksek yorulma direnci gösteren malzemelerdir. Bunun yanında gevrektiler, düşük darbe dayanımı göstermektedirler [10].

Karbon lifleri tow denilen bükülmemiş demetler halinde üretilmektedirler. Towlar 1k, 3k, 6k, 12k, 24k şeklinde olabilmektedir. k harfi 1000 adet teli simgelemektedir [10].

### **Cam Lifleri**

Cam lifleri özellikle polimer matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye malzemeleridir. Yüksek dayanım özelliklerine sahiptirler ve en ucuz takviye elemanıdır.

Fakat düşük aşınma direnci gösterirler bu da kullanım dayanımının azalmasına neden olur. Aşınma direncini artırmak amacıyla çoğunlukla silikan ya da başka bir kimyasal madde ile cam lifleri yüzeyi işleme sokulmaktadır [1, 4].

Ayrıca diğer takviye liflerine nazaran daha düşük modül özelliği göstermektedirler [4].

Reaumur 1700'lü yıllarda camın lif şeklinde elde edilebileceğini fark etmiş ve bu elde edilen lifleri dokuma kumaş şekline getirmiştir. Bu yıllarda cam lifleri daha çok dekoratif amaçlı kullanılmıştır. Cam liflerinin üretimi ticari olarak İngiltere'de 1930'lu yıllarda başlamıştır. Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanımı ise 1950'li yıllara dayanmaktadır. [3, 14].

Cam liflerinin kullanımı genel olarak izolasyon, filtrasyon, takviye, optik kablolar olmak üzere dört temel kısma ayrılmaktadır [15].

Cam elyafın esas maddesini silis kumu yani silikat oluşturmaktadır. Bunun yanında belirli miktarlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir maddelerinin oksitleri de camın elde edilmesinde kullanılmaktadır [1].

Cam elyafın yapısındaki maddelerin farklı oranlarda kullanılmasıyla farklı yapıda çeşitli cam elyaflar elde edilebilmektedir. Farklı tipteki cam liflerinin içeriğindeki madde oranları Çizelge 2.2'de verilmiştir. Elde edilen farklı malzemeler farklı özelliklere sahiptirler. Cam liflerinin E, S, C, M, A, D gibi farklı tipleri bulunmaktadır. Kullanım yerine ve istenen özelliğe göre gerekli cam lifi tipi kullanılmaktadır [15]. Farklı cam liflerinin genel olarak karakter özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Cam liflerinin içeriğindeki madde oranları [1].

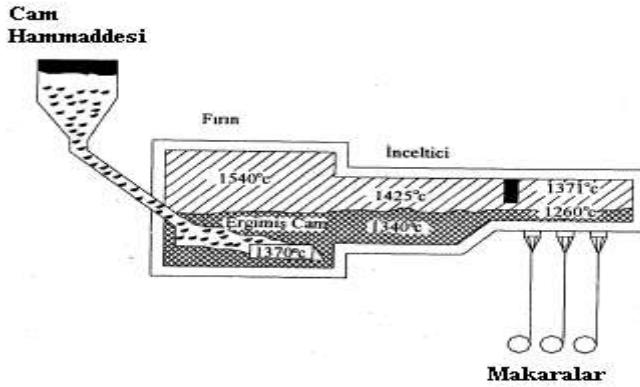
Malzeme Cinsi	E-Camı	S-Camı	C-Camı
Kum	52,4	64,4	64,6
Al ve Demir oksit	14,4	25	4,1
Kalsiyum oksit	17,2	--	14,3
Magnezyum oksit	4,6	10,3	3,3
Sodyum ve Potasyum oksit	0,8	0,3	9,6
Baryum iki oksit	10,6	--	4,7
Baryum oksit	--	--	0,9

Çizelge 2.3. Cam liflerinin karakter özellikleri [15].

Cam Elyaf Tipi	Karakter Özelliği
E Camı	Düşük Elektrik İletkenliği
S Camı	Yüksek Dayanım
C Camı	Yüksek Kimyasal Direnç
M Camı	Yüksek Rijitlik
A Camı	Yüksek Alkali veya Soda Kireçli Cam
D Camı	Düşük Dielektrik Sabiti

Cam liflerinin üretimi temel olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Cam maddesinin ergitilmesi ile başlayan süreç eriyiğin çekim işlemine tabi tutulması ve yüzey kaplama işlemi ile son bulmaktadır [1, 14].

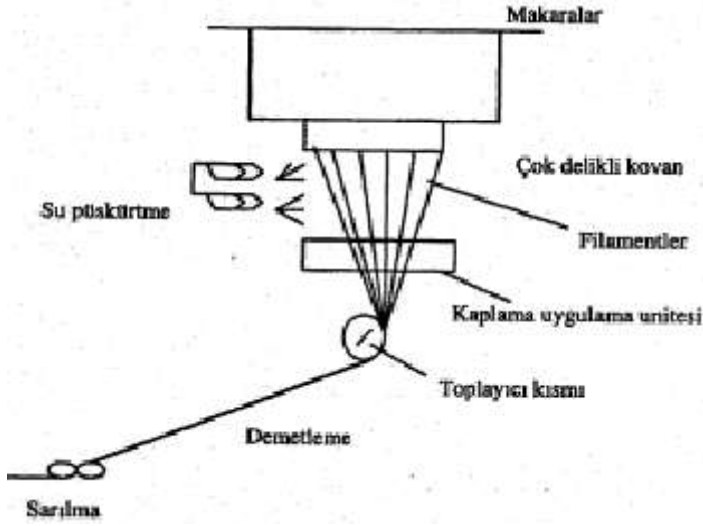
İçerisinde silikat ve diğer bileşenler bulunan cam maddesi ilk olarak lif çekimine uygun hale gelebilmesi için ergitme fırınlarında eriyik haline getirilmektedir. Ergitme işlemi elektrik fırınlarında 1200-1500°C sıcaklıklarda yapılmaktadır [1, 4]. Cam hammaddesinin ergitme işlemi Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ergitme işlemi [1].

Ergitme işleminden sonra çekim ve yüzey işleme aşamaları gelir. Çekim ve diğer aşamalar Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Eriyik halindeki cam platin alaşımli ve tabanında binlerce delik bulunan mekanizmaya aktarılır. Burada eriyik hızlı bir şekilde 0,793-3,175 mm arasında değişen çaplara sahip deliklerden aşağıya doğru hızlı bir şekilde çekilmektedir. Çekilen filamentler kristalleşmeyi engellemek amacıyla hızla soğutulmaktadır. Soğutma

işlemi su püskürtmesi şeklinde yapılmaktadır. Daha sonra lifler kayganlık kazandırmak, aşınma direncini artırmak amacıyla genellikle silikan içeren bir kimyasal ile kaplama işlemine tabi tutulur. Daha sonra demetler halinde sarılarak bobinlenirler [1, 4, 15] .



Şekil 2.4. Cam lif üretimi [1].

Cam lifleri kesikli veya sürekli lif halinde üretilebilmektedirler. Her iki şekilde de üretim metodu aynı şekilde yapılmaktadır [4].

Cam liflerinin çapları 3 ile 20  $\mu\text{m}$  arasında değişim göstermektedir [15].

### **Aramid Lifleri**

Aramid lifleri aromatik karbon zincirlerinden oluşmaktadır. Yapılarındaki aromatik bağlar nedeniyle yüksek dayanım özellikleri göstermektedirler [1].

Bu elyafların üretiminde polimer maddeyi elyaf haline dönüştürmek için mineral asit, klor sülfonik ile düşük sıcaklıklarda eriyik hazırlanır. Bu eriyik süzgeçten geçirildikten sonra kuvvetli asit içeren banyo içerisinden kuru lif çekim yöntemiyle çekilirler. Çekim derecesi elyaf yapısı için oldukça önemlidir. Çekme işleminden sonra elyaflar yıkanır, durulanır ve bir miktar çekme kuvveti altında sıcaklıkta azot içinde ısıtılır. Elde edilen elyaf 12 $\mu\text{m}$  çapında ve kahve renklidir [1, 4].

Aramid liflerinin en önemli ve kompozit alanında en çok kullanılanı Kevlar adıyla bilinen liflerdir. Kevlar lifleri 1970'li yıllarda Dupont firması tarafından tanıtılmıştır. Kevlar liflerinin Kevlar-29 ve Kevlar-49 olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Kevlar-29 lifleri

genelde balistik koruma, halat ve kablo yapımında, Kevlar-49 lifleri ise yüksek modüle sahip oldukları için daha çok takviye elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Bu lifler spesifik özelliklere sahiptirler. Diğer organik liflere göre çekme dayanımı ve modülleri daha yüksek, elyaf uzaması daha düşüktür. Cam elyafa göre daha hafif ve rijittirler. Cam harici diğer liflere göre daha ucuzdurlar. Cam veya karbon lifleri gibi kırılğan yapıda olmadıkları için iplik, örme, dokuma kumaş şeklinde kolaylıkla üretilebilirler. Korozyon dayanımları genelde iyidir. Yüksek sıcaklıklarda sünme dayanımları oldukça yüksektir [1, 3, 4].

Tüm bu iyi özelliklerinin yanında bazı dezavantajlı özelliklere de sahiptirler. Kevlar lifleri basınç altında zayıf özelliklere sahiptirler. Güneş ışınlarına ve sülfürik aside karşı hassasiyet gösterirler. Eğilme dirençleri düşük, kesimleri zordur. 100 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda çekme dayanımı ve elastisite modülleri sabittir, sıcaklık 300 °C'yi geçtiğinde bu değerlerde ani düşüşler meydana gelmektedir [1, 3, 4].

### **Boron Lifleri**

Boron lifleri oda sıcaklığında katı halde bulunmaktadırlar. Bu lifler bortriklorürün, tungsten ya da karbon tel üzerinde hidrojen ile reaksiyonu ile elde edilmektedir. Elektriksel olarak 1300 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış olan tungsten telin üzerine bor sarılmaktadır. Bor ile kaplamadan önce telin temizlenmesi gerekmektedir. Tungsten teli çapı 15 µm çapında, üretilen elyafın çapı ise 100-200 µm arasında değişmektedir [1, 4].

Boron elyaflar, yüksek modüllü, yüksek dayanımlı ve yüksek ergime noktasına sahip malzemelerdir. Bu özelliklerine rağmen kompozit oluşumu sırasında metallerle tepkimeye girerler ve maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca sarılmaları oldukça zordur, bu nedenle düz paralel filament şeklinde üretilirler ve ince titanyum teller ile bağlanarak epoksiler arasına yerleştirilirler [1].

Hazırlanışı yani üretimindeki özellikler nedeniyle pahalı malzemelerdir. Fakat maliyetlerinde kullanımlarının artışıyla büyük düşüşler meydana gelmektedir. Amerika'da yıllık boron lifi üretimi 50 bin tonu aşmaktadır. Bu lifler genelde uzay sanayisinde kullanılmaktadırlar [1].

## **Diğer Takviye Elemanları**

Kompozit malzemelerin takviyesinde karbon, cam, aramid ve boron liflerinin yanı sıra alüminyum oksit, silisyum karbür gibi malzemelerde kullanılmaktadır.

Alüminyum oksit yani alümina lifleri daha çok metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılmaktadır. Bu lifler kristalli yapıya sahip olup, yapılarına %99 saf alüminyum oksit ihtiva etmektedirler. Lifler ortalama olarak 20 µm çapında üretilir ve dayanım özelliklerini 900-1000 °C sıcaklığa kadar muhafaza edebilmektedirler [1].

Diğer bir takviye malzemesi olan silisyum karbür boron elyaflara alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Bu lifler boron elyaflara göre daha yüksek oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıkta daha iyi rijitliğini ve dayanımını koruma direnci, eriyik halde alüminyum içerisinde daha iyi etki göstermektedirler. Ayrıca ekonomik olarak en uygun liflerdir ve bu nedenle bu liflere olan ilgi artmaktadır [1].

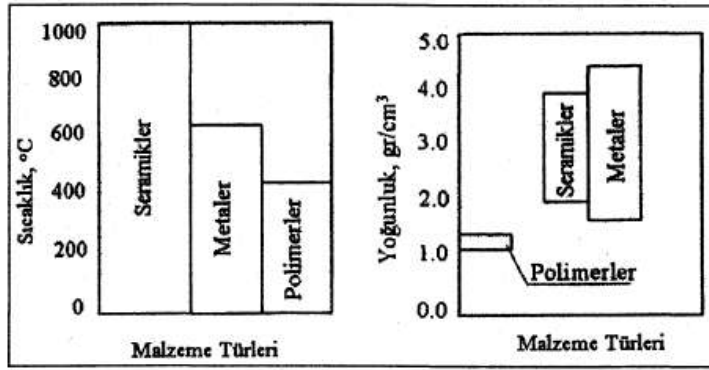
### **2. 4. 2. Matris Malzemeleri**

Matris takviye elemanını saran, bunları bir arada tutan, yük iletimini sağlayan ve takviye elemanını dış etmenlere karşı koruyan elemandır. Ayrıca matris malzemesi kompozit üzerindeki yüklerin bir kısmını taşımakta ve liflerde kopma meydana geldiğinde bunu diğer life aktarmakta ve yükü tolere etmektedir [3, 4].

Matris, kompozit malzemelerin basınç dayanımı, enine dayanım ve modül gibi bir çok mekanik özelliğine etki etmektedir. Ayrıca sıcaklık, kimyasal etkileşim ve neme karşı direnci matris tarafından belirlenmektedir [1, 4].

Kompozit malzemede kullanılacak olan matrisin seçimi takviye elemanının seçimi kadar önemlidir. Kullanılacak matris elyaf ile reaksiyona girmemeli, elyafları ıslatabilmeli, yapışma için bağ oluşturabilmeli ve en az basınç ile sıcaklıkta katılaşabilmelidir [1].

Matris malzemeleri genel olarak, polimer matris, metal matris, seramik matris ve karbon matris olarak gruplandırılırlar. Bu matrislerin sıcaklık ve yoğunluk özelliklerinin karşılaştırmaları Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Matrislerin sıcaklık dayanımı ve yoğunluklarının karşılaştırılması [1].

### Polimer Matrisler

Polimer matrisler günlük dilde plastik olarak adlandırılmaktadırlar. Polimerler lif takviyeli kompozitlerde en çok kullanılan matris malzemeleridir [3, 4].

Polimerler zincir şeklinde yapılı, monomerlerden meydana gelen sentetik malzemelerdir. Yapıları amorf şeklinde uzun ve karışık yapılıdır. Bu nedenle düzenli yapı oluşturmaları zordur. Amorf yapı içinde küçük kristal bölgeler oluşur ve bu kristallerin yönelmesi düzensizdir. Kristalleşme arttıkça mekanik özelliklerde artmaktadır. Soğuma hızı yavaş olduğunda kristalleşme daha fazla olmaktadır [1].

Polimerler ile karışık geometrili şekiller bile kalıba enjekte edilerek kolaylıkla üretilmektedir, bu yüzden plastiklere reçine de denilmektedir [1].

Polimerler ticari ve teknik bakımdan önemli özellikler sahip olduklarından dolayı metal matrislere oranla kullanımları daha fazladır [1].

Polimerler düşük maliyetli, kolay işlenebilir, iyi kimyasal dirence sahip, düşük yoğunluğa sahip, yüksek korozyon direnci gösteren, üretiminde az enerji harcanması özelliklerinden dolayı kompozitlerde kullanımı avantajlı hale gelmektedir [1, 4].

Bu avantajlarının yanında düşük dayanım, düşük elastik modülü, düşük işlem sıcaklığı, sınırlı yüklenme şartlarına sahip olması kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Ayrıca güneş ışığı ve bazı çözücüler ile özellikleri düşüş göstermektedir [1, 4].



Polimerler içyapılarına ve davranışlarına göre termoplastikler ve termosetler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar [4].

### ***Termoplastik Malzemeler***

Termoplastikler zayıf bağlarla bağlandıkları için zayıf bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle sıcaklık artışı ile yumuşamakta ve viskozitesi düşmektedir. Sıcaklığın düşmesi ile tekrar sertleşme göstermektedirler. Bu özellikleri sayesinde tekrar şekillendirilebilirler. Yumuşama ve sertleşme özelliği malzeme yapısında buharlaşma ile bozulma meydana gelmediği müddetçe devam etmektedir [1, 3, 4].

Termoplastik malzemelerin yapısında amorf ya da yarı kristal bölgeler bulunmaktadır. Bu reçineler hiçbir zaman tamamen kristal bir yapıya sahip değildirler [4].

Termoplastikler oda sıcaklığında yüksek viskoziteye sahiptirler. Bu özelliklerinde dolayı kompozit malzemelerde matris olarak kullanıldıklarında elyaf ile ara yüzey bağı oluşturulması termosetlere göre daha zor olmaktadır [1, 3].

Termoplastikler %1 ile %500 arasında değişen bir sünekliğe sahiptirler. Metal ve seramik malzemelere göre düşük yoğunluğa sahiptirler. Termal uzama katsayıları oldukça yüksektir. Metal matrislerden iki kat, seramik matrislerden dört kat fazla özgül ısıya sahiptirler. Termal iletkenlik özellikleri metallerin üçte biri kadardır. Ayrıca elektriksel özellik olarak yalıtkan malzemelerdir [1,3].

Termoplastik reçinelerin düşük çekme dayanımına ve sertliğe, düşük ergime sıcaklığına sahip olması ve oda sıcaklığında bile sünme ve şekil değişimleri göstermesi bu reçinelerin olumsuz özellikleridir [1,3].

Termoplastik reçineler üretilen polimer sentetiklerin yaklaşık olarak %70'lik kısmını oluşturmaktadır [1].

Asetal, akrilikler, poliamidler, polyesterler, polietilen, polipropilen, polivinilklorür yaygın olarak kullanılan termoplastik reçinelerdir. Bazı polimer malzemeler hem termoplastik hem de termoset olarak üretilebilmektedir. [1, 3]. Polietilen, poliamid ve polipropilen termoplastik reçinelerin bazı özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bazı reçine özellikleri [1].

<b>Malzeme</b>			
<b>Özellikleri</b>	<b>Polietilen</b>	<b>PA 6.6</b>	<b>Polipropilen</b>
<b>Yoğunluk(g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,95	1,14	0,90
<b>Elastik Modülü(MPa)</b>	1000	700	1400
<b>Çekme Dayanımı(MPa)</b>	30	70	35
<b>Kopma Uzaması (%)</b>	10-1200	300	10-500
<b>Termal iletkenlik</b>	0,48	0,25	0,12
<b>Isıl Genleşme Katsayısı</b>	60-110	70-120	80-100
<b>Ergime Sıcaklığı (°C)</b>	--	260	175

Asetal reçinelerin ana malzemesi formaldehittir. Yüksek rijitlik, yüksek dayanım, iyi aşınma direnci, düşük nem alma kapasitesine sahiptirler ve ergime noktaları yüksektir. Bazı otomotiv parçaları, pompa ve benzer yapılarda kullanılmaktadırlar [1].

Akrilikler lineer oldukları için şekilsiz polimerlerdir. Saydam olarak optik uygulamalarda, uçak camlarında kullanılmaktadırlar. Çizilme dirençleri düşüktür ve tekstil alanında elyaf eldesinde kullanılabilirler [1].

Poliamidlerin en önemlileri naylon grubudur. Naylonların aşınma direnci ve elastik modülü yüksektir. 125°C sıcaklıklarda mekanik özellikleri korumaktadır. En önemli dezavantajı suyu emme eğilimleridir. Dayanım ve düşük sürtünme istenen yerlerde metal yerine tercih edilirler [1].

Polyester reçineler doymuş ve doymamış polyesterler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Doymuş polyesterler termoplastik özellik göstermektedirler. Yapıları şekilsiz ya da %30 kristalleşmiş olabilir. Termoplastik polyesterler enjeksiyon kalıplama şeklinde üretimlerde ve tekstil alanında lif üretiminde kullanılmaktadırlar. Fotografik filmler ve manyetik bantlarda kullanılmaktadırlar [1, 3].

Polietilenler, düşük nem çekme kapasiteli, deformasyon direnci iyi, düşük maliyetli, kolay işlenebilir malzemelerdir [1].

Polipropilenler, enjeksiyon kalıplarda en hafif polimerlerdir. Dayanım/ağırlık oranları yüksektir. Yüksek ergime derecesi nedeniyle belli alanlarda kullanılabilirler [1].

## ***Termoset Malzemeler***

Termoset reçinelerin yapısında üç boyutlu kovalent bağlar bulunmaktadır. Yapısındaki bu bağlar nedeniyle yüksek rijitliğe sahiptirler [3, 4].

Termosetlerin üretimi esnasında polimerizasyon oluşmaktadır. Polimerizasyon reaksiyonu geri dönüşümlü değildir bu nedenle bu reçineler ısıtılıp yumuşamaz ve tekrar şekillendirilemezler [3, 4].

Termoset reçinelerin molekül büyüklüğü, molekül yoğunluğu ve çapraz bağ uzunlukları fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyen faktörlerdir. Termosetler, termoplastik reçinelere göre daha iyi dayanım özellikleri göstermektedirler. Su emici özellikleri vardır ama daha iyi sürtünme direnci göstermektedirler. [1].

Kompozit malzeme elde edilirken sertleşme esnasında termoset reçinelerde %10 civarında bir büzülme meydana gelmektedir. Meydana gelen bu büzülme nedeniyle kompozit malzeme basma kuvveti altında iken elyaflarda burkulmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda termosetler düşük dayanım ve düşük mekanik özellikler göstermektedirler. Ayrıca düşük ısı genleşme ve düşük elektrik iletkenliğine sahiptirler [1].

Epoksi reçineler, polyester reçineler, fenolik reçineler, silikon reçineler, vinilester reçineler, furan reçineler genel olarak kullanılan termoset reçinelerdir. Epoksi ve polyester reçineler yüksek performanslı elyaf takviyeli kompozitlerde en çok kullanılan matris malzemesidir [1, 3]. Çizelge 2.5’de bazı termoset reçinelerin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Termoset reçine özellikleri [1].

<b>Malzeme</b>	<b>Epoksi</b>	<b>Polyester</b>	<b>Fenolik</b>
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Elastik Modül (MPa)	7000	3400	4800
Çekme Dayanımı (MPa)	70	41-90	34-62
Kopma Uzaması (%)	3-6	42	1,5-2,0
Isıl İletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl Genleşme Katsayısı (1/°C)	45-65	55-100	68

Epoksi reçineler, yapısal ve özel uygulama alanlarında kullanılan nitelikli kompozit üretiminde kullanılan termoset grubu reçinelerdir [3, 16].

Epoksi reçinelerin molekül ağırlığını ve bağ kuvvetini artırmak için ısıl işlem uygulanmaktadır. Isıl işlem ile yüksek dayanımlı, kimyasal ve ıs direnci yüksek epoksi reçine elde edilebilmektedir [1].

Epoksi reçineler ile kompozit üretiminde sertleşme sırasında herhangi bir yan madde ortaya çıkmamaktadır. Ayrıca sertleşme sırasında diğer termoset reçinelere göre çok daha az çekme göstermektedirler. Sertleşme sırasındaki çekme oranı %1-2 civarında olmaktadır. Bu oran dolgu maddeleri ile sıfır seviyesine çekilebilmektedir [3].

Yüzey kaplamalarında, reçine ve elyaf ile karışık kompozit yapıların elde edilmesiyle panel, kanat ve gövde parçaları uygulamalarıyla uzay ve havacılık alanı, golf sopası gibi spor gereçlerinde, yarış arabaları, müzik aletlerinde kullanılabilirler. Yalıtım özellikleri sayesinde transistör gibi elektronik uygulamalarda da kullanılmaktadırlar [1, 16].

Polyester reçinelerde doymamış polyesterler termoset özellik göstermektedirler. Cam takviyeli kompozit malzemelerde en çok kullanılan matris materyalidirler. Polyester reçineler sahip oldukları mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri, tasarım kolaylığı sağlamaları, geniş olanakları sunmaları nedeniyle ekonomik ve geniş imkanlar sağlayan matrislerdir [3]. Termoset polyester reçineler düşük viskoziteye sahiptirler [4]. Tanklar, gemi iskeletleri, otomobil gövdesi gibi büyük ebatlardaki parçalar için kompozit üretiminde çokça kullanılmaktadırlar [1].

Fenolik reçineler gevrek yapıya sahip fakat yüksek ısı, su ve alkali harici kimyasal ve boyutsal dayanıma sahip malzemelerdir. Koyu tonlarda renklendirilebilmektedirler. Özelliklerini 300°C sıcaklığa kadar muhafaza edebilmektedirler. Havacılık, büyük transit araçlar, roketlerde kullanılırlar [1, 3, 4].

Silikon reçineler, diğer reçinelerden farklı olarak yapılarında karbon yerine inorganik esaslı silikon bulunan malzemelerdir. Boyama, kaplama ve laminentlerde kullanılmaktadırlar [1, 3].

Vinil ester reçineler üretim olarak polyester reçinelere, sertleşme özellikleri olarak epoksi reçineler ile benzerlik göstermektedirler. Polyester reçineler gibi düşük viskoziteye sahiptirler ve hızlı bir şekilde kürleşirler. Fakat fiyat açısından bakıldığında daha pahalıdırlar. Çevre şartlarına karşı dayanımlı olduklarında korozyif ortamlardaki

uygulamalarda, kimyasal dayanımları nedeniyle kimya tesislerinde, borularda ve depolarda kullanılmaktadırlar [3, 4].

Furan reçineleri, oksidasyon olmadı olmadığı sürece kimyasal dayanımı yüksek malzemelerdir. İşlenmesi sırasında asidik özellikte katalizörlere gereksinim duymaktadırlar. Bu nedenle laminant uygulamalarında işlenme zorluğu bulunmaktadır. Çevre koşullarına bağlı olarak 150°C sıcaklığa kadar özelliklerini koruyabilmektedirler. Yangın durumunda az duman oluşturdıklarından özellikle havalandırma kanallarının yapımında kullanılırlar [3].

Bismaleimid reçineler polimid ile epoksi özellikleri arasında yer alan bir malzemedir. Üretim prosesi epoksi reçineye benzeyen polimid türü bir reçinedir. Bismaleimid reçineler oldukça kırılğan yapıdırlar. Yüksek ısıya maruz kalan parçalar ve uçak motor parçalarının yapımında kullanılmaktadır [10].

### **Metal Matrisler**

Metaller, mühendislik alanında çok yönlü kullanımlar sağlayan malzemelerdir. Metal matrisler yüksek dayanımlı, yüksek modüllü, yüksek tokluk ve darbe dayanımı özelliklerine sahip ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyen yapıya sahip malzemelerdir. Ayrıca atmosfer şartlarına karşın korozyon dayanımları da oldukça yüksektir [1, 4].

Polimer matris malzemelerine göre daha iyi dayanım özellikleri göstermektedirler. Fakat metal matrisler pahalı malzemelerdir ve metal matris ile kompozit üretimi zor ve maliyetlidir. Metal matrisler her elyafla ara yüzey oluşturamazlar. Metal matris ile en çok kullanılan takviye elemanları silisyum karbür ve boron elyaflarıdır [1, 3].

Metal malzemelerin kompozit malzemelerde kullanılması metal hammaddeden çok ince lif şeklinde materyallerin elde edilmesi ile mümkün olmuştur. Bu amaçla ilk olarak çok ince alüminyum oksit lifler üretilmeye başlanmıştır [3].

Kompozit malzemelerde metal matris olarak düşük yoğunluklu, tokluk ve mekanik özellikleri iyi olan hafif metaller ve alaşımlar kullanılmaktadır. En yaygın olarak Alüminyum (Al) ve alaşımları, titanyum, magnezyum metal matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında nikel, bakır, gümüş ve çinko kullanılmaktadır [1,3].

Alüminyum ve alaşımları en çok kullanılan metal matrislerdir. Alüminyumlar, dayanım/özügöl ağırlık oranının ve elektrik iletkenliği/özügöl ağırlık oranının yüksek olması,

yüksek korozyon direnci göstermesi, şekillendirme kolaylığı sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir. Saf alüminyumun oksijene ilgisi nedeni döküm kabiliyeti kötü ve kaynakla işlenebilirliği sorunludur. Fakat alaşım şeklinde kullanıldığında özellikleri geliştirilebilmektedir. Düşük ergime noktasına sahip olduğu için yüksek sıcaklıklarda iyi özellikler göstermezler [1, 4]. Çizelge 2.6'de bazı alüminyum alaşımlarının özellikleri gösterilmektedir.

Alüminyum matris ile en çok karbon elyaf kullanılmaktadır. Fakat 500°C ve üzeri işlem sıcaklıklarında karbon ile alüminyum tepkimeye girmektedirler. Bu da kompozit malzemenin mekanik özellikleri düşürmektedir. Bunu önlemek amacıyla karbon elyafların yüzeyleri kaplama maddeleri ile kaplanmaktadır [4].

Çizelge 2.6. Alüminyum alaşım özellikleri [4].

Alaşım Tipi	Gerilme Modülü (GPa)	Akma	Germe	Darbe Çatlağı (%)
		Gerilmesi (MPa)	Dayanımı (MPa)	
1100	63	43	86	20
2024	71	128	240	13
5052	68	135	265	13
6061	70	77	136	16
Al-7Si	72	65	120	23

Magnezyum alüminyumdan daha düşük özgül ağırlığa sahiptir. Dayanım özellikleri iyi olmamasına karşın dayanım/özgül ağırlık oranı alüminyuma göre daha yüksektir. Oksijene ilginin fazla olması nedeniyle korozyon oluşması, düşük elastisite modülüne ve düşük yorulma direncine sahip olmasından dolayı daha az tercih edilmektedirler [1, 4].

Titanyum ve alaşımlarının ısıl genişleme katsayıları düşüktür. Alüminyumdan daha rijit ve dayanıklı bir yapıya sahiptirler. Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruyabilmektedirler. Bu nedenle kompresör pervanesi ve diski gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Korozyon direncinin yüksek olması nedeniyle denizcilik gibi alanlarda kullanılırlar. Dayanım/ağırlık oranının yüksek olması nedeniyle de uçak ve uzay sanayisinde tercih edilmektedirler [1,4].

## **Seramik Matrisler**

Seramik malzemeler metal ve metal olmayan elemanlardan oluşan inorganik malzemelerdir. Kayaların dış etmenlerle parçalanmasıyla oluşan kil gibi malzemelerin pişirilmesi ile üretilmektedirler. Yapılarında kuvvetli bağların bulunması nedeniyle oldukça kararlı yapılardır. Yani sert, gevrek ve yüksek sıcaklıklara dayanımlı yapıları vardır. Gevrek oldukları için mikro yapısal hataları gerilme yığılmalarına neden olur bu yüzden çekme dayanımları düşüktür. Plastik şekil verme olmadan gevrek şekilde kırılma gösterirler. Seramik malzemeler mühendislik uygulamalarında kompozit malzeme olarak kullanıldıklarında 1200°C sıcaklıklara kadar kullanılabilirler [1].

### **2. 5. Kompozit Malzemelerin Üretimi**

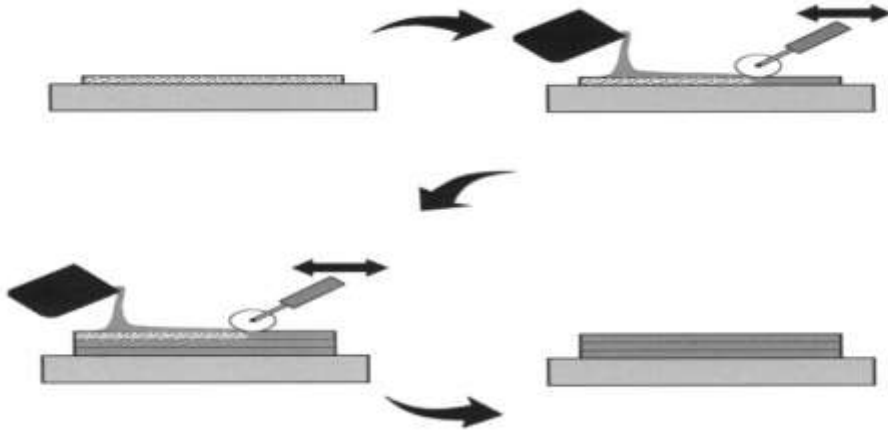
İstenilen özellikte bir kompozit üretimi için takviye ve matris dışında üretim şekli de önemli bir etkidir. Her malzeme kendine özgü bir karaktere sahip olduğundan dolayı malzemeye en uygun üretim tekniği belirlenerek, seçilmelidir. Üretim yönteminin seçiminde takviye elemanı, matris, üretim miktarı, maliyet, boyut/şekil gereksinimi faktörlerine göre belirlenmektedir [1, 17].

Kompozit üretiminde her üretim tekniği için dört ana işlem mevcuttur. Bunlar; takviye malzemesi ve reçinenin birleştirilmesi yani emdirme işlemi, istenen yerleşim planının ayarlandığı yatırma işlemi, tabakalar arası sıkı bir bağlantının olduğu birleştirme işlemi ve kompozitin son halini aldığı sertleştirme işlemidir [17].

#### **2. 5. 1. Elle Yatırma Yöntemi**

Elle yatırma yöntemi, hem büyük boyutlu hem de küçük boyutlu kompozit malzeme üretiminde bilinen en eski, en basit ve en çok kullanılan metottur. Çoğunlukla epoksi ve polyeester termoset reçinelerden elde edilen kompozit üretiminde kullanılmaktadırlar. [1, 4]. Elle yatırma yönteminde tahta, metal, plastik ya da bu malzemelerin kombinasyonu ile oluşturulmuş bir malzemedan yapılan kalıp kullanılmaktadır [4]. Kullanılan kalıp istenilen şekilde hazırlanabilmekte ve tek veya çok parçalı olabilmektedir [1].

Bu yöntemde hazırlanmış olan kalıp üzerine ilk olarak kompozit malzemenin kolay bir şekilde kalıptan ayrılabilmesi için jel bir tabaka sürülür. Jel tabaka için polivinilalkol, silikon gibi maddeler kullanılmaktadır. Jel tabakanın ardından hazırlanmış olan reçine karışımından bir miktar dökülür. Kullanılan reçinenin içerisine kompozit malzemenin katılaşabilmesi için bir miktar sertleştirici malzeme ilave edilmektedir. Daha sonra dokuma, örme veya demet halinde hazırlanmış olan tabaka kalıp üzerine yerleştirilir ve reçine el rulosu ile malzemeye emdirilir. İstenilen kat sayısı ile malzemenin kalınlığı ayarlanarak, istenilen yön ve doğrultuda kompozit malzeme üretilebilmektedir. En son kat serme işleminin ardından reçine iyice emdirilir ve hava kabarcıkları yok edilir. Daha sonra genellikle oda sıcaklığında ya da düşük bir basınç ve sıcaklık altında sertleşmesi için bırakılır [1, 4, 18]. Elle yatırma yöntemi Şekil 2.6' da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemi [10].

Bu yöntemde kullanılan araç ve gereçler az ve maliyeti düşük olduğu için en basit ve ucuz metottur. Ayrıca tasarım kolaylığı sağlamaktadır [1, 4].

Elle yatırma yönteminde kullanılan elyaf hacim oranı %30 civarında sınırlanmaktadır. Malzeme özelliklerinin önemli olduğu alanlarda ön gömülmüş elyaf kullanılarak elyaf hacim oranı artırılabilir [1].

### 2. 5. 2. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin kısmen otomatik hale getirilmiş bir biçimidir. Bu yöntemde de elle yatırmada olduğu gibi açık halde kalıplama yapılmaktadır [1, 4].



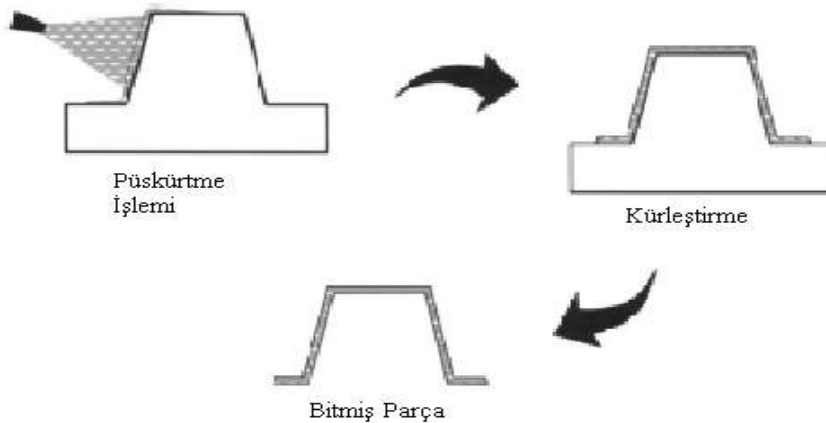
Bu yöntemde püskürtme tabancası bulunmaktadır. Bu tabanca ile reçine ve kırılmış lifler açık kalıba ayna anda püskürtülmektedirler. Liflerin kesilme işlemi tabanca üzerinde bulunan bıçaklar tarafından gerçekleştirilmektedir [1, 4]. Resim 2.1’de püskürtme tabancası gösterilmektedir.

Hazırlanan kalıp üzerine ilk olarak kompozitin kolay ayrılabilmesi için jel tabaka uygulanır. Daha sonra kalıba tabanca yardımı ile reçine ve lif püskürtülür. Püskürtme işlemine istenen kalınlık elde edilinceye kadar devam edilir. Püskürtme işleminin ardından rulo ile düzeltme yapılır [1, 4].

Sertleşme genelde oda sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Fakat ısı kullanılarak sertleşme daha hızlandırılabilir [1]. Şekil 2.7’de püskürtme yöntemi gösterilmiştir.



Resim 2.1. Püskürtme tabancası [18].



Şekil 2.7. Püskürtme yöntemi ile kompozit malzeme üretimi [30].

Bu yöntem basit ve maliyeti düşüktür. Karmaşık yapılı parçalarda ve büyük ebatlı parçaların üretiminde avantajlı bir yöntemdir [1].

Elle yatırma ve püskürtme yöntemlerinin sağladığı avantajlar şunlardır [4];

- Büyük ve karmaşık parçalar üretilebilmektedir.
- Gerekli ekipman yatırımı minimum düzeydedir.
- Yarı kalifiye işçiler kolaylıkla üretimi öğrenebilmektedir.
- Tasarım çeşitliliği sağlamaktadır.
- Sandviç yapıları elde etmek mümkündür.

Sağladığı avantajların yanında bu yöntemlerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Dezavantajlar şunlardır [4];

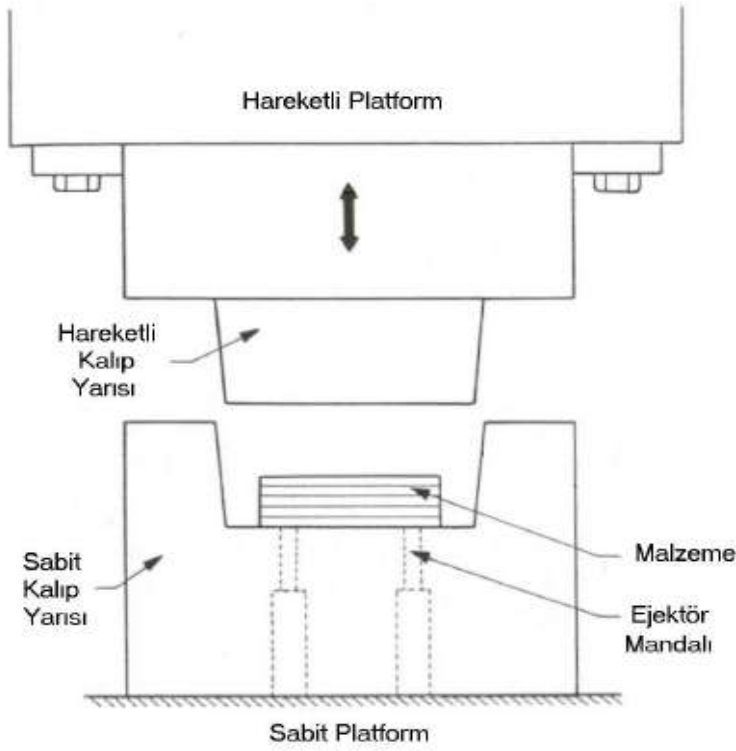
- İşlemler yoğun emek gerektirmektedir.
- Üretim düşük hacimlidir.
- Genellikle oda sıcaklığında bekletilerek sertleştirildiğinden uzun sertleşme işlemi zamanları gerekmektedir.
- Tamamen aynı özellikte parçaların üretilmesi zordur.
- Bir defada sadece bir tane kalıplanmış yüzey elde edilmektedir.
- Fazla atık oluşmaktadır.

### **2. 5. 3. Basma ve Transfer Kalıplama Yöntemi**

Büyük ebatlı parçaların üretiminde iyi bir yüzey elde edilmektedir. Özellikle otomobil sektöründe kullanılan parçaların üretiminde kullanılmaktadırlar. Bunun dışında ev aletleri, elektrik kutuları, dış cephe lambaları gibi parçaların üretiminde kullanılmaktadırlar. Kullanılan lif oranı %30 ile sınırlıdır [1, 17].

Baskı kalıplama yönteminde tabaka kalıp bileşeni (SMC) ve hacimli kalıp bileşeni (BMC) kullanılmaktadır [17].

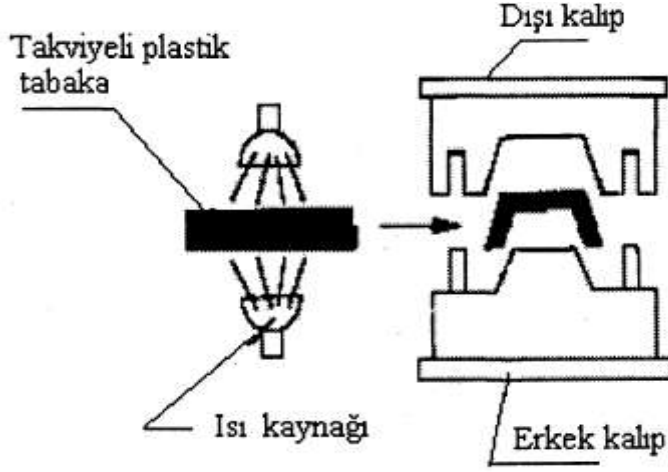
Kullanılan kalıp tek veya parçalı olabilmektedir. Kalıp için dökme demir, çelik döküm, alüminyum döküm üzerine krom kaplanmış malzemeler kullanılmaktadır [1]. Baskı kalıplama yönteminin şematik olarak görünümü Şekil 2.8'da verilmiştir.



Şekil 2.8. Baskı kalıplama yöntemi [17].

Bu yöntemde önceden ısıtılmış olan kalıba malzeme yerleştirilmektedir. Yerleştirilen malzeme konulduğunda kalıbın yaklaşık % 30 ile % 90'ı arasında bir alanı kaplamaktadır. Boş kalan kısım kalıplama sonrasında malzemenin sıcaklık etkisiyle akışı ile kaplanmaktadır. Malzeme kalıba yerleştirildikten sonra alt ve üst kalıplar kapanır. 1- 14 MPa arasında 105-160°C arasında bir sıcaklıkta 1 ile 5 dakika arasında işleme tabi tutulur. İşlem zamanı istenilen kalınlık, ölçü ve parça şekline göre ayarlanmaktadır. İşlem sonunda kalıp açılarak hazır parça ejektör yardımıyla kalıptan çıkarılmaktadır [1, 17].

Transfer kalıplama basma kalıplama benzeri bir yöntemdir. Basma kalıplamadan farklı olarak kalıp malzemesi farklı bir kısımda ısıtılmaktadır. Isıtılan malzeme daha sonra kalıp içerisine transfer edilir ve gerekli işlem koşulları ayarlanarak son mamul elde edilmektedir. Transfer kalıplama basma kalıplama ile üretimi zor olan küçük karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılmaktadır [1]. Şekil 2.9'da transfer kalıplama yönteminin şeması gösterilmektedir.

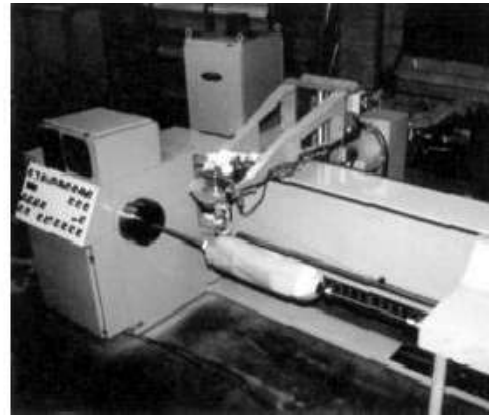
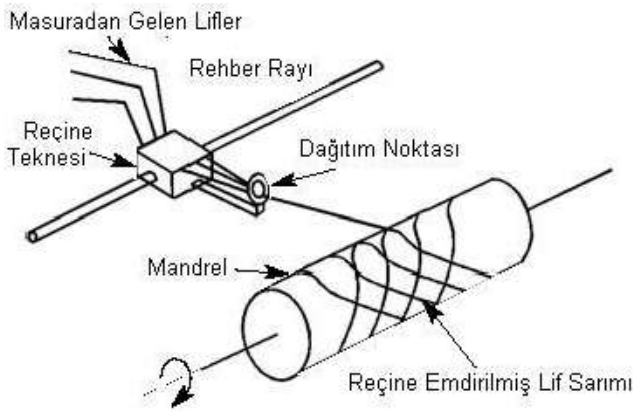


Şekil 2.9. Transfer kalıplama yöntemi [1].

#### 2. 5. 4. Filament Sarma Yöntemi

Filament sarma yöntemi filament, iplik, tel şeklinde sürekli haldeki takviye elemanlarının tüp, boru ya da silindirik şeklindeki kalıp mil üzerine belirli bir açı ile sarılması şeklindedir [4].

Bu yöntemde çağlıklarda bulunan takviye malzemesi ilk olarak reçine tankının içerisine gelerek burada ıslatılır. Reçine ile ıslatılan elyaf sevk sistemi aracılığıyla mil üzerine belli bir düzen ve açı ile sarılır. Daha sonra mil çıkartılarak oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda sertleşme işlemi gerçekleşir [1, 4, 17]. Şekil 2.10'de filament sarma yöntemi ve makinesi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Filament sarma yöntemi ve makinesi [17].

Elyaf dağıtım sistemi ileri-geri hareket ederken mil belirli bir hızda dönme hareketi yapmaktadır. Bu iki hareket ve hızlarının kontrolü ile sarım açısı ayarlanarak istenilen tasarım üretilebilmektedir. Hızlı ve yeterli miktarda elyaf yerleşimi bitişik bölgelerdeki fazla reçine birikimini önlemek için oldukça önemlidir [1, 4].

Elyaf sarma yönteminde çelikten veya alüminyumdan yapılmış miller kullanılmaktadır. Çelik miller krom kaplanmaktadır. Böylece hem mil kolay hareket eder hem de üretilen kompozit malzemenin iç yüzeyinde parlaklık sağlanmaktadır [17].

Karışık yapılı parçaların üretimi bilgisayar kontrollü çok eksenli tambur sistemleri ile üretilmektedir. Bilgisayarlı sistem ile birçok geometrik sınırlamalar ortadan kalkmıştır [1,17].

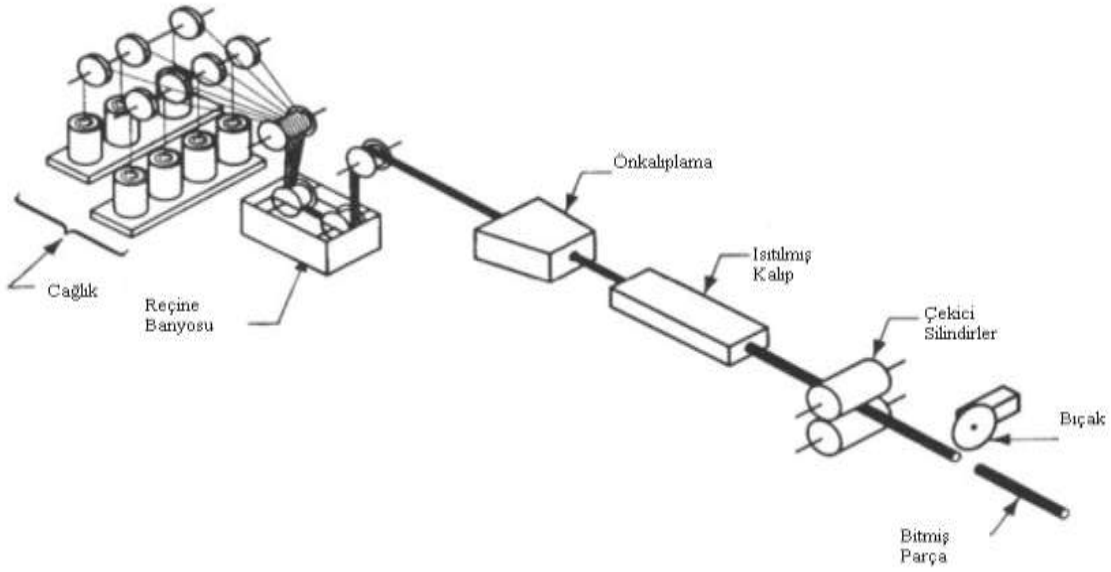
Bu yöntem ile tüp şeklindeki yapılar, büyük kimyasal depo tankları, basınçlı kaplar gibi ürünler üretilebilmektedir [4, 17].

Bu yöntemde işlem süreci hızlı ve üretim hacmi büyük oranlardadır. Elyaf yerleşiminin kontrol edilmesi ile yüksek dayanımlı üretimler elde edilebilmektedir. Üretilen parçaların ebatları oldukça çeşitlidir ve farklı yönlerde gerilme kontrolü mümkündür. Bu özelliklerinin yanda sarım açısını değiştirmek ve dönme eksenine paralel sarım yapmak çok zordur. Çift eğim elde etmek çok zordur ve dış yüzey zayıftır [4].

### **2. 5. 5. Profil Çekme Yöntemi:**

Profil çekme yöntemi ile sabit kesitli ve sürekli malzemeler üretilebilmektedir. Çubuk, silindir ya da çeşitli şekillerde özel profiller büyük kapasitelerde üretilebilmektedir. Elyaf oranı % 60-65' e kadar çıkabilmektedir. Bu yöntem düşük maliyetli, basit ve otomatik bir işlemdir [4].

Profil çekme yönteminde ilk olarak elyaf demeti reçine içerisine daldırılır ve ardından ön kalıptan geçirilir. Ön kalıptan geçirilmesiyle içerisindeki hava ve fazla reçine uzaklaştırılmaktadır. Ön kalıplamanın ardından malzeme ısıtılmış kalıp içerisinden geçirilir. Burada malzeme tamamen kürleşmekte ve son hale gelmektedir [1, 4]. Şekil 2.11'de profil çekme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Profil çekme işlemi [10].

Bu yöntemde düşük yoğunluklu reçine tercih edilmektedir. Bu amaçla en çok polyeşter ve epoksi reçine kullanılmaktadır. Ayrıca dolgu maddesine yardımcı olarak sertleştirici de ilave edilmektedir [1,4].

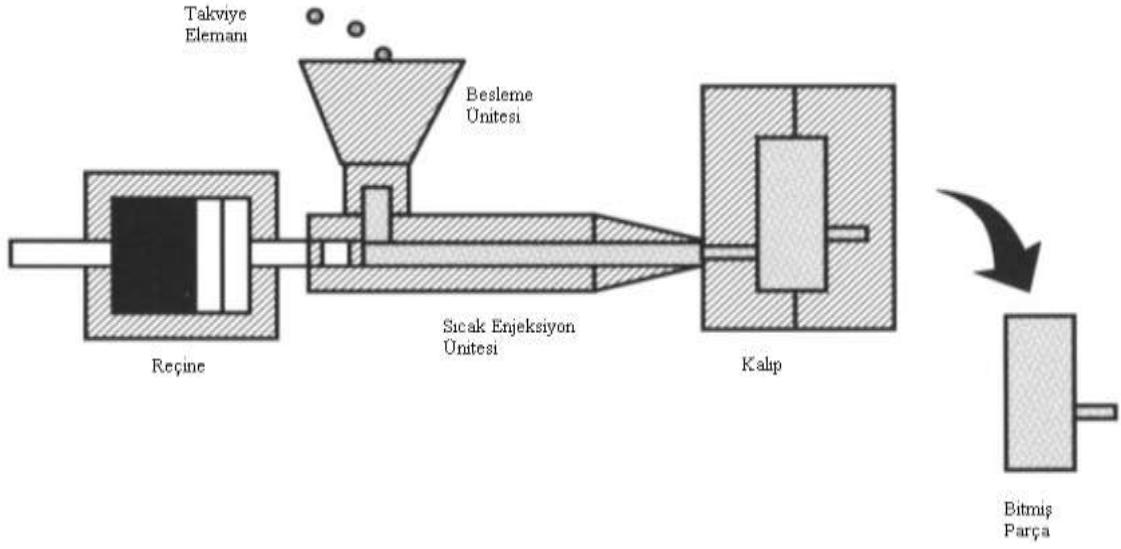
Bu yöntem ile elde edilen ürünler kanallar, tüpler gibi altyapı ürünlerinde, otomotiv diğer endüstriyel alanlarda kullanılmaktadırlar [17].

## 2. 5. 6. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi hem termoset özellikli hem de termoplastik özellikli reçineler ile kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek kapasiteli, karmaşık yapılı mamullerin üretimine imkân sağlamaktadır. Ayrıca işlem süresi en az olan kalıplama yöntemidir. Değişik reçinelerin kullanılmasıyla farklı kimyasal, fiziksel, mekanik özelliklere sahip malzemeler üretilebilmektedir [1, 17].

İlk olarak polimer ve kırılmış haldeki elyaflar besleme deposundan verilerek karıştırılır ve vidalı bir sistemi bulunan karıştırıcıda ısıtılır. Isıtılan malzeme enjeksiyon makinesi oradan da soğuk haldeki kalıp içerisine enjekte edilir. Biraz bekletildikten sonra katılaşma meydana geldiğinde kalıptan çıkartılır [1, 4]. Kalıp malzemesi olarak çelikten yapılmış tek

veya parçalı malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 2.12’de enjeksiyon kalıplama yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Enjeksiyon kalıplama yöntemi [10].

Termoset reçine ile yapılan üretimlerde işlem süresi ürüne bağlı olarak 45 ile 120 saniye arasında değişim göstermektedir [1].

### **3. KOMPOZİT MALZEMELERDE DESTEKLEYİCİ OLARAK KULLANILAN TEKSTİL YAPILARI**

Tekstil yapıları kolay işlenebilirlikleri, yapısal çeşitlilikleri sayesinde çok yönlü dizayn imkanı sağlamaları ve uygulanabilir olmaları, hem hafif ve esnek hem de dayanıklı ve tok bir yapıya sahip olmaları nedeniyle kompozit malzemelerde en önemli destek malzemesi olarak bilinirler [5, 19].

Tekstil yapıları, hem lif özelliklerinin kompozit performansına çevrilmesinde önemli bir rol oynar hem de matrisin emdirme ve takviye özelliğini etkiler. Ayrıca kompozitlerin üretiminde şekillerinin düzgün olmasını sağlar ve sertleşme aşamasında yapısal olarak önemli rol oynar [19].

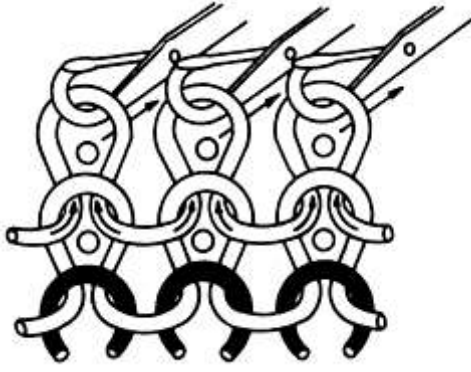
Kompozit malzemelerde takviye olarak, dokuma, örme, dokusuz yüzey, saç örme olmak üzere 4 çeşit tekstil yüzeyi kullanılmaktadır. Bu yapılardan kullanımı en yaygın olanı dokuma kumaşlardır. Bazı uygulamalarda bu yapılar birbirleriyle kombine edilerek kullanılabilir [20].

Tekstil yapılarının kompozit alanında kullanımında tekniklerin geliştirilmesi için günümüzde çalışmalar devam etmektedir.

#### **3.1. Örme Kumaş Yapıları**

Örme kumaşlar bir ya da birden fazla ipliğe özel iğneler yardımıyla ilmek şeklinin verilmesi ve bu ilmeklerin birbirleriyle bağlantı oluşturmasıyla oluşan tekstil yüzeyleridir [21]. Şekil 3.1' de örme yapısı gösterilmektedir.





Şekil 3.1. Örme kumaş yapısı [22].

Örme yapıları diğer kumaş yapılarına göre daha düşük mekanik özellikleri, düşük boyutsal stabilite ve düşük düzlem içi dayanım göstermektedirler. Bu nedenle kompozit malzeme uygulamalarında çok fazla kullanım alanı bulamamaktadırlar [5, 20].

Ancak düzlem içi özelliklerine nazaran işlenebilirlikleri ve enerji absorbe etme özellikleri nedeniyle tercih edilmektedirler. Örgü yapısını oluşturan ilmeklerin özel şekil bağlantıları örme kumaşlara avantajlı özellikler sağlamaktadır. Bu sayede örme kumaşlardan ağ şeklinde karmaşık şekilli malzemeler üretilebilmekte ve bu karmaşık şekilli malzemeler mükemmel dökümlülük/şekil alabilme özellikleri gösterebilmektedirler [20].

### 3.1.1. Örme Yapılarında Kullanılan Terimler

Örme yapısını oluşturan ve örme özelliklerine etki eden bazı kavramlar bulunmaktadır.

#### İlmek

Örme yapısını oluşturan en küçük birimdir. Örme yapısı ilmeklerin yan yana ve üst üste bağlanmasıyla oluşmaktadır [21]. İlmek yapısı Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



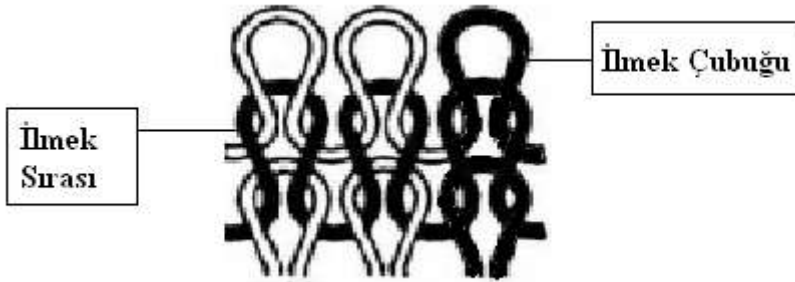
Şekil 3.2 İlmek yapısı [21].

## Sıra

Örgü yapısında enine şekilde dizilmiş olan yan yana örülmüş ilmeklere ilmek sırası denilir [21]. Şekil 3.3' de ilmek sırası gösterilmiştir. İlmek sıraları kumaşın uzunluğunu belirler ve her bir santimetredeki sıra olarak ölçülürler [20].

## Çubuk

Örme yapısında üst üste dizilmiş olan boyuna yöndeki ilmeklere ilmek çubuğu denilir [21]. Şekil 3.3' de ilmek çubuğu gösterilmiştir. İlmek çubukları kumaşın genişliğini belirler ve her bir santimetredeki çubuk olarak ölçülürler [20].



Şekil 3.3 İlmek sırası ve ilmek çubuğu [5].

### **3.1.2. Örme Kumaşları Sınıflandırılması**

Örme yapıları, ilmeklerin oluşum tekniğine ve ilmek oluşum sürecine göre atkı ve çözgü örme olarak ikiye ayrılırlar. Tek bir ipliğin yan yana iğneler tarafından sırayla örülmesiyle atkı örme yapısı meydana gelmektedir. Böylece ilmekler yatay yönde birleşirler [5, 21].

Bu kumaşların en önemli özelliği elastik olmalarıdır. Düz kumaş yüzeyi ya da hortum şeklimde üretilebilirler [21].

Her iğneye bir tane iplik beslenerek tüm iğnelerin birlikte ilmek oluşturmasıyla çözgü örme yapısı oluşmaktadır. Bu yapıda iplikler düşey yönde bir yol izlemektedirler. [5, 21]. Atkı örme yapıları kolay şekil alabilmeleri ve kolay üretilebilmeleri nedeniyle geliştirme çalışmalarında daha çok tercih edilmektedirler. [20].

Atkı örme kumaşlar farklı yapılarda elde edilebilirler. Düz örgü örme makinesinde tek bir yatağın kullanılarak ipliğin tüm iğneler tarafından örülmesiyle oluşan en basit örgü tipidir [5, 21].

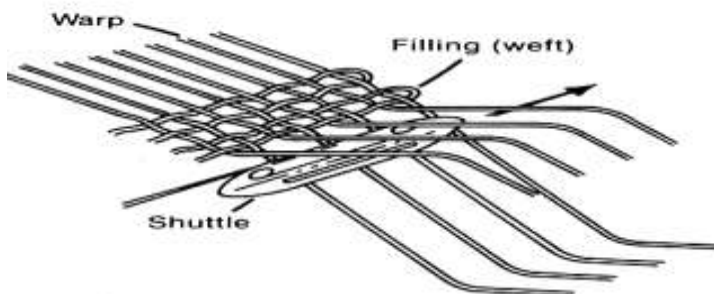
Rib örgü, örme makinesinde karşılıklı iki iğne yatağında ipliğin tüm iğneler tarafından örülmesiyle oluşan örgü tipidir. İğne yatakları örme esnasında birbiriyle çakışmayacak şekilde ayarlanırlar. Atkı örme kumaşlarda en yaygın olarak kullanılan örgü tipidir [5, 21].

İnterlok örgü, rib örgünün türetilmesiyle, iki ayrı rib örgü yapısının birbirinin içerisine geçmesi ile elde edilmektedir. Kompozit malzemelerde interlok örgüler, doğal iki katlı bir yapı olduğundan ve güçlü bir yapısal stabiliteye sahip olduğundan denenmektedir [5, 21].

Çözümlü örme tekstildeki kumaş üretim sistemlerinin desen en fazla desen çeşitliliğini sağlayabilen alanıdır. Elastik veya stabil, açık veya kapalı, düz, hortum şeklinde veya üç boyutlu ve 6 metre civarında maksimum genişliğe sahip istenilen malzeme bu örgü yapısında elde edilmektedir [5].

### 3.2. Dokuma Kumaş Yapıları

Dokuma kumaşlar, atkı ve çözümlü adı verilen ipliklerin dikey açı yapacak şekilde birbirlerinin arasından geçerek bağlantı oluşturmasıyla meydana gelen tekstil yüzeyidir. Dokuma tezgahında leventlere yan yana sarılmış olan çözümlü ipliklerinin gücü denilen ve bir çerçeveye bağlı olan gözlerden geçirilir. Çerçevelerin, ipliklerin bir kısmını yukarı bir kısmını aşağı hareket ettirmesiyle oluşan ve ağızlık adı verilen aralıktan atkı ipliğinin çeşitli sistemlerle geçirilmesiyle kumaş oluşumu sağlanmaktadır [2, 22]. Şekil 3. 4' de bir dokuma makinesindeki dokuma şeması gösterilmektedir [2].



Şekil 3.4. Dokuma kumaş oluşum şeması [2].

Dokuma kumaşlar, kompozit malzemelerde en yaygın olarak kullanılan tekstil yüzeyidir ve en çok cam, karbon ve aramid elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılmaktadırlar. Dokuma kumaşların kullanım alanının artması camdan daha yüksek dayanıma sahip olan karbon ve aramid liflerinin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Dokuma kumaşların atkı ve çözgü yönündeki stabiliteleri yüksektir ve diğer tekstil yüzeyleri arasında kumaş kalınlığı bakımından en yüksek kapaticılık özelliğine sahiptirler. Ayrıca dökümlülük özellikleri sayesinde boşluk olmaksızın karmaşık şekiller alabilmektedirler. Dokusuz yüzeylere nazaran daha iyi darbe dayanımı ve darbe sonrası dayanım göstermektedirler. Bu özellikleri dokuma kumaşları, dokusuz yüzeylere göre daha tercih edilir hale getirmektedir. Dokuma kumaşlar üç boyutlu daha karmaşık ve belirgin şekilli olarak da kompozit malzemelerde kullanılabilirler [20].

### **3.3. Dokusuz yüzeyler**

Dokusuz yüzeylerin uluslar arası kararlaştırılmış kesin ve net bir tanımı yoktur. ASTM (American Standards for Testing Materials)' ye göre dokusuz yüzeyler doğal veya sentetik liflerin mekanik, kimyasal, ısı ve çözücü ile veya bunların bir birleşik yoluyla birleştirilmesi sonucunda üretilen yapılar olarak tanımlanmaktadır[20].

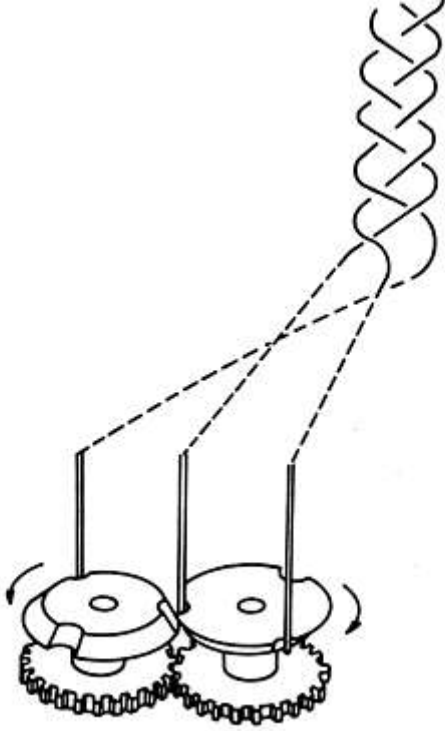
Dokusuz yüzeyler ilk olarak 1930'lu yıllarda ortaya çıkmış ve en büyük gelişimi 1990'lı yıllarda sağlamıştır [24].

Dokusuz yüzeylerin en önemli avantajları hammaddeden bitmiş kumaş haline gelene kadar devamlı bir işlem akışı sağlamasıdır. Malzeme elde edilmesi sırasında üretim safhaları az olduğundan diğer tekstil yüzeylerine göre maliyetleri daha düşüktür. Fakat diğer kumaşlar gibi iplik bağlantısı ya da ilmek oluşturma gibi bir yapı meydana gelmediğinden kopma ve yırtılma dayanımları daha düşüktür [20, 24] .

Dokusuz yüzey prosesi iki aşamada ele alınmaktadır. İlk olarak liflerin üretim için uygun hale getirilmektedirler ve daha sonra birleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Liflerin birleştirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu üretim yöntemleri; paralel serme, çapraz serme, havalı serme (air laying), ıslak serme (wet laying), spunlaying, ani doku oluşturma (Flash spinning), eriyik püskürtme (Melt blown), iğneleme (Stitch bonding)'dir [20].

### 3.4. Şerit (Saç Örgü)

Şerit yüzeyler, bir tanesi aksel iplik olmak üzere iki veya daha fazla iplik kümelerinin birbirinin içinden geçirilmesi ile elde edilirler. Şekil 3.5’de saç örgü şematik oluşumu gösterilmektedir. Şerit yapılar sadelikleri ve çok yönlü kullanımları ile tanınmaktadır. Kompozit kullanımlarda, boş tüp yapılardan katı yapılara kadar çeşitli karmaşık yapıların elde edilmesine imkan sunarlar. Ayrıca kalınlık boyunca dayanımındaki ilerlemeler sayesinde üç boyutlu olarak kullanımları önemli bir alandır. Yüksek darbe dayanımı, bükülme dayanımı ve kesme dayanımı özelliklerine sahiptirler. Fakat zayıf basma dayanımı özellikleri göstermektedirler. Şerit takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri şerit yapısı, lif/hacim oranı, iplik yerleşimi gibi örgü parametrelerine ve lif ile matrisin özelliklerine bağlıdır [20, 22].



Şekil 3.5. Saç örgü oluşumu [22].

## 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kompozit malzemeler ile ilgili olarak ortaya çıktığı günden beri birçok çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır ve yapılmaya hızla devam edilmektedir. Bu bölümde kompozit malzemelerle ilgili olarak önceden yapılmış bazı araştırmalara yer verilmiştir.

### 4. 1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler farklı birçok özelliklere sahiptirler ve bu özellikler üretilen farklı kompozit malzemelerde çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle mekanik, termal birçok özellikleri ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

#### 4. 1. 1. Mekanik Özellikleri

Tercan M. ve arkadaşları, farklı dizilimlere sahip cam elyaftan 1x1 rib örme kumaş takviyeli kompozit malzemelerinin 0°, 45° ve 90° yönlerindeki çekme özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemiştirler. Farklı dizilime sahip kompozit malzemelerin çekme özelliklerinin uygulanan kuvvet yönü ve tabakaların yönlenmesi ile bir ilişki içinde olduğunu gözlemlemiştirler [25].

Ası O. ve arkadaşları, farklı sıklıklara sahip cam elyaftan üretilmiş 1x1 rib örme yapısındaki kumaş destekli kompozit malzemelerinin mekanik özelliklerini incelemiştirler. Kumaş sıklıklarının artmasıyla malzemelerin çekme, basma, kayma dayanımlarında artış meydana geldiğini gözlemlemiştirler [26].

Sayer M., Bektaş N. B., karbon/cam elyaf epoksi kompozit malzemelerinin sıcaklık ve darbe enerjisi altındaki davranışlarını incelemiştirler. İki tip dizilime sahip 8 katlı hibrit kompozit tabakalara -20, 0, 20 ve 40°C sıcaklıklarda darbe enerjisi uygulamışlardır. Bunun sonucunda -20°C' de karbon/cam liflerinin daha çok gevreklediğini bulmuşlardır. [27].

Kırk J. N. ve arkadaşları karbon/cam hibrit epoksi kompozitlerin çatlak enerjisi özelliklerinin karbon/cam oranıyla olan ilişkilerini incelemiştirler [23].

Dirikoğlu M. H. ve Aktaş A., standart olmayan ince karbon/epoksi plakaların gerilme şiddeti faktörlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Karbon/epoksi plakalardan elde edilmiş olan çentiksiz ve farklı çaplarda delik bulunan numuneler test edilmiştir [28].

Seong S. C. ve arkadaşları, cam elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerinin yapısındaki farklı malzemelerin yoğunluk oranına göre darbe enerji absorbe etme özelliğini incelemişlerdir [29].

Mishra S. ve arkadaşları, cam/biyoeelyaf takviyeli polyeester kompozitlerin mekanik performans özelliklerine sisal ve ananas biyoeelyaflarının etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Biyoeelyafların eklenmesiyle kompozitlerin mekanik özelliklerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir [30].

Shan Y. ve arkadaşları, cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler ile cam/karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin sulu ortamdaki statik ve dinamik yorgunluğunu karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda hem cam kompozitlerde hem de hibrit kompozitlerde havadaki yorgunluğun sudakinden daha az olduğunu ve hibrit kompozitlerin sulu ortamda cam kompozitlere göre daha fazla dayanım gösterdikleri sonucuna ulaşmışlardır [31].

Leong K.H. ve arkadaşları, milano-rib örgü yapısındaki cam elyaf kompozit malzemelerinin mekanik özellikleri üzerine deneysel bir çalışma sunmuşlardır. Cam elyaf örme kumaşlardan 12 katlı olarak reçine transfer kalıplama yöntemiyle elde edilen plakaların çekme ve basma kuvveti, darbe dayanımları gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Daha geleneksel kompozitlere göre örme kompozit malzemelerinin çekme ve basma kuvveti özelliklerinin nispeten daha zayıf olduğunu fakat kıyaslanabilir taşıma özelliğine ve üstün enerji soğurma özelliğine sahip olduklarını bulmuşlardır [32].

Wonderly C. ve arkadaşları, cam elyaf/vinilester kompozit ile karbon elyaf/vinilester kompozitlerinin mekanik özelliklerini karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kompozit plakalar cam elyaf örme kumaşlardan ve karbon elyaf örme kumaşlardan vinilester reçinenin vakum infüzyonuyla üretilmiştir. Cam ve karbon kompozit numunelerinin çekme, basma, çentik ve balistik darbe dayanımları, enine çekme özellikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Karbon takviyeli kompozitlerin mekanik olarak daha dayanıklı oldukları, eşit sıklıkta benzer çekme dayanımına sahip oldukları sonucuna varmışlardır [33].

Dutra R.C.L. ve arkadaşları polipropilen ve merkaptan-modifiye karışımli polipropilen (PPEVASH) ile kombine edilmiş karbon epoksi kompozit malzemelerin darbe performansları ve dinamik mekanik özelliklerini araştırmışlardır. PPEVASH/karbon hibrit kompozitlerin karbon kompozitlere göre daha yüksek darbe dayanımı gösterdikleri, PPEVASH kompozitlere göre daha zayıf performans özellikleri gösterdiklerini bulmuşlardır [34].

Khondker O. A. ve arkadaşları milano, 1x1 rib ve düz atkılı örme kumaş yapısındaki cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin darbe dayanımı ve toleransı özelliklerini araştırmışlardır. Atkı-örme kumaş yapısı ve örme yapı parametrelerinin kompozit malzemelerinin darbe ve darbe sonrası basma özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda hem kumaş yapısının hem de örme yapısının darbe dayanımı ve toleransı özelliklerini etkiledikleri sonucuna varmışlardır [35].

Manders P. W. ve arkadaşları, karbon/cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin çekme mekanik özelliklerini, cam: karbon elyaf oranı ve iki fazın dağılım durumuna göre incelemişlerdir. Karbon fazındaki hata gerginliğinin, karbon elyaf oranının azalmasıyla ve karbon elyafın iyi bir şekilde dağılmasına bağlı olarak artış gösterdiğini bulmuşlardır [36].

Luo Y. ve Verpoest I., rib ve milano atkılı cam örme kumaş takviyeli kompozit malzemelerin çift eksenli gerilim altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Sonuç olarak hem çubuk hem de sıra yönünde meydana gelen deformasyonun farklı oranlarda yer değişimine uğradıklarını bulmuşlardır [37].

Gommers B. ve arkadaşları, çözümlü cam örme kompozit malzemelerinin çekme ve kesme yüklemelerindeki rijitlik ve dayanım özelliklerine örme yapısının ve parametrelerinin etkisini araştırmışlardır [38].

Ramakrishna S., düz atkılı cam örme kompozit malzemelerin çubuk ve sıra yönündeki çekme özelliklerinin deneysel olarak incelemiştir. Elastik özelliklerini çapraz model kullanarak tahmin etmiştir ve tabaka teorisini parçalara ayırarak incelemiştir [39].

Stewart R. W. ve arkadaşları cam/karbon dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin düzlemsel özelliklerini incelemişlerdir. Saten desenli dokuma takviyeli kompozit malzemelerin düzlemsel rijitlik özelliklerini incelediklerinde üç katmanın sıklıklarının aynı olduğunda  $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}$  diziliminde en iyi düzlemsel rijitliğin elde edildiği sonucuna varmışlardır [40].



Park S. J. ve arkadaşları karbon-karbon kompozitlerin kritik gerilme şiddet faktörü, özgül kırılma enerjisi gibi kırılma dayanım parametreleri ile çalışma adhezyonu arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kompozitlerin darbe özellikleri kırılma davranışının oluşum ve ilerleme enerjilerini ayrı durumlar olarak incelemişlerdir. Farklı miktarlarda oksidasyon inhibitörü içeren kompozit malzemelerde elyaf ve matris arasındaki adhezyon kuvvetinde artış olduğunu gözlemlemişler ve bu artışın kırılma dayanım ve darbe özelliklerini geliştirdiği sonucuna ulaşmışlardır [41].

Dirand X. ve arkadaşları cam elyaf/ vinilester kompozitlerde ara yüzey kayma dayanımını araştırmışlardır. Cam elyaf ve vinilester matris yüzeylerini, ilk olarak ara yüzeyin lif/matris adhezyonu gibi termodinamik özelliklerini ölçmek için ıslanabilirlik tekniğini kullanarak test etmişlerdir. Daha sonra mikrodamlı test yöntemiyle mekanik özelliklerini incelemişlerdir [42].

Houphouët-Boigny C. ve arkadaşları, polipropilen/ montmorillonit termoplastik izotaktik matris entegrasyonlarının geleneksel lif takviyeli kompozitlere uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Dokuma yapısında uzun cam elyaf takviyeli kompozit ve cam yünü takviyeli kompozit olmak üzere iki temel işlem rotasını ele almışlardır. Her iki durumda da yeterli emdirme ve takviye gözlemlemişlerdir fakat yüksek elyaf durumlarında montmorillonit varlığında daha yüksek basınç ve sıcaklığa gerek duyulduğunu gözlemlemişlerdir. Nispeten daha az cam lifi içeren cam yünü takviyeli kompozitlerin eğilme testlerinde eğilme dayanımı ve rijitliğinde gelişmeler olduğu sonucuna varmışlardır [43].

Harris B. ve Bunsell A. R., cam/karbon elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin çentikli ve çentiksiz numunelerinin Charpy darbe özelliklerini incelemişlerdir. Çentikli numunelerin darbe enerjilerinin karbon ve cam elyaf oranına göre değiştiğini fakat kırılma özelliğinin yerleşim yapısıyla alakalı olduğunu, eğilme modülünün her iki bileşenin de elyaf hacim oranıyla doğru orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir [44].

Yuan Q. ve arkadaşları, poliakrilonitril (PAN) ve zift esaslı kısa karbon liflerinden elde edilen karbon takviyeli poliether-ether-eton kompozit malzemelerin termal ve mekanik özelliklerinin araştırmışlardır. Polyether ether ketone (PEEK) kristalliliğinin PAN esaslı karbon içeriğinde ile artış gösterdiğini fakat zift esaslı karbon lifi içeriğinden etkilenmediğini gözlemlemişlerdir. İzotermal durumda, zift esaslı karbon/ PEEK kompozitlerinin kristalleşme oranlarının PAN esaslı karbon/ PEEK kompozitlerden daha

hızlı olduğunu, PAN esaslı kompozitlerin dinamik çekme modülünün ve hasar tokluğunun karbon elyaf oranıyla arttığı sonucunu elde etmişlerdir [45].

Suresha B. ve arkadaşları, karbon epoksi kompozitler ile cam epoksi kompozitlerin aşınma ve sürtünme özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Karbon epoksilerin cam epoksilere göre daha düşük sürtünme ve daha az kayma aşınması kaybı gösterdikleri sonucuna varmışlardır [46].

Phua Y. J. ve arkadaşları, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen, toplam elyaf oranı %40 olan ve farklı oranlarda karbon elyaf ve cam elyaf içeren hibrit polikarbonat kompozit plakalarının gerilme, eğilme direnci, darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Cam elyaf miktarındaki artışın hibrit kompozit plakalara karbon elyafa oranla daha yüksek dayanım verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca elektron tarama mikroskopu ile yapılan morfolojik analiz sonucunda karbon elyafın polikarbonat ile düşük lif-matris etkileşimi gösterdiğini bununda gerilme aktarma etkisini düşürdüğünü gözlemlemişler ve bu duruma karbon elyafın beklenenden daha düşük bir dayanım göstermesi olduğunu düşünmüşlerdir. Yüzey ve hacim elektrik öz direncinin karbon elyaf miktarının artmasıyla azaldığı bunun da karbon elyafın iletkenliği nedeniyle meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır [47].

Lee D. G. ve Cheon S. S., cam epoksi kompozitler ve cam poliester kompozitlerin darbe enerji absorbe etme karakteristiğini elyaf hacim oranına bağlı olarak Charpy test metodu ile incelemişlerdir. Aynı zamanda tabakalar arası kesme özelliklerini ve kesme özellikleri ile darbe enerji absorbe karakteristikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır [48].

Yusriah L. ve arkadaşları cam, karbon ve bazalt dokuma kumaş takviyeli vinilester kompozit malzemelerinin özgül mekanik özelliklerine ve termal özelliklerine delikli polimerik kürelerin etkisini araştırmışlardır. Kompozitlerin özgül eğilme ve darbe dayanımlarının delikli polimerik kürelerin ilavesiyle artış gösterdiğini fakat özgül eğilme modülünün azaldığını; vinilesterin termal stabilitesinin cam ve karbon dokuma eklenmesi ile arttığını fakat delikli polimer kürelerin ilavesiyle azaldığını gözlemlemişlerdir [49].

Zenasni R. ve Saadi B. A., saten cam elyaf dokuma ve saten karbon elyaf dokuma kompozit malzemelerinin tabakalar arası çatlak dayanımına nemin etkisini ele almışlardır. Kompozit malzemeleri %95 nem, 70°C sıcaklık ve iklimleme odalarında 30, 60, 120, 180 gün bekleterek testleri gerçekleştirmişler. Şonuç olarak saten kumaşlarda çatlak davranışında azalma olmasının çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır [50].

#### 4. 1. 2. Termal Özellikleri

Mnahoncakova E. ve arkadaşları iki farklı karbon elyaf takviyeli seramik kompozit malzemelerin temel termal ve hygric özelliklerini araştırmışlardır. Termal iletkenlik, özgül ısı kapasitesi, nem dağılımı ve su buharı dağılım direnci özelliklerini termal ve çekme yükünün bir fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. Çekme yükünün nem dağılımı dışında diğer faktörler için önemli bir etki olmadığını bulmuşlardır. Öte yandan termal yüklemenin özgül ısı kapasitesi haricinde diğer tüm termal ve hygric özelliklerde önemli değişikliklere neden olduğunu gözlemlemişlerdir [51].

Yuan Q. ve arkadaşları, poliakrilonitril (PAN) ve zift esaslı kısa karbon liflerinden elde edilen karbon takviyeli poliether-ether-keton kompozit malzemelerin termal ve mekanik özelliklerinin araştırmışlardır. PEEK kristalliliğinin PAN esaslı karbon içeriğinde ile artış gösterdiğini fakat zift esaslı karbon lifi içeriğinden etkilenmediğini gözlemlemişlerdir. İzotermal durumda, zift esaslı karbon/ PEEK kompozitlerinin kristalleşme oranlarının PAN esaslı karbon/ PEEK kompozitlerden daha hızlı olduğunu, PAN esaslı kompozitlerin dinamik çekme modülünün ve hasar tokluğunun karbon elyaf oranıyla arttığı sonucunu elde etmişlerdir [45].

Yusriah L. ve arkadaşları cam, karbon ve bazalt dokuma kumaş takviyeli vinilester kompozit malzemelerinin özgül mekanik özelliklerine ve termal özelliklerine delikli polimerik kürelerin etkisini araştırmışlardır. Kompozitlerin özgül eğilme ve darbe dayanımlarının delikli polimerik kürelerin ilavesiyle artış gösterdiğini fakat özgül eğilme modülünün azaldığını; vinilesterin termal stabilitesinin cam ve karbon dokuma eklenmesi ile arttığını fakat delikli polimer kürelerin ilavesiyle azaldığını gözlemlemişlerdir [49].

#### 4. 1. 3. Elektriksel Özellikleri

Ayish I. ve Zihlif A., PAN esaslı karbon elyaf takviyeli polikarbonat kompozit plakalarının elektriksel özelliklerinin AC empedans tekniğiyle incelemişlerdir. Özdirenç, dielektrik sabiti, dielektrik kaybı, gevşeme zamanı ve AC-iletkenliğinin sıcaklık ve karbon elyaf

yoğunluğundan etkilendiklerini gözlemlemişlerdir. Kompozitlerin dielektrik sabiti ve dielektrik kaybının karbon elyaf yoğunluğu ile doğrusal olarak arttıkları; ısı arttıkça dielektrik sabitinin ve AC iletkenliğinin arttığı aktivasyon enerjisinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır [52].

Phua Y. J. ve arkadaşları, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen, toplam elyaf oranı %40 olan ve farklı oranlarda karbon elyaf ve cam elyaf içeren hibrit polikarbonat kompozit plakalarının gerilme, eğilme direnci, darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Cam elyaf miktarındaki artışın hibrit kompozit plakalara karbon elyafa oranla daha yüksek dayanım verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca elektron tarama mikroskobu ile yapılan morfolojik analiz sonucunda karbon elyafın polikarbonat ile düşük lif-matris etkileşimi gösterdiğini bununda gerilme aktarma etkisini düşürdüğünü gözlemlemişler ve bu duruma karbon elyafın beklenenden daha düşük bir dayanım göstermesi olduğunu düşünmüşlerdir. Yüzey ve hacim elektrik öz direncinin karbon elyaf miktarının artmasıyla azaldığı bunun da karbon elyafın iletkenliği nedeniyle meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır [47].

#### **4. 1. 4. Diğer Özellikleri**

Lv X. ve arkadaşları karbon elyaf/ epoksi kompozit malzemelerinin batma etkisini incelemişlerdir. Test şartlarını sıcaklık, yoğunluk ve test periyodu olmak üzere üç faktörlü olarak ele almışlardır. Sonuçlara göre batmaya kötüleştirmiş kompozit özelliklerinin neden olduğu ve çözelti sıcaklığının üç faktörden en önemlisi olduğunu gözlemlemişlerdir [53].

#### **4. 2. Takviye Tekstil Yüzeyinin Yapısı**

Kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları çeşitli formlarda bulunabilmektedirler. Kullanılan farklı formlar farklı özellikler sağlamaktadırlar

##### **4. 2. 1. Örme Kumaş Takviyeli Kompozitler**

Tercan M. ve arkadaşları, farklı dizilimlere sahip cam elyaftan 1x1 rib örme kumaş takviyeli kompozit malzemelerinin 0°, 45° ve 90° yönlerindeki çekme özelliklerini

karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Farklı dizilime sahip kompozit malzemelerin çekme özelliklerinin uygulanan kuvvet yönü ve tabakaların yönlenmesi ile bir ilişki içinde olduğunu gözlemlemişlerdir [25].

Ası O. ve arkadaşları, farklı sıklıklara sahip cam elyaftan üretilmiş 1x1 rib örme yapısındaki kumaş destekli kompozit malzemelerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kumaş sıklıklarının artmasıyla malzemelerin çekme, basma, kayma dayanımlarında artış meydana geldiğini gözlemlemişlerdir [26].

Savcı S. ve arkadaşları kompozit malzemelerde kullanılan cam liflerinin örülebilirliğini ve örme faktörleri ile atkılı örme cam preformlarının özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda ilmek iplik uzunluğunun hem ilmek kam ayarları ile hem de kumaş sıklığı ile ilişkisi olduğunu ortaya koymuşlardır [54].

Leong K.H. ve arkadaşları, milano-rib örgü yapısındaki cam elyaf kompozit malzemelerinin mekanik özellikleri üzerine deneysel bir çalışma sunmuşlardır. Cam elyaf örme kumaşlardan 12 katlı olarak reçine transfer kalıplama yöntemiyle elde edilen plakaların çekme ve basma kuvveti, darbe dayanımları gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Daha geleneksel kompozitlere göre örme kompozit malzemelerinin çekme ve basma kuvveti özelliklerinin nispeten daha zayıf olduğunu fakat kıyaslanabilir taşıma özelliğine ve üstün enerji soğurma özelliğine sahip olduklarını bulmuşlardır [32].

Wonderly C. ve arkadaşları, cam elyaf/vinilester kompozit ile karbon elyaf/vinilester kompozitlerinin mekanik özelliklerini karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kompozit plakalar cam elyaf örme kumaşlardan ve karbon elyaf örme kumaşlardan vinilester reçinenin vakum infüzyonuyla üretilmiştir. Cam ve karbon kompozit numunelerinin çekme, basma, çentik ve balistik darbe dayanımları, enine çekme özellikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Karbon takviyeli kompozitlerin mekanik olarak daha dayanıklı oldukları, eşit sıklıkta benzer çekme dayanımına sahip oldukları sonucuna varmışlardır [33].

Khondker O. A. ve arkadaşları milano, 1x1 rib ve düz atkılı örme kumaş yapısındaki cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin darbe dayanımı ve toleransı özelliklerini araştırmışlardır. Atkı-örme kumaş yapısı ve örme yapı parametrelerinin kompozit malzemelerinin darbe ve darbe sonrası basma özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda hem kumaş yapısının hem de örme yapısının darbe dayanımı ve toleransı özelliklerini etkiledikleri sonucuna varmışlardır [35].

Luo Y. ve Verpoest I., rib ve milano atkılı cam örme kumaş takviyeli kompozit malzemelerin çift eksenli gerilim altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Sonuç olarak hem çubuk hem de sıra yönünde meydana gelen deformasyonun farklı oranlarda yer değişimine uğradıklarını bulmuşlardır [37].

Gommers B. ve arkadaşları, çözgülu cam örme kompozit malzemelerinin çekme ve kesme yüklemelerindeki rijitlik ve dayanım özelliklerine örme yapısının ve parametrelerinin etkisini araştırmışlardır [38].

Ramakrishna S., düz atkılı cam örme kompozit malzemelerin çubuk ve sıra yönündeki çekme özelliklerinin deneysel olarak incelemiştir. Elastik özelliklerini çapraz model kullanarak tahmin etmiştir ve tabaka teorisini parçalara ayırarak incelemiştir [39].

#### **4. 2. 2. Dokuma Kumaş Takviyeli Kompozitler**

Stewart R. W. ve arkadaşları cam/karbon dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin düzlemsel özelliklerini incelemiştir. Saten desenli dokuma takviyeli kompozit malzemelerin düzlemsel rijitlik özelliklerini incelediklerinde üç katmanın sıklıklarının aynı olduğunda  $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}$  diziliminde en iyi düzlemsel rijitliğin elde edildiği sonucuna varmışlardır [40].

Houphouët-Boigny C. ve arkadaşları, polipropilen/ montmorillonit termoplastik izotaktik matris entegrasyonlarının geleneksel lif takviyeli kompozitlere uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Dokuma yapısında uzun cam elyaf takviyeli kompozit ve cam yünü takviyeli kompozit olmak üzere iki temel işlem rotasını ele almışlardır. Her iki durumda da yeterli emdirme ve takviye gözlemlemiştirler fakat yüksek elyaf durumlarında montmorillonit varlığında daha yüksek basınç ve sıcaklığa gerek duyulduğunu gözlemlemiştirler. Nispeten daha az cam lifi içeren cam yünü takviyeli kompozitlerin eğilme testlerinde eğilme dayanımı ve rijitliğinde gelişmeler olduğu sonucuna varmışlardır [43].

Yusriah L. ve arkadaşları cam, karbon ve bazalt dokuma kumaş takviyeli vinilester kompozit malzemelerinin özgül mekanik özelliklerine ve termal özelliklerine delikli polimerik kürelerin etkisini araştırmışlardır. Kompozitlerin özgül eğilme ve darbe dayanımlarının delikli polimerik kürelerin ilavesiyle artış gösterdiğini fakat özgül eğilme

modülünün azaldığını; vinilesterin termal stabilitesinin cam ve karbon dokuma eklenmesi ile arttığını fakat delikli polimer kürelerin ilavesiyle azaldığını gözlemlemişlerdir [49].

Zenasni R. ve Saadi B. A., saten cam elyaf dokuma ve saten karbon elyaf dokuma kompozit malzemelerinin tabakalar arası çatlak dayanımına nemin etkisini ele almışlardır. Kompozit malzemeleri %95 nem, 70°C sıcaklık ve iklimleme odalarında 30, 60, 120, 180 gün bekleterek testleri gerçekleştirmişler. Şonuç olarak saten kumaşlarda çatlak davranışında azalma olmasının çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır [50].

#### **4. 3. Diğer Kompozit Materyaller**

Bayramlı E. ve arkadaşları, karbon elyafı polimerik kompozit malzemelerde elyaf ile matris arasında iyi bir adezyon kuvveti elde etmek için çeşitli yüzey aktivasyon tekniklerini araştırmışlardır. Ayrıca bismaleimid bazlı yeni polimer sentezi elde ederek bu yeni polimerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile karbon elyafa yapışma etkisini incelemişlerdir [55].

Ochelski S. ve Gotowicki P., karbon/epoksi ve cam/epoksi kompozit plakalarının enerji soğurma kapasitelerini deneysel olarak incelemişlerdir. Elyaf destek tipi, destek tipinin yapısı, numune şekli ve geometrisi, bir tabakadaki liflerin oryantasyonu, tabakaların sıralanışının enerji soğurma kapasitelerine etkileri araştırmışlardır [56].

Lv X. ve arkadaşları karbon elyaf/ epoksi kompozit malzemelerinin batma etkisini incelemişlerdir. Test şartlarını sıcaklık, yoğunluk ve test periyodu olmak üzere üç faktörlü olarak ele almışlardır. Sonuçlara göre batmaya kötülemiş kompozit özelliklerinin neden olduğu ve çözelti sıcaklığının üç faktörden en önemlisi olduğunu gözlemlemişlerdir [53].

## 5.AMAÇ

Bu çalışmada karbon ve cam elyafların birlikte kullanılmasıyla elde edilen hibrit kompozit yapılar kullanılmıştır. Karbon lifleri yüksek dayanımlı, yüksek modüllü fakat pahalı malzemelerdir. Cam lifleri karbona nazaran daha düşük dayanımlı ve ucuz malzemelerdir. Elde edilen yapılar sadece karbon elyaflardan oluşan kompozit malzemelere göre daha düşük maliyetli olmaktadır. Çalışmada daha az maliyetli olan bu yapıların mekanik özellikleri incelenmiştir.

Kullanılan elyaflar örme kumaş şeklinde üretilerek destek malzemesi olarak kullanılmışlardır. Örme kumaş yapısı 1x1 rib atkılı örme olarak seçilmiştir. Kompozit malzemelerde kullanılan kumaşlar içerisinde örme yapılar bir miktar daha düşük mekanik özellikler göstermektedirler. Fakat örme yapıların düşük maliyetli ve yüksek üretim kapasitesine sahip malzemelerdir. Ayrıca karmaşık şekillerin elde edilmesine imkan sağlamakta ve yüksek darbe dayanımı göstermektedirler.

1x1 rib yapıdaki kumaşlar farklı sıklıklarda üretilmişlerdir. Kompozit malzeme üretiminde farklı sıklık ve farklı elyaftan üretilmiş kumaşlar farklı şekillerde dizilmişlerdir. Böylece sıklık ve kumaş oranlarının malzeme özelliklerine olan etkileri de araştırılmıştır.

Özelliklerin belirlenmesinde uygulanan testler malzemeye dikey ve yatay şekilde yani kumaşın çubuk ve sıra yönünde uygulanmış ve bu yönlerdeki özellikleri de araştırılmıştır.

Genel olarak bakıldığında kompozit malzeme alanında oldukça önemli yerlere sahip karbon ve cam elyafların, bu alanda kullanımı giderek artan örme kumaş yapısında bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerin mekanik özellikleri çeşitli faktörler açısından incelenmiştir.



## 6. MATERYAL VE YÖNTEM

### 6. 1. Materyal

Bu çalışmada kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanı olarak cam ve karbon kumaşlar kullanılmıştır. Kullanılan cam ve karbon iplikleri 200 Tex numaralı olup; karbon lifleri AKSA Akrilik Kimya Sanayi A.Ş.'den temin edilmiştir. Kullanılan karbon lifleri PAN esaslı 12k towlar halindedir. İthal cam lifleri kullanılmıştır. Takviye malzemeleri 1x1 rib yapısında örme kumaş olarak seçilmiştir. Örme kumaşlar Uşak Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünde bulunan 5E inceliğinde V yataklı düz örme makinesinde üretilmiştir. Resim 6.1' de V yataklı düz örme makinesi gösterilmiştir.



Resim 6.1. Düz örme makinesi

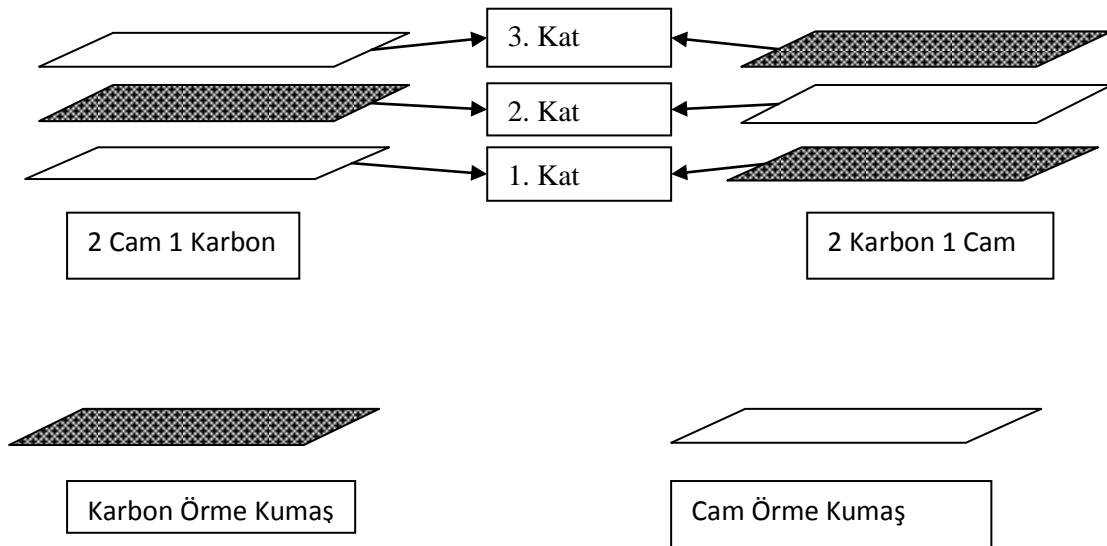
Kompozit yapılarda farklı sıklıklarda kumaşlar kullanılmıştır. Bu amaçla cam liflerinden üç farklı sıklıkta; karbon liflerinden iki farklı sıklıkta kumaş üretilmiştir. Üretilen cam örme kumaşlarının makine üzerindeki sıklık ayarları 4,25, 5,5, 6,75; karbon kumaş sıklık ayarları 4,25 ve 5,5 olarak seçilmiştir. Seçilen ayarın değeri arttıkça sıklık azalmaktadır. Yani 4,25 ayarındaki kumaş sıklığı 5,5 ayarındaki kumaş sıklığından daha fazladır. Cam

elyaf kumaşlar yüksek, orta, düşük sıklık; karbon kumaşlar düşük ve yüksek sıklık olarak isimlendirilmiştir. Toplam olarak beş farklı kumaş üretimi yapılmıştır. Üretilen kumaşların bazı özellikleri Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Üretilen kumaşların özellikleri

Kullanılan elyaf/Kumaş sıklığı	Sıra Sıklığı (sıra/ 10 cm)	Çubuk Sıklığı (çubuk/10 cm)	Birim Ağırlık (gr/m <sup>2</sup> )
Cam / Yüksek	22	48	544,44
Cam / Orta	20	32	429,64
Cam / Düşük	19	29	391,11
Karbon / Yüksek	26	38	488,81
Karbon / Düşük	19	38	431,35

Kompozit malzemeler üç kat kumaş kullanılarak üretilmiştir. Üç katlı yapıda farklı iki karbon bir cam ve iki cam bir karbon olmak üzere iki farklı kumaş dizilimi kullanılmıştır. Kumaş dizilimi iki karbon kumaş arasına bir cam kumaş, iki cam kumaş arasına bir karbon kumaş gelecek şekildedir. İki farklı kumaş dizilimi Şekil 6.1’ de gösterilmiştir. Farklı kumaş sıklıklarının kullanılmasıyla 6 farklı tipte kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozitlerdeki kumaş oranları ve sıklıkları Çizelge 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kumaş dizilimleri

Çizelge 6.2 Kompozit malzemelerde kullanılan kumaş oranları ve sıklıkları

Numune	Kompozit Sıklık Tipi	Cam Kumaş Sıklığı	Karbon Kumaş Sıklığı	Cam Kumaş Kat Adedi	Karbon Kumaş Kat Adedi
1	Sıklık 1	Yüksek	Yüksek	2	1
2	Sıklık 2	Orta	Orta	2	1
3	Sıklık 3	Düşük	Yüksek	2	1
4	Sıklık 1	Yüksek	Yüksek	1	2
5	Sıklık 2	Orta	Orta	1	2
6	Sıklık 3	Düşük	Yüksek	1	2

Bu çalışma için yapılan kompozit malzeme üretiminde matris materyali olarak termoset özellikli epoksi reçine CY 225 kullanılmıştır. Ayrıca reçine içerisine yardımcı madde olarak sertleştirici HY 225 ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımın üçte ikisi epoksi reçine, üçte biri sertleştirici malzemedir hazırlanmıştır.

Kompozit malzeme üretiminde elle yatırma yöntemi kullanılmıştır. Kalıp olarak düz yapı seçilmiştir. Buna göre ilk önce alt kalıp üzerine kompozit malzemenin kolayca ayrılabilmesi için teflon tabaka serilmiştir. Daha sonra yapılacak olan kompozit malzemenin dizilimine göre ilk kat kumaş kalıp üzerine yerleştirilmiştir. Kumaş üzerine bir miktar reçine el rulosu ile düzgün bir şekilde yedirilir. Daha sonra ikinci kat kumaş aynı yönde olacak şekilde ilk katın üzerine yerleştirilir ve aynı şekilde reçine emdirilir. En son kat kumaş da yerleştirilip reçine emdirme işlemi yapıldıktan sonra yapının içerisindeki hava boşluklarını çıkarmak ve düzgün bir reçine dağılımı sağlamak için el rulosu ile tekrar üstünden geçilir. Üst kalıp yerleştirilmeden önce tekrar teflon tabaka serilir ve kalıp yerleştirilir. Daha sonra kompozit malzemenin sertleşmesi için kür işlemi uygulanır. Sertleştirme için kalıp içindeki kompozit malzeme sıcak pres cihazında, 107°C sıcaklıkta, 65 Bar basınç altında, 100 dakika işleme tabi tutulur. Sertleştirme işleminden sonra malzeme oda sıcaklığına kadar bekletilir. Daha sonra kalıptan çıkarılarak kompozit malzeme elde edilmiştir.

## 6.2 Yöntem

Bu çalışmada uygulanan çekme ve kayma testleri Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Testler için Universal Test Cihazı kullanılmıştır. Kullanılan test cihazı Resim 6.2’de gösterilmiştir.

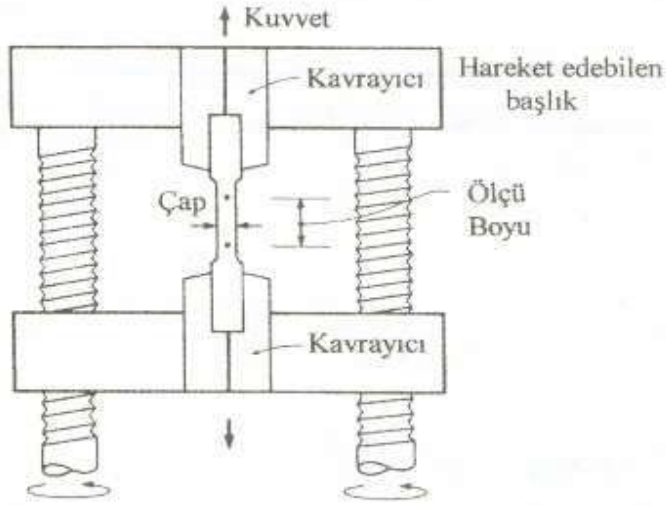


Resim 6.2. Universal test cihazı

### 6.2.1 Çekme Testi

Çekme deneyi malzemelerin tasarım özelliklerini belirlemek için sıkça kullanılan test yöntemidir. Bu deneylerde belirli standartlara göre hazırlanmış olan deney numunelerine sabit bir hızla tek eksenle artan kuvvet uygulanmaktadır.

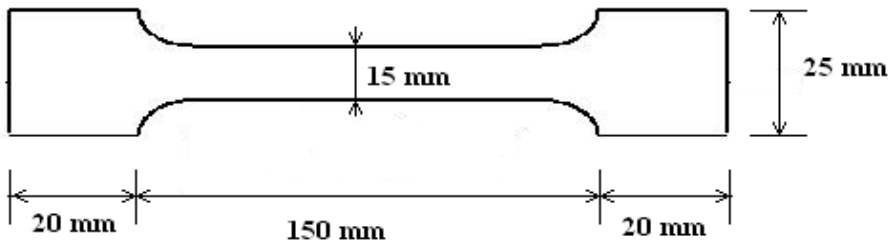
Çekme deneyi cihazlarında sabit bir alt çene ile hareketli üst çene bulunmaktadır. Deney sırasındaki hız malzemeye göre ayarlanmaktadır. Çekme testi genel prensibi Şekil 6.2’ gösterilmektedir.



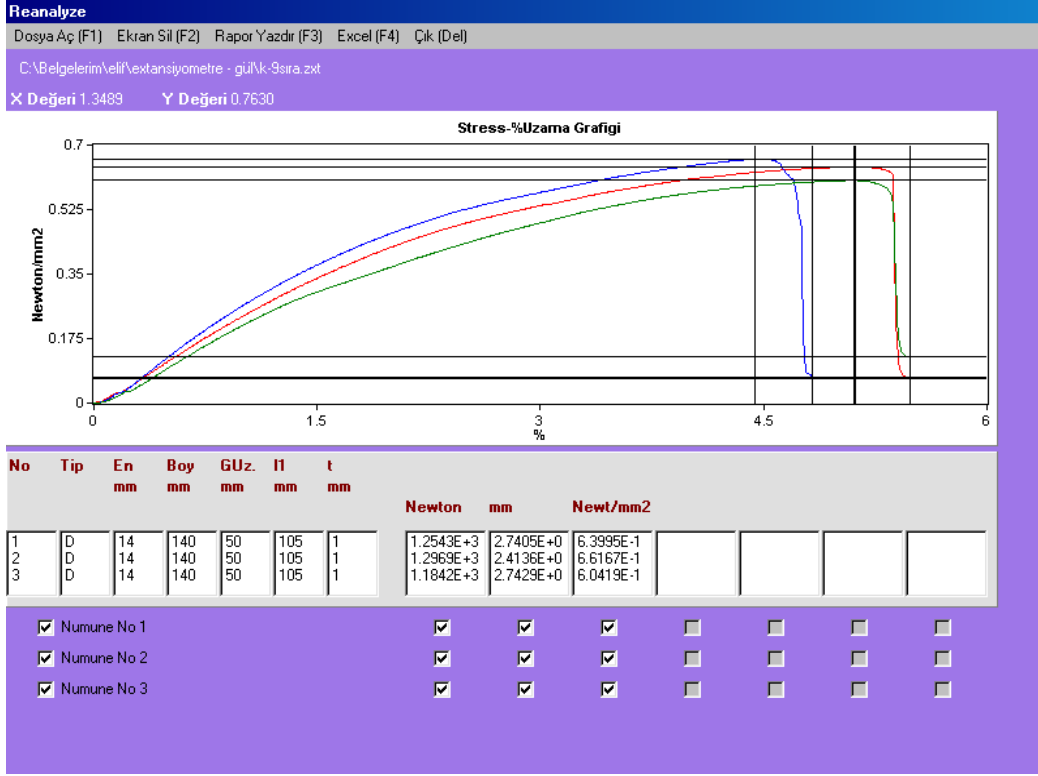
Şekil 6.2. Çekme testi genel prensibi

Deney için ilk olarak numune çenelere yerleştirilir. Daha sonra hız ve gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra çekme işlemi gerçekleştirilmektedir. Çekme işlemi kopma meydana gelene kadar devam eder. Kopma sonucunda değerler ve çekme diyagramı bilgileri elde edilmektedir.

Bu çalışmada çekme testi için ASTM D3039-76 test standardı kullanılmıştır. Standartta uygun olarak hazırlanan numuneler çekme işlemine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyinde kullanılan numune tasarımı Şekil 6.3’de gösterilmiştir. İlgili numuneler su jeti yardımıyla istenen ölçüde pürüzsüz bir şekilde kesilmiştir. Çekme testi sonucunda numunelerin elastisite modülü, çekme dayanımı, çekme uzaması değerleri elde edilmiştir. Yapılan testler sonucu elde edilen grafiklerden örnek olarak Resim 6.3’de gösterilmiştir.

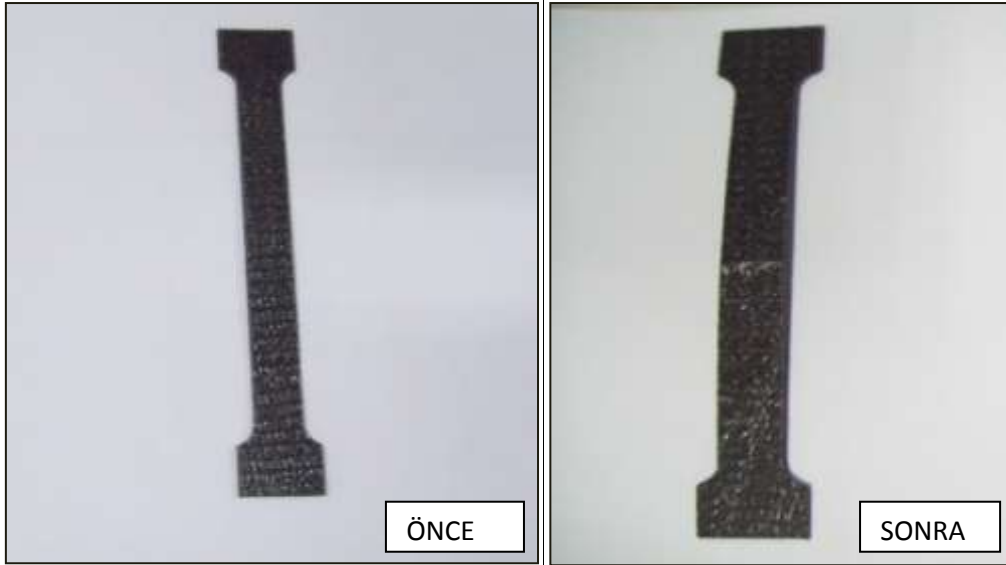


Şekil 6.3. Çekme testi numunesi



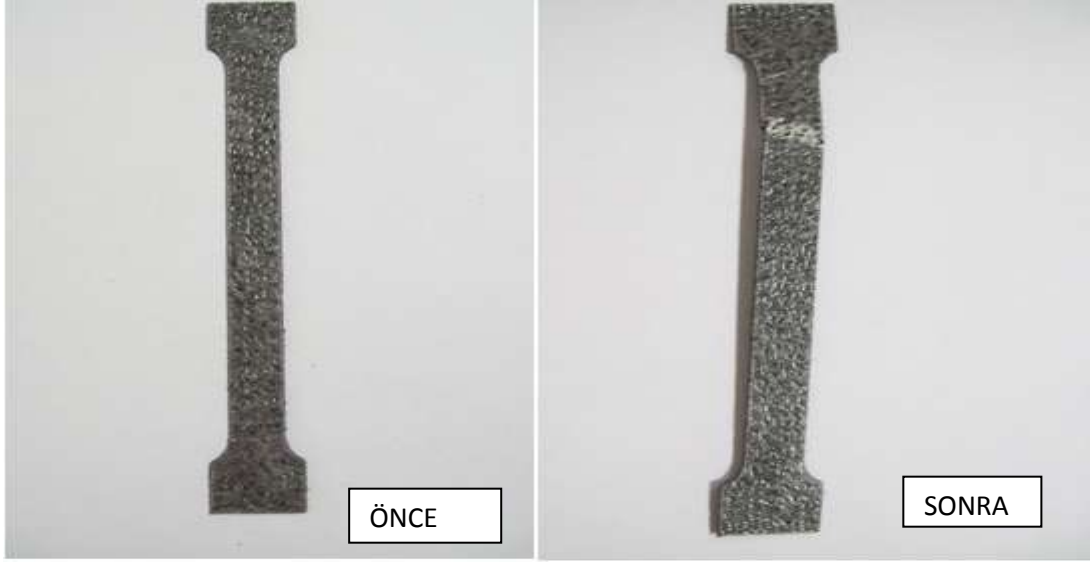
Resim 6.3. Çekme deney sonucu

Çekme testi sonucunda malzemelerde meydana gelen hasarlar Resim 6.4, Resim 6.5’de gösterilmiştir. Resim 6.4’ de 2K1C dizilimine sahip malzemelerin deney öncesindeki ve deney sonrasındaki durumları gösterilmektedir.



Resim 6.4. 2K1C dizilimine sahip malzemelerin çekme deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri

Resim 6.5’de 2C1K dizilimine sahip kompozit malzemelerin deney öncesi ve sonrası halleri gösterilmiştir.



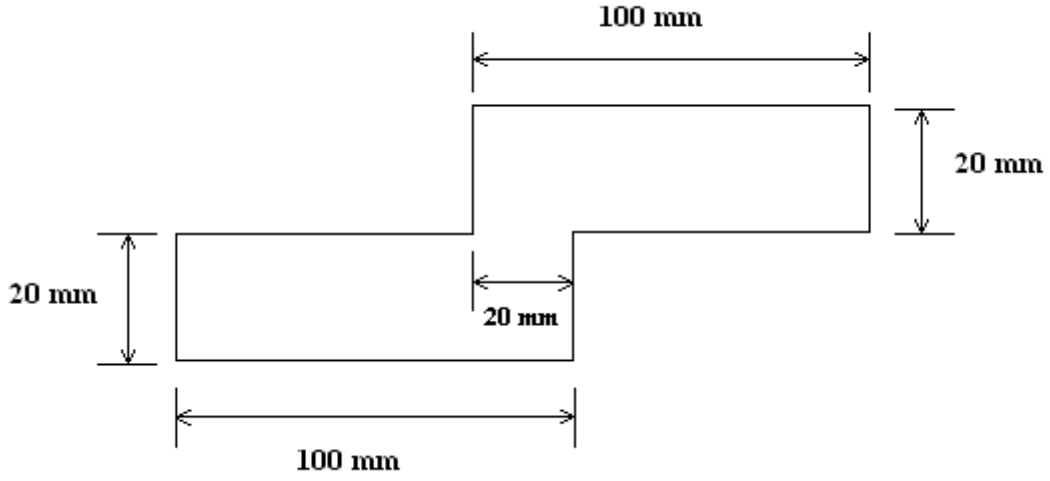
Resim 6.5. 2C1K dizilimine sahip malzemelerin çekme deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri

### 6.2.2. Kayma Testi

Kompozit malzemelerin tasarımında kullanılan bir diğer test yöntemi de kayma testidir.

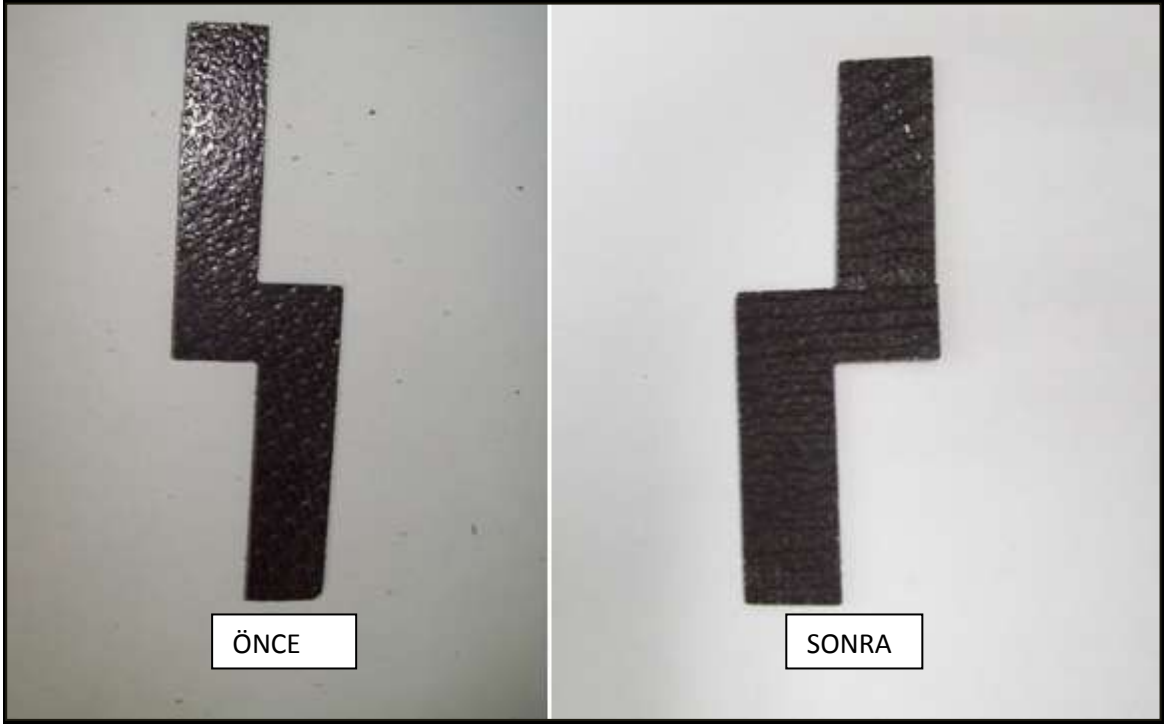
Bu çalışmada kayma testleri çekme deney cihazında yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan prensip çekme deneyi ile aynıdır. Yine standartlara göre hazırlanmış olan numune ekseni dikkatli bir şekilde ayarlanarak çenelere yerleştirilir. Numune sabit hızla, artan bir kuvvetle çekilir ve kopana kadar çekme işlemine devam edilir.

Bu çalışmada kayma deneyi için kullanılan numuneler ASTM D3846-79 standardına göre hazırlanmıştır. Kayma testinde kullanılan numune tasarımı Şekil 6.4’de gösterilmektedir. Hazırlanan numuneler uygun bir şekilde teste tabi tutulur ve yine aynı şekilde değerler ve grafikler elde edilir. Kayma testi sonucunda kayma dayanımı ve kayma uzaması değerleri elde edilmiştir.



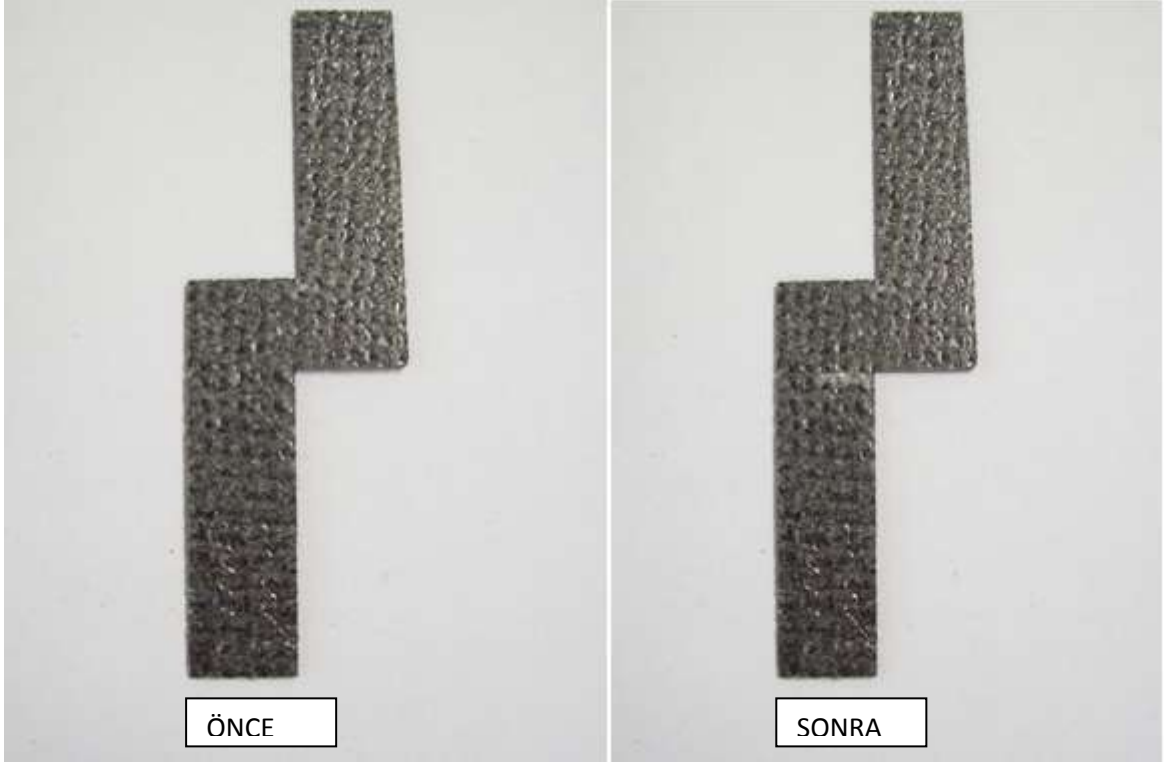
Şekil 6.4. Kayma testi numunesi

Çekme testi sonucunda malzemelerde meydana gelen hasarlar Resim 6.6, Resim 6.7’de gösterilmiştir. Resim 6.6’ de 2C1K dizilimine sahip malzemelerin deney öncesindeki ve deney sonrasındaki durumları gösterilmektedir.



Resim 6.6. 2K1C dizilimine sahip malzemelerin kayma deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri





Resim 6.7. 2C1K dizilimine sahip malzemelerin kayma deneyi öncesindeki ve deney sonrasındaki numune resimleri

## 7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda kompozit malzemelerin elastisite modülü, çekme dayanımı, çekme uzaması, kayma dayanımı, kayma uzaması özelliklerinin değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiş ve kompozit malzemenin mekanik özellikleri ile yapısal özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

### 7.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi sonucunda elastisite modülü, çekme dayanımı, çekme uzaması değerleri elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları ve ortalama değerleri tablolar halinde verilmiştir. Çizelge 7.1.' de numunelerin elastisite modülü değerleri ve istatistikleri verilmiştir. Tablolarda yer alan sıklık tiplerinde kullanılan kumaş sıklık özellikleri 6. bölümde yer alan kumaş oranları ve sıklıkları tablosunda belirtilmiştir (Bkz. Çizelge 6.2).

Çizelge 7.1. Numunelerin elastisite modülü değerleri

Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )							
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	Ortalama	SS
2Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	345197,4	347834,2	358519	350516,9	7054,373
		Sıklık 2	473162,7	427953,3	365964,2	422360,1	53817,69
		Sıklık 3	417693	393721,7	444622,8	418679,1	25464,86
	Sıra Yönü	Sıklık 1	193410	268379,3	271313,2	244367,5	44154,88
		Sıklık 2	383266,9	356855,4	372620,9	370914,4	13288,19
		Sıklık 3	318015,4	309560,9	330649,5	319408,6	10613,11
2 Cam 1Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	320634,2	294343,2	331299,8	315425,8	19020,86
		Sıklık 2	402263	396627	367719,2	388869,7	18532,4
		Sıklık 3	366359,7	398347	363023,4	375910	19502,43
	Sıra Yönü	Sıklık 1	259150,9	364823,2	243770,5	289248,2	65900,06
		Sıklık 2	312344,1	363804,5	351720,5	342623	26909,44
		Sıklık 3	260145,4	301629,1	281013,2	280929,2	20741,95

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen maksimum çekme dayanımı değerleri Newton cinsinden Çizelge 7.2’de verilmiştir. Elde edilen numunenin hazırlanması meşakkatli olduğu için bazı kategorilerde örme makinesinin çalışmaması gibi teknik sebeplerden dolayı iki adet numune elde edilmiş ve bundan dolayı iki adet deney sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 7.2. Maksimum çekme dayanımı (Newton) değerleri

Çekme Dayanımı (Newton)										
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	4	5	6	7	Ortalama
2 Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	1896,44	1950,54	2013,21	2079,16	2152,36	2130,60	2147,70	2052,857
		Sıklık 2	2550,09	2492,72	1397,33	2231,00	2478,27	2394,34	2432,88	2282,376
		Sıklık 3	1980,77	1744,46	1803,28	1903,54				1858,011
	Sıra Yönü	Sıklık 1	1238,74	1485,34						1362,039
		Sıklık 2	1931,89	2270,84						2101,364
		Sıklık 3	1740,54	1720,19	1762,77	1663,57				1721,768
2 Cam 1Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	2014,51	1923,76	1892,68	1883,80				1928,686
		Sıklık 2	1704,05	1631,31	1632,71	1764,91	1687,51	1462,15		1647,107
		Sıklık 3	1765,90	1736,37	1695,58	1597,68				1698,880
	Sıra Yönü	Sıklık 1	1957,79	1280,69	1645,58					1628,021
		Sıklık 2	1349,87	1613,91	1632,56	1719,52				1578,965
		Sıklık 3	1326,09	1400,84	1291,75					1339,562

Testler sonucunda elde edilen çekme uzaması değerleri ve ortalama değerleri mm cinsinden Çizelge 7.3.’de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Çekme uzaması (mm) değerleri

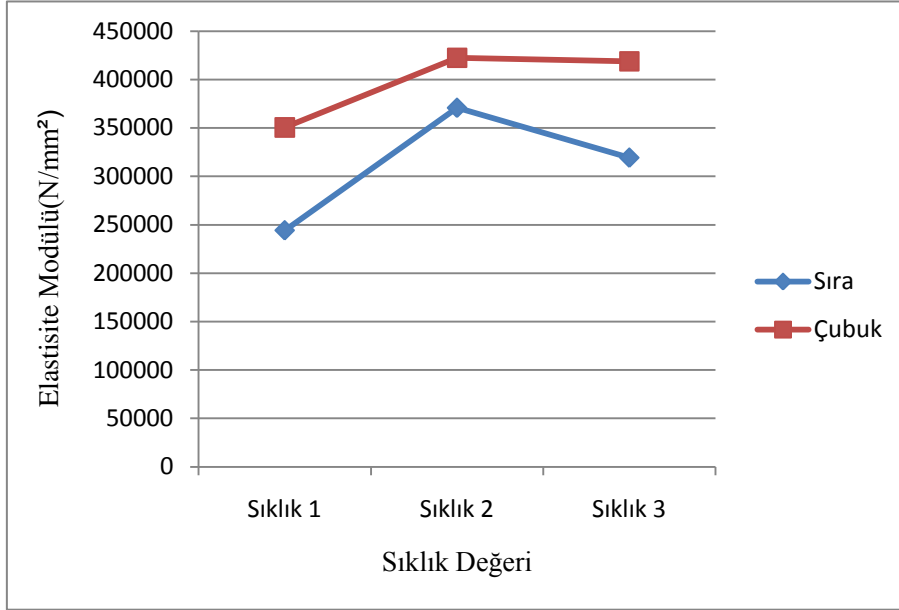
Çekme Uzaması (mm)										
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	4	5	6	7	Ortalama
2 Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	2,280	2,134	2,264	3,123	2,708	2,793	2,817	2,5884143
		Sıklık 2	2,956	3,826	3,449	3,638	3,041	3,473	3,389	3,3957143
		Sıklık 3	1,962	2,184	1,860	2,111				2,02925
	Sıra Yönü	Sıklık 1	2,585	1,541						2,0628
		Sıklık 2	2,012	3,279						2,6456
		Sıklık 3	2,150	2,231	2,230	1,977				2,147125
2 Cam 1Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	2,428	2,135	1,865	2,726				2,28835
		Sıklık 2	2,382	2,334	2,532	2,693	2,905	2,577		2,5703167
		Sıklık 3	3,010	2,819	2,550	2,551				2,732375
	Sıra Yönü	Sıklık 1	2,487	2,051	2,390					2,3091333
		Sıklık 2	2,335	2,442	2,494	2,758				2,5071
		Sıklık 3	2,412	2,268	2,388					2,3558

Çizelge 7.4’de malzemelerin maksimum çekme gerilmesi değerleri elde edilmiştir. Çekme gerilmesi çekme kuvvetinin kesit alanına bölünmesiyle elde edilmektedir. Çekme gerilmesi değeri N/mm<sup>2</sup> cinsinden verilmektedir.

Çizelge 7.4. Maksimum çekme gerilmesi değerleri

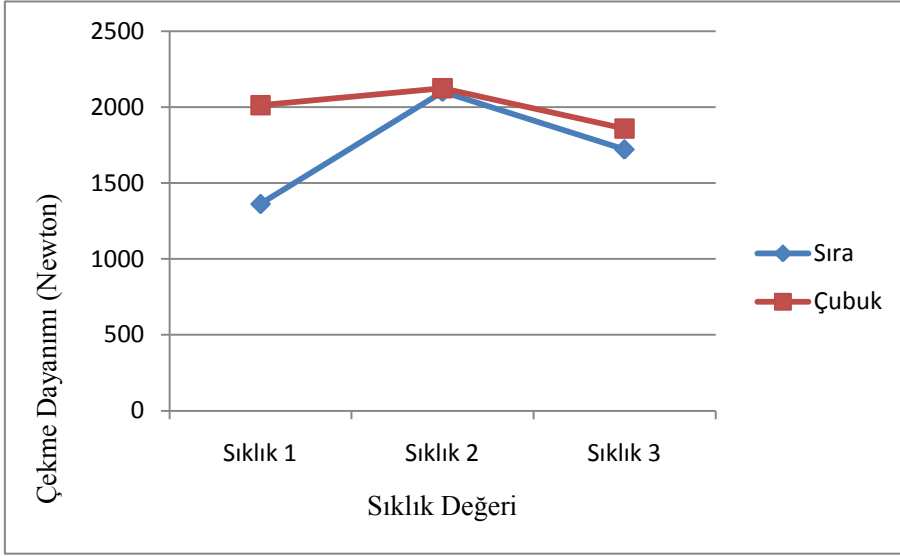
Çekme Gerilmesi (Newton/mm2)											
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	4	5	6	7	Ortalama	
2 Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	90,307	92,883	95,867	99,008	102,493	101,457	102,271	97,755	
		Sıklık 2	121,433	118,701	66,540	106,238	118,013	114,016	115,851	108,685	
		Sıklık 3	94,322	83,070	85,870	90,645				88,477	
	Sıra Yönü	Sıklık 1	58,988	70,730							64,859
		Sıklık 2	91,995	108,135							100,065
		Sıklık 3	82,883	81,914	83,941	79,218					81,989
	2 Cam 1 Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	95,929	91,608	90,128	89,705				91,842
			Sıklık 2	121,718	116,522	116,622	126,065	120,536	104,439		117,650
			Sıklık 3	126,136	124,026	121,113	114,120				121,349
Sıra Yönü		Sıklık 1	93,228	60,985	78,361						77,525
		Sıklık 2	96,419	115,279	116,611	122,823					112,783
		Sıklık 3	94,721	100,060	92,268						95,683

Elde edilen değerler sonucunda kompozit malzemelerin sıklık değerleri ile çubuk ve sıra yönündeki etkileşimleri grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 7.1.’ de 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki elastisite modülü değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Şekilde görüleceği üzere elastisite modülü hem sıra hem de çubuk yönünde ilk önce artmakta daha sonra düşme eğilimi göstermektedir. Sıklık 1 tipi kompozitlerde yüksek sıklıkta cam ve karbon kumaş Sıklık 2’de ise orta sıklıkta cam elyaf, düşük sıklıkta karbon kumaş kullanılmıştır. Sıklık değerindeki bu değişim nedeniyle bir artış meydana gelmiş olabilir. Sıklık 3 tipi kompozit malzemede kullanılan cam örme kumaş sıklığı düşük karbon örme kumaş sıklığı yüksektir. Cam elyafın sıklığı azalırken karbon örme sıklığının artması elastisite modülü değerinde düşüşe neden olmuş olabilir.

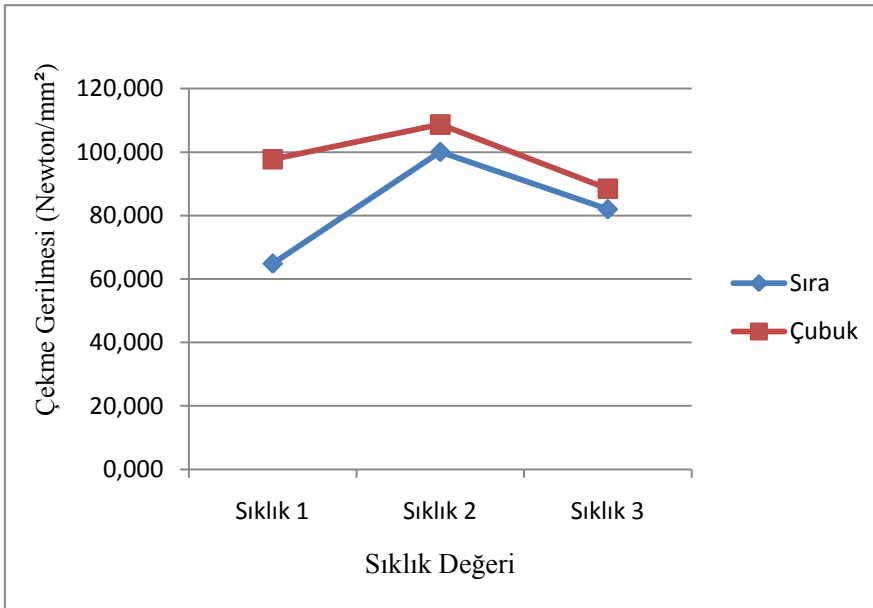


Şekil 7.1. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin elastisite modülüne etkisi

Elde edilen veriler grafik haline dönüştürüldüğünde Şekil 7.2.'de 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum çekme dayanımı değerinin sıklık ile olan ilişkisi, Şekil 7.3'de 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum çekme gerilmesi değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Şekilde görüleceği gibi hem çekme dayanımı hem de çekme gerilmesi özelliklerinde çubuk yönünde çok az bir miktar olsa da her iki yönde de artış meydana gelmiş daha sonra azalma oluşmuştur. Bu değişimlerin nedeni de elastisite modülündeki ile aynı yani sıklık değerindeki azalma ile bir yükselme daha sonra da cam kumaş sıklığının azalmasına karşın karbon örme kumaş sıklığındaki artması dayanım değerinde bir düşüş meydana gelmiş olabilir.

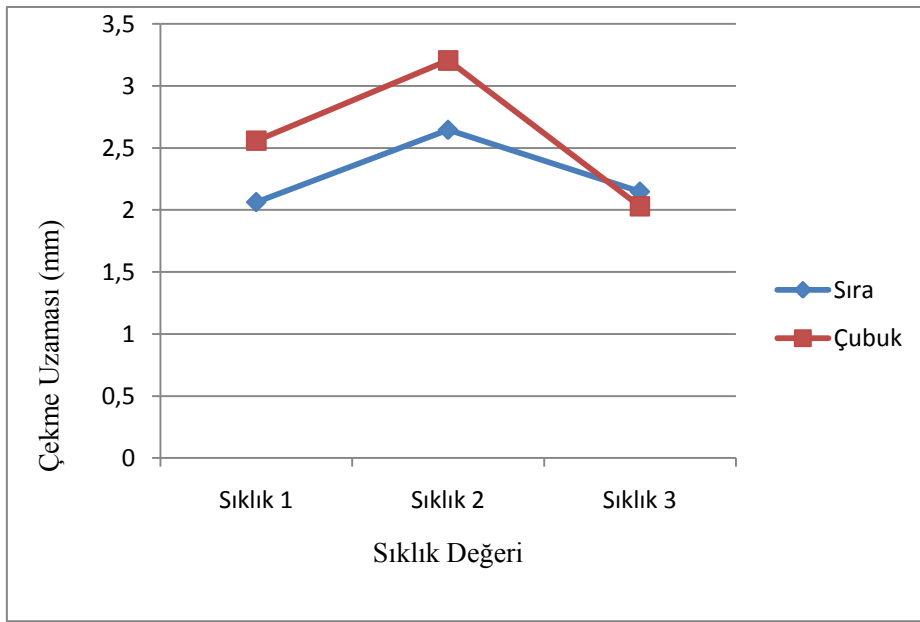


Şekil 7.2. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme dayanımı değerine etkisi



Şekil 7.3. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme gerilimi değerine etkisi

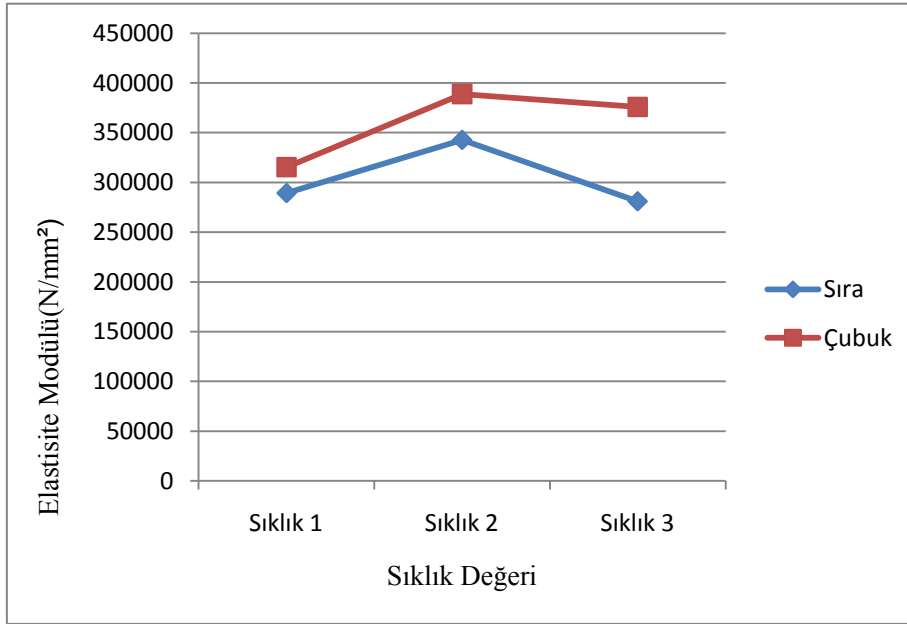
Testler sonucundaki veriler ile Şekil 7.4.'de 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki çekme uzaması değerinin sıklık ile olan ilişkisi elde edilmiştir. Çekme uzaması değerinde de elastisite modülü ve dayanım değerlerine benzer şekilde ilk önce bir artış daha sonra bir azalma görülmektedir. Bu değişimlerin uzama ve elastisite modülü özelliklerindeki gibi sıklık değerindeki değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıklık 3 tipi kompozit malzemede cam elyaf kumaş sıklığı azalırken karbon kumaşın sıklık değeri artmaktadır. Karbon kumaş sıklığının artması ile taşıyıcı elyafta kırılmalar meydana gelmektedir.



Şekil 7.4. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin çekme uzaması değerine etkisi

2 Karbon 1 Cam kumaş dizilimine sahip kompozit malzemelerden sonra 1 Karbon 2Cam Kumaş dizilimine sahip kompozit malzemelerin çekme deneyi sonucu elde edilen özelliklerinin grafik değerlendirmeleri aşağıdaki incelenmiştir. Şekil 7.5.' de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki elastisite modülü değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemelerin elastisite modülü değerlerinde 2Karbon 1Cam dizilimindeki elastisite modülüne benzer şekilde sıklık değeri ile ilk önce bir artış daha sonra azalma meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeninin yine sıklık değerindeki değişimler

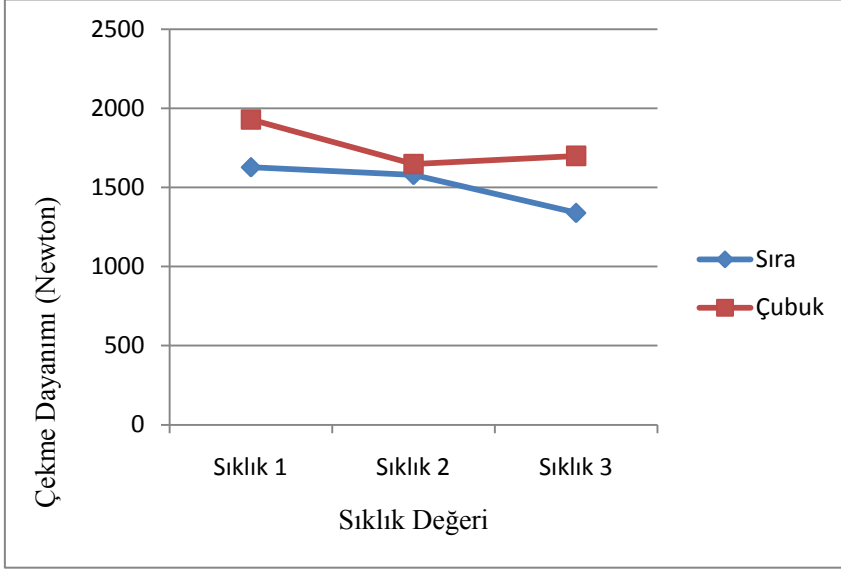
olduğu düşünölmektedir. Yani karbon kumaş sıklık değeri nin artışı ile oluş an lif kırılmaları ile mekanik özellik değ erlerinde düş üş meydana gelmektedir.



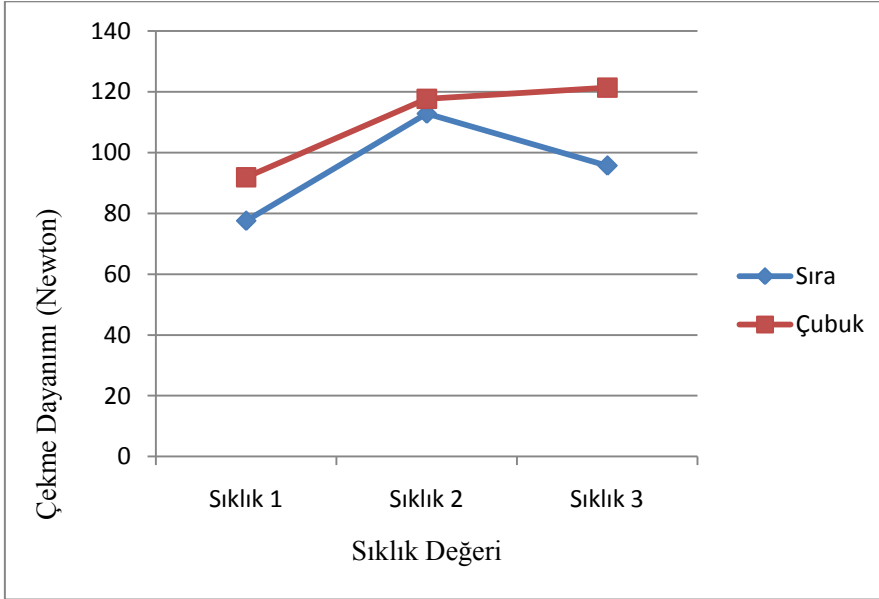
Ş ekil 7.5. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değ erlerinin elastisite modölüne etkisi

Elastisite modölü değ erinin ardından Ş ekil 7.6.'de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum çekme dayanımı değ erinin sıklık ile olan iliş kisi, Ş ekil 7.7.'de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum çekme gerilmesi değ erinin sıklık ile olan iliş kisi gösterilmektedir. Ç ekme dayanımı değ erine 1Karbon 2Cam kumaş dizilimine sahip kompozit numunelerin diğ er dizilimdeki kompozitlerden farklı şekilde değ iş im göstermektedirler. Ş ekillerde göröldüğü üzere çekme dayanımında, hem sıra hem çubuk yönünde çok az bir miktarda düş üş meydana gelmiştir. Ç ekme gerilmesi değ erinde ise ilk önce bir artış daha sonra azalma meydana gelmiştir. Daha sonra çubuk yönündeki dayanım neredeyse aynı değ erde iken sıra yönünde yine çok az bir azalma oluş muştur. Bu kompozit malzeme sıklık 3 tipinde üretilmiştir. Yani cam lifinin sıklığı azalırken karbon lifinin sıklığı artmaktadır. Kompozit malzemedeki kullanılan cam kumaş sayısı fazla olmasından dolayı 2Karbon 1Cam dizilimli malzemenin farklı olarak dayanımında çok fazla düş üş meydana gelmemektedir.





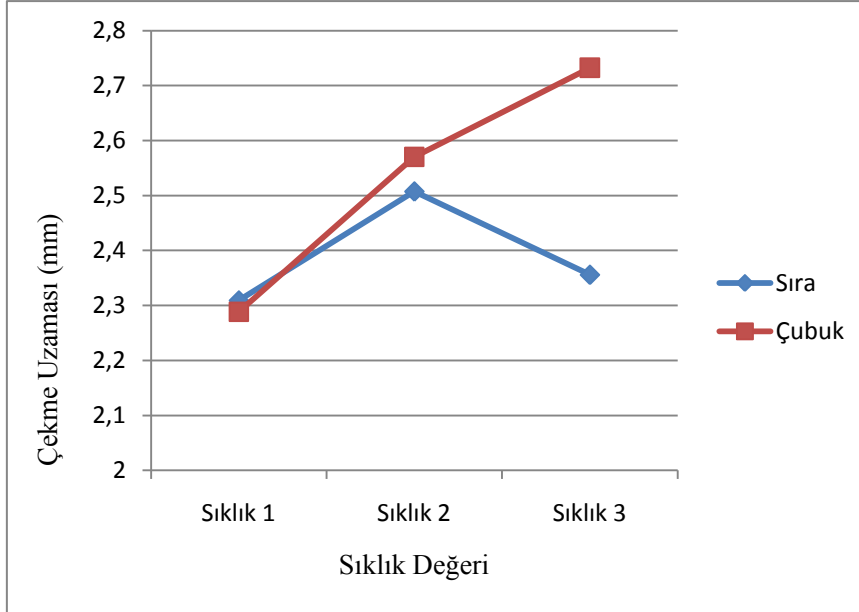
Şekil 7.6. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme dayanımı değerine etkisi



Şekil 7.7. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum çekme gerilmesi değerine etkisi

Elde edilen veriler sonucunda Şekil 7.8.'de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki çekme uzaması değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Uzama değerinde sıklık değerindeki artış ile ilk olarak bir artış

oluşmuştur. Daha sonra çubuk yönünde artış devam ederken sıra yönünde azalma görülmektedir. Çubuk yönü kuvveti taşıyıcı yön olup cam elyaf kumaş oranının fazla olması ve kırılmaların azalması nedeniyle artış meydana gelmektedir. Sıra yönünde ise mekanik etki ile taşıyıcı sistem işlevini yapamadığından azalma meydana gelmektedir.



Şekil 7.8. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin çekme uzaması değerine etkisi

Elde edilen grafiklere göre genel olarak çubuk yönünde sıra yönüne göre daha yüksek elastisite modülü, çekme dayanımı ve uzaması görülmektedir.

## 7.2. Kayma Deneyi Sonuçları

Kayma deneyi sonucunda maksimum kayma dayanımı, kayma uzaması değerleri elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları ve ortalama değerleri tablolar halinde verilmiştir. Çizelge 7.5’de numunelerin maksimum kayma dayanımı değerleri Newton cinsinden verilmiştir. Çizelge 7.6’da maksimum kayma gerilmesi değerleri çekme gerilmesi ile aynı şekilde kayma dayanımının kesit alanına bölünmesi ile elde edilmiştir.

Çizelge 7.5. Maksimum kayma dayanımı (Newton) değerleri

			Numune No:						
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	4	5	6	Ortalama
2 Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	617,359	818,9996	937,3102	901,8637	909,4812	1084,849	878,3104
		Sıklık 2	1161,804						1161,804
		Sıklık 3	1137,863	878,3884	1189,166	814,3359	1035,254	1011,002	
	Sıra Yönü	Sıklık 1	691,8277	1111,589	1054,843	892,2244	861,7536	922,4474	
		Sıklık 2	786,3519						786,3519
		Sıklık 3	954,256	660,2679	589,8419	504,0241	677,0975		
2 Cam 1Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	824,4412	1250,421	1156,053	1218,394	805,0076	1050,863	
		Sıklık 2	973,2226	900,7758	835,9454	903,3146			
		Sıklık 3	665,8645	935,1333	847,2946	740,3332	973,0676	832,3387	
	Sıra Yönü	Sıklık 1	668,9743	657,6251	978,1983	575,539	619,2249	699,9123	
		Sıklık 2	776,5576	928,7598	852,1143	882,8971	860,0822		
		Sıklık 3	599,9472	851,9593	767,6963	720,9006	775,6247	743,2256	

Çizelge 7.6. Maksimum kayma gerilmesi değerleri

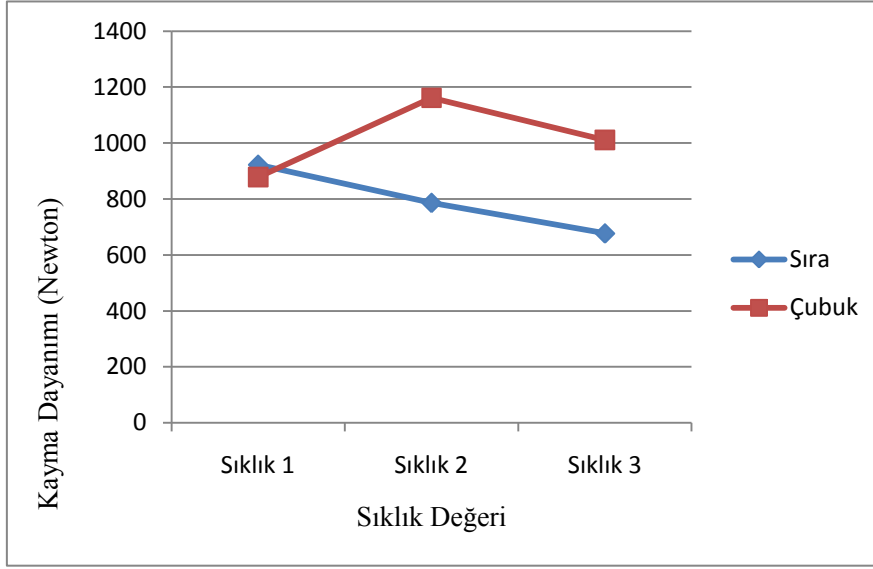
Kayma Gerilmesi (Newton/mm <sup>2</sup> )									
			Numune No:						
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	4	5	6	Ortalama
2 Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	29,398	39,000	44,634	42,946	43,309	51,659	41,824
		Sıklık 2	55,324						55,324
		Sıklık 3	54,184	41,828	56,627	38,778	49,298	48,143	
	Sıra Yönü	Sıklık 1	32,944	52,933	50,231	42,487	41,036	43,926	
		Sıklık 2	37,445						37,445
		Sıklık 3	45,441	31,441	28,088	24,001	32,243		
2 Cam 1Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	39,259	59,544	55,050	58,019	38,334	50,041	
		Sıklık 2	69,516	64,341	59,710	64,522			
		Sıklık 3	47,562	66,795	60,521	52,881	69,505	59,453	
	Sıra Yönü	Sıklık 1	31,856	31,315	46,581	27,407	29,487	33,329	
		Sıklık 2	55,468	66,340	60,865	63,064	61,434		
		Sıklık 3	42,853	60,854	54,835	51,493	55,402	53,088	

Kayma testi ile elde edilen diğer özellik olan kayma uzaması Çizelge 7.7.'de numunelerin değerleri mm cinsinden verilmiştir.

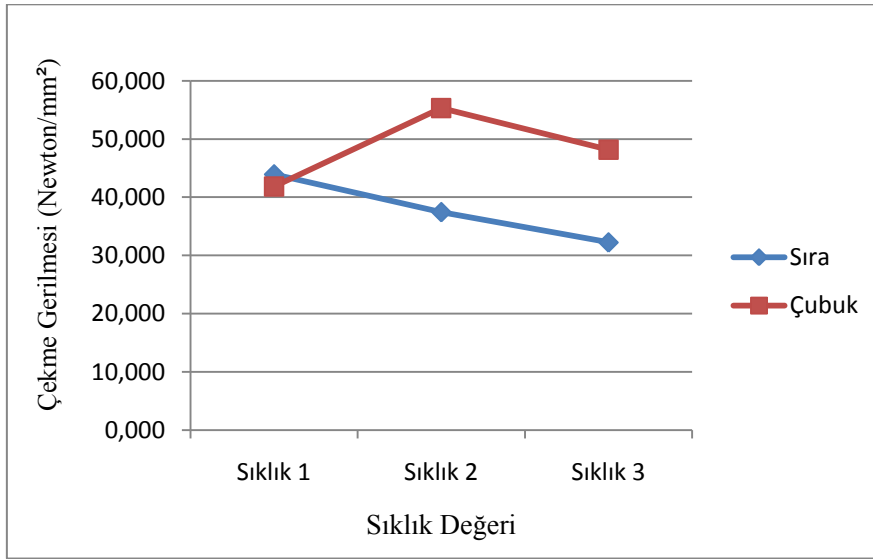
Çizelge 7.7. Kayma uzaması (mm) değerleri

			Numune No:							
Dizilim	Yön	Sıklık	1	2	3	4	5	6	Ortalama	
2 Karbon 1 Cam	Çubuk Yönü	Sıklık 1	1,2824	1,5987	1,9551	1,6163	1,5996	1,9055	1,6596	
		Sıklık 2	2,586						2,586	
		Sıklık 3	1,5146	1,0425	2,1046	1,4033	1,4033	1,49366		
	Sıra Yönü	Sıklık 1	2,1877	1,7142	1,4981	1,9025	1,4791	1,75632		
		Sıklık 2	1,0466						1,0466	
		Sıklık 3	1,2746	1,1438	0,8659	1,048	1,083075			
2 Cam 1 Karbon	Çubuk Yönü	Sıklık 1	1,121	2,1373	1,4995	1,8952	1,0591	1,54242		
		Sıklık 2	1,426	1,5178	1,5741	1,505967				
		Sıklık 3	1,1419	1,3564	1,5831	1,349	1,5336	1,3928		
	Sıra Yönü	Sıklık 1	1,0497	0,7941	1,8137	1,1481	1,0352	1,16816		
		Sıklık 2	1,4796	1,7143	2,0103	1,7399	1,736025			
		Sıklık 3	1,4231	1,5206	1,7221	1,5663	1,7077	1,58796		

Elde edilen değerler sonucunda kompozit malzemelerin sıklık değerleri ile çubuk ve sıra yönündeki etkileşim grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 7.9'da 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum kayma dayanımı değerinin sıklık ile olan ilişkisi, Şekil 7.10'da 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum kayma gerilmesi değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere çubuk ve sıra yönündeki dayanım ilk anda hemen hemen aynı değerdedir. Daha sonra sıklık 2 değerinde çubuk yönünde artış meydana gelirken sıra yönünde bir azalma oluşmuştur. Kumaş sıklıklarındaki değişim iki yönde farklı etkilere neden olmuştur. Daha sonra her iki yönde de azalma meydana gelmiştir.



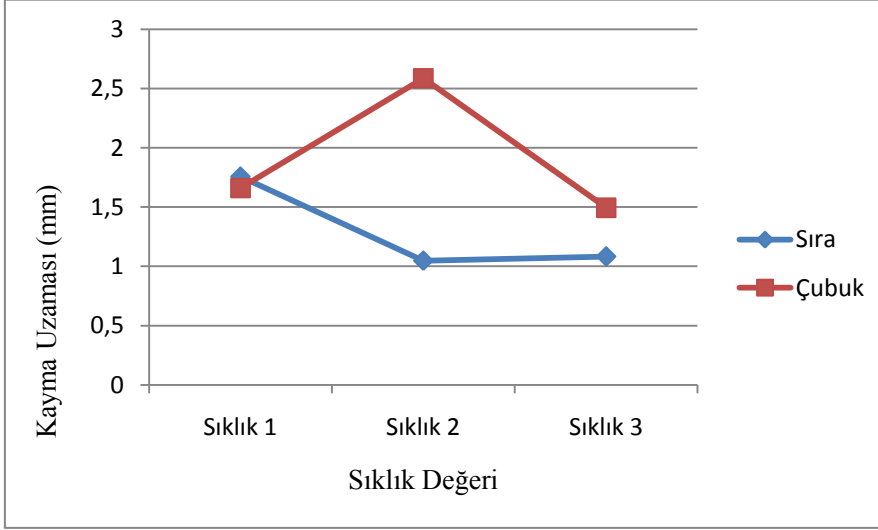
Şekil 7.9. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma dayanımına etkisi



Şekil 7.10. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma gerilmesine etkisi

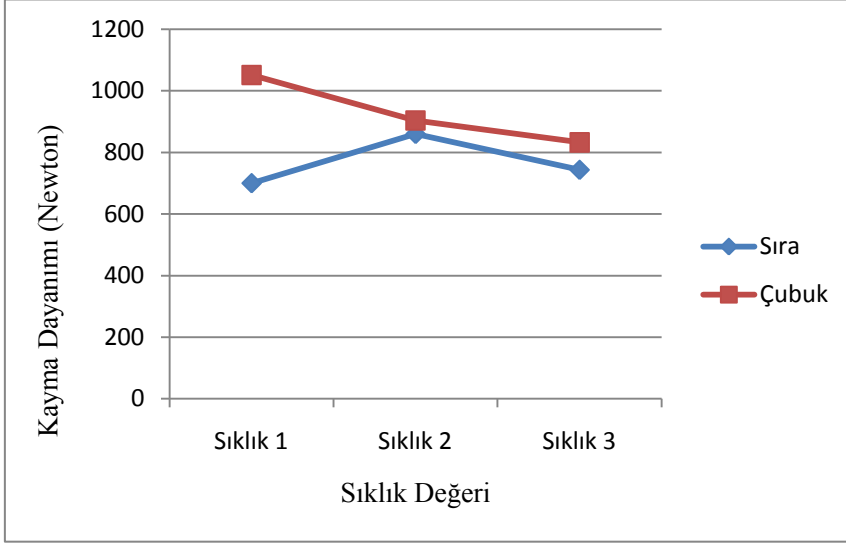
Elde edilen verilerle Şekil 7.11.' de 2 karbon 1 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum kayma uzaması değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Kayma uzaması değerinde ilk olarak sıra ve çubuk yönünde tam

tersi bir etki vardır. İkinci kısımda ise çubuk yönünde azalma meydana gelirken sıra yönündeki değer neredeyse aynı kalmıştır.

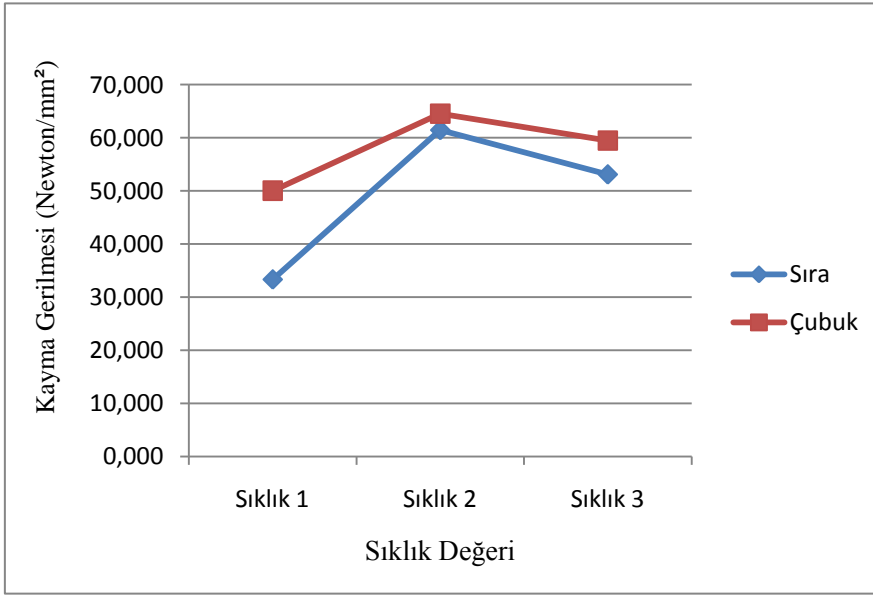


Şekil 7.11. 2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma uzamasına etkisi

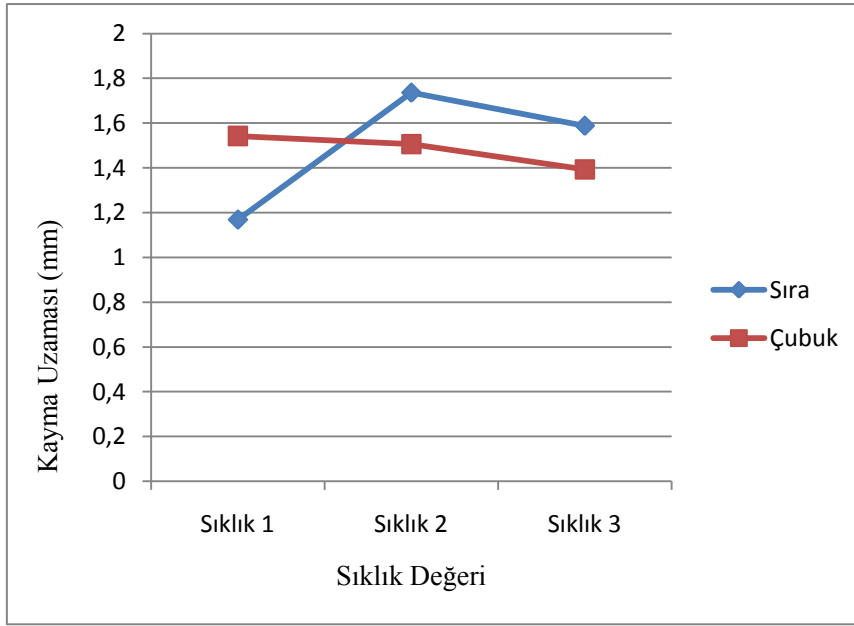
2Karbon 1Cam dizilimli kompozit malzemelerin kayma deneyi sonuçlarının ardından 1Karbon 2Cam dizilimli numunelerin grafik özellikleri incelenmiştir. Şekil 7.12’de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum kayma dayanımı değerinin sıklık ile olan ilişkisi, Şekil 7.13’de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum kayma gerilmesi değerinin sıklık ile olan ilişkisi Şekil 7.14’de 1 karbon 2 cam örme kumaş dizilimine sahip kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönündeki maksimum kayma uzaması değerinin sıklık ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Hem kayma uzaması hem de kayma dayanımı özelliklerinde sıklık değerinin ilk değişimi sıra ve çubuk yönlerinde tam tersi etkiler yaparken ikinci değişim her iki yönde de azalma meydana getirmektedir. Fakat kayma gerilmesi değerinde her iki yönde de ilk önce bir artış daha sonra daha sonra bir azalma meydana gelmektedir.



Şekil 7.12. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma dayanımına etkisi



Şekil 7.13. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma gerilmesine etkisi



Şekil 7.14. 1Karbon 2Cam dizilimli kompozit malzemenin sıklık değerlerinin maksimum kayma uzamasına etkisi

### 7.3 İstatistiksel Analiz

Deneyle sonuçunda elde edilen veriler ile kullanılan kumaş sıklığı, çubuk ve sıra yönü ve kumaş dizilimi özelliklerinin elastisite modülü, çekme dayanımı, çekme uzaması, kayma dayanımı, kayma uzaması özellikleri ile olan ilişkisi üç faktörlü varyans analizi ile istatistiksel olarak incelenmiştir. Varyans analizi sonuçları Çizelge 7.8., Çizelge 7.9., Çizelge 7.10.' de verilmiştir.



Çizelge 7.8. Elastisite modülü özelliğinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Elastisite Modülü			
	Serbestlik Derecesi	SS	MS	F
Yön	1	45001381528	45001381528	43,49295
Sıklık	2	40197071123	20098535562	19,42484
Kumaş Dizilimi	1	4438268453	4438268453	4,289499
Yön - Sıklık	2	3589454571	1794727285	1,734569
Yön-Kumaş Diz.	1	2000796998	2000796998	1,933731
Sıklık- Kumaş Diz.	2	3447338693	1723669347	1,665893
Yön-Sıklık-Kum. Diz	2	2829897177	1414948589	1,36752
Hata	24	24832371862	1034682161	
Toplam	35	77507009922		

İstatistik hesaplamada elastisite modülü için kullanılan F Kritik değerleri;  $F_{1,24}$  için 4,26,  $F_{2,24}$  için 3,40'tır. Kritik F değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler. Varyans analizi sonucunda yön, sıklık ve kumaş diziliminin ayrı ayrı elastisite modülü üzerinde %5'lik düzeyde anlamlı olduğu fakat bunların birbirleri ile olan etkileşimlerinin %5 anlamlılık düzeyinde elastisite modülü üzerinde etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.9. Çekme dayanımı ve uzaması özelliğinin varyans analizi

Varyans Kaynağı	df	Çekme Dayanımı			Çekme Uzaması		
		SS	MS	F	SS	MS	F
Kumaş Dizilimi	1	634316,837	634316,837	15,017	0,001	0,001	0,13
Sıklık	2	471346,035	235673,	5,579	2,082	1,041	9,681
Yön	1	869805,237	869805,237	20,592	0,686	0,686	6,382
Kumaş Diz. * Sıklık	2	664423,445	332211,723	7,865	1,604	0,802	7,457
Kumaş Diz. * Yön	1	11835,074	11835,074	0,280	0,144	0,144	1,334
Sıklık* Yön	2	222081,059	111040,530	2,629	0,142	0,071	0,662
Yön*Sıklık*Kum.Diz	2	1529,70	76485,115	1,811	0,735	0,367	3,417
Hata	35	1478409,018	42240,258		3,764	0,108	
Toplam	47	15 910 000			311,069		

İstatistik hesaplamada çekme dayanımı ve uzaması için kullanılan F Kritik değerleri;  $F_{1,35}$  için 4,125,  $F_{2,35}$  için 3,275'dir. Kritik F değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler. Analiz sonucunda % 5 anlamlılık düzeyinde F değeri sonuçları incelendiğinde çekme dayanımına; yön, sıklık ve kumaş dizilimi özellikleri ile sıklık ile kumaş dizilimi etkileşiminin etki ettiği görülmüştür. Yani bu özelliklerde meydana gelen değişimler çekme dayanım özelliğinde de değişime neden olmaktadır. Çekme uzaması değerinin sonuçları incelendiğinde ise yön, sıklık ve sıklık-kumaş dizilimi etkileşimi istatistiksel olarak %5 anlamlılık düzeyinde etki etmektedir.

Çizelge 7.10. Kayma dayanımı ve uzamasının varyans analizi

Varyans Kaynağı	df	Kayma Dayanımı			Kayma Uzaması		
		SS	MS	F	SS	MS	F
Kumaş Dizilimi	1	19804,647	19804,647	0,773	0,83	0,83	0,912
Sıklık	2	68394,491	34197,246	1,335	0,520	0,260	2,844
Yön	1	350537,414	350537,414	13,682	0,871	0,871	9,537
Kumaş Diz. * Sıklık	2	15888,812	7944,406	0,310	0,662	0,331	3,622
Kumaş Diz.* Yön	1	14074,869	14074,869	0,548	0,967	0,967	10,585
Sıklık* Yön	2	2217,330	1108,665	0,043	0,357	0,178	1,953
Yön*Sıklık*Kum.Diz	2	265760,603	132880,301	5,186	1,555	0,777	8,511
Hata	38	973606,447	25621,222		3,471	0,91	
Toplam	50	38580753,888			119,917		

Kayma testi sonucu elde edilen verilere varyans analizi sonuçları Çizelge 6.8' de gösterilmiştir. İstatistik hesaplamada kayma dayanımı ve uzaması için kullanılan F Kritik değerleri;  $F_{1,38}$  için 4,098 ,  $F_{2,38}$  için 3,248'dir. Kritik F değerlerinden daha büyük F değerine sahip özellikler ve etkileşimler malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilidirler. Kayma dayanımı değeri sonuçları incelendiğinde %5 anlamlılık düzeyinde yön ve yön-sıklık-kumaş dizilimi özelliklerinin birbiri ile olan etkileşiminin etkili olduğu ve bu özelliklerdeki değişimlerin kayma dayanım değerini etkilediği görülmüştür. Kayma uzaması özelliğinin ise kayma dayanımındaki gibi %5 anlamlılık düzeyinde yön özelliğinden, yön-sıklık-kumaş dizilimi etkileşiminden etkilendiği bunun yanında ayrıca sıklık-kumaş diziliminin ve yön-kumaş diziliminin birbiri ile olan etkileşiminden de etkilendiği gözlemlenmiştir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiş, kompozit malzemeler hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Yapılan çalışmada cam ve karbon elyaf örme kumaşlardan elde edilen değişik yapıdaki kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozit malzemeler farklı sıklıklara sahip kumaşların farklı kat oranlarında dizilimi ile epoksi reçine kullanılarak elle yatırma yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen malzemelere mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme ve kayma testleri uygulanmış ve elde edilen deney verileri istatistiksel olarak yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar listelendiğinde;

- Üretilen örme kumaşların sıklık değeri arttığında elyaflarda oluşan kırılmalar nedeniyle lif özelliklerinde düşüşler meydana gelmektedir.
- Karbon kumaş oranının fazla olduğu kompozit malzemelerde mekanik değerlerde oldukça yüksek düşüşler meydana gelmiştir. Yani karbon liflerde oluşan kırılmalar daha fazla olmaktadır. Bu da cam liflerine göre daha fazla özelliklerini yitirdiklerini göstermektedir.
- Ayrıca genel anlamda incelenen özelliklerde çubuk yönündeki değerler sıra yönünde uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen değerlerden daha yüksek olmaktadır.

İstatistik analizi sonuçlarında ise;

- Elastisite modülü değeri; yön, sıklık ve kumaş dizilim özelliklerinden etkilenmektedir.
- Çekme dayanımı; yön, sıklık ve kumaş dizilimi özellikleri ile sıklık ile kumaş dizilimi etkileşiminden etkilenmektedir.
- Çekme uzaması; sıklık ve sıklık-kumaş diziliminden etkilenmektedir.
- Kayma dayanımı; yön ve yön-sıklık-kumaş dizilimi etkileşiminden etkilenmektedir.
- Kayma uzaması; yön, yön-sıklık-kumaş dizilimi etkileşimi, sıklık-kumaş dizilimin ve yön-kumaş dizilimi etkileşiminden etkilenmektedir.

Bu çalışmanın ileri aşamalarında elyaflarda oluşan kırılmaların azaltılması için farklı yapılarda örme kumaşlar veya farklı tekstil yapıları kullanılması ya da elyaflara uygulanabilecek yüzey işlemleri ile mekanik değerlerin iyileştirilmesi üzerine araştırmalar yapılabilir. Kullanılan kumaş sıklıklarının aralıkları azaltılarak daha fazla sıklık değeri incelenmesiyle bu yapısal özelliğin malzeme özelliklerine olan etkisi daha ayrıntılı olarak incelenebilir. Ayrıca malzemelerde kullanılan kumaş kat sayılarının adetleri ve bu katların dizilimleri değiştirilerek farklı yapılar elde edilebilir ve bu yapıların özellikleri incelenmesi çalışmanın daha da derinleştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 9. KAYNAKLAR

- [1] Şahin, Y., 2006, “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Ankara*, 27-108, 135-144.
- [2] Tong, L , Mouritz, P, M, Bannister, M, K, 2002 “3D Fibre Reinforced Polymer Composites” , *Oxford*, 1-45.
- [3] Ersoy, H, Y, 2001, “Kompozit Malzeme”, *İstanbul*,95-127.
- [4] Agarwal,D, B, Broutman, L, J, Chandrashekhara, K, 2006, “Analysis and Performance of Fiber Reinforced Composite”, *New Jersey*, Canada, 1-61.
- [5] Padaki, N, V, Alagirusamy, R, Sugun B, S, 2006, “Kknitted preform for composite aplication”, *Journal of Industrial Textiles*, 35 (4):295-321.
- [6] Daniel B., Donaldson Miracle., Donaldson S., L., 2001, “Introduction to composites ”, *Composites*, 21:29-64.
- [7] Berthelot , J., M., 1999, “Composite materials: Mechanical behavior and structural analysis”, Ling F.F., Cole, J., M., *Berlin*, Germany, 1-15.
- [8] Nutt S., R., 2001, “Introduction to constituent materials”, *Composites*, 21: 68-70.
- [9] Valsh, P., J., 2001, “Carbon Fibers”, *Composites*, 21: 92-104.
- [10] Campbell, F., C., 2004, “Manufacturing Processes for advanced composites”, *Oxford*, 4-8, 17-25, 76-78.
- [11] Chung, D., D., L., 1994, “Carbon fiber composites”, *Newton*, 13-49, 65-81.
- [12] Edie, D., D., Diefendorf R.J.,1992, “Carbon fiber Porduction”, *Materials and Composites* , 19-39.
- [13] Seventekin, N., 2001, “Kimyasal Lifler”, *İzmir*, 136.
- [14 ] Jones, F., R., 2001, “Glass fibers”, High Performance Fibers, Hearle, J., W., S., *The Textile Institue*, USA, 191-235.
- [15] Wallenberger, F., T., Watson J., C., Li H.,2001, “Glass Fibers”, *Composites*, 21: 77-91.

- [16]Boyle, M., A., Martin C., J., Neuner, J., D., 2001, “Epoxy Resins”, *Composites*, 21: 195-201.
- [17] Ersoy, M., S., 2005, “Lif takviyeli kompozit malzeme tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 18-37.
- [18] Andressen, F., R., 2001, “Open molding: Hand lay-up and spray-up”, *Composites*, 21: 1075-1091.
- [19] Ko, F., K., 1999, “3-D textile reinforcements in composite materials”, 3-D textile reinforcements in composite materials, Miravete, A., CRC Press LLC, USA, 9-30.
- [20] Ogin, S., L., 2000, “Textile-reinforced composites materials”, Handbook of technical textiles, Horrocks A., R., Anand, S., C., The Textile Institute, USA, 264-279.
- [21] Bayazıt Marmaralı, A., 2004, “Atkı örmeciliğine giriş”, *Bornova*, İzmir, 1-40.
- [22] Lomov, S., Verpoest, I., Robitaille, F., 2005 “Manufacturing and internal geometry of textiles”, Design and Manufacture of Technical Textile, Long A., C., USA , 1-35.
- [23]Kırk J. N., Munro M., Beaumont P. W. R., 1978, “The fracture energy of hybrid carbon and glass fibre composites”, *Journal of Materials Science*, 13:2197-2204
- [24] Sivir, Ç., 2008, “Dokusuz Yüzeyler Endüstrisinde Sık Kullanılan Test Metotları, Cihazları Ve Standartları”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1: 19-25.
- 25 26 Mevlüt Hoca makaleler
- [27] Sayer M., Bektaş N. B., 2009, “Darbe yükü altındaki hibrit kompozit plakalara sıcaklığın etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (3): 337-343.
- [28] Dirikoğlu M. H., Aktaş A., 2000, “A comparative study on the stress intensity factor of carbon epoxy composite plates having central holes”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2-3): 109-112.
- [29] Seong S. C., Lim T. S., Lee D. G., 1999, “Impact energy absorption characteristics of glass fiber hybrid composites”, *Composite Structures*, 46: 267-278.
- [30] Mishra S., Mohanty A.K., Drzal L.T., Misra M., Parijaci S., Nayak S.K., Tripathy S.S., 2003, “Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites”, *Composites Science and Technology*, 63:1377-1385.
- [31] Shan Y., Lai K. F., Wan K. T., Liao K., 2002, “Static and dynamic fatigue of glass-carbon hybrid composites in fluid environment”, *Journal of Composite Materials*, 36 (2): 159-172.

- [32] Leong K. H., Falzon P. J., Bannister M. K., Herszberg I., 1998, "An investigation of the mechanical performance of weft-knit milano-rib glass/epoxy composites", *Composites Science and Technology*, 58: 239-251.
- [33] Wonderly C., Grenestedt J., Fernlund G., Čěpus E., 2005, "Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites", *Composites*, 36 (Part B): 417-426.
- [34] Dutra R. C. L., Soares B. G., Campos E. A., Silva J. L. G., 2000, "Hybrid composites based on polypropylene and carbon fiber and epoxy matrix", *Polymer*, 41: 3841-3849.
- [35] Khondker O. A., ] Leong K. H., Herszberg I., Hamada H., 2005, "Impact and compression-after-impact performance of weft-knitted glass textile composites", *Composites*, 36 (Part A): 638-648.
- [36] Manders P. W., Bader M. G., 1981, "The strenght of hybrid glass/carbon fibre composites", *Journal of material science*, 16: 2233-2245.
- [37] Luo Y., Verpoest I., 2002, "Biaxial tension and ultimate deformation of knitted fabric reinforcements", *Composites*, 33 (Part A): 197-203.
- [38] Gommers B., Verpoest I., Van Houtte P., 1998, "Analysis of knitted fabric reinforced composites: Part 2 Stiffness strength", *Composites*, 29 (A): 1589-601.
- [39] Ramakrishna S., 1997, "Characterization and modeling of the tensile properties of plain weft-knit fabric reinforced composites", *Composites Science Technology*, 57: 1-22.
- [40] Stewart R. W., Verijenko V. E., Adalı S., 1997, "Analysis of the in-plane properties of hybrid glass/carbon woven fabric composites", *Composites Structures*, 39: 319-328.
- [41] Park S. J., Seo M. K., Lee D. R., "Studies on the mechanical and mechanical interfacial properties of carbon-carbon composites impregnated with an oxidation inhibitor", 2003, *Carbon*, 41 (15): 2991-3002.
- [42] Dirand X., Hilaire B., Soulier J. P., Nardin M., 1996, "Interfacial shear strength in glass-fiber/vinylester-resin composites", *Composites science and technology*, 56 (5): 533-539.
- [43] Houphouët-Boigny C., Plummer C. J. G., Wakeman M. D., Manson J. A. E., 2008, "Hybrid glass fiber-reinforced thermoplastic nanocomposites", *Journa of Thermoplastics Composite*, 21 (1): 103-118.
- [44] Harris B., Bunsell A. R., 1975, "Impact properties of glass fibre/carbon fibre hybrid composites", *Composites*, 6 (5): 197-201.
- [45] Yuan Q., Bateman S. A., Friedrich K., 2008, "Thermal and mechanical properties of pan- and pitch-based carbon fiber reinforced peek composites", *Journal of Thermmoplastic Composite Materials*, 21: 323-336.

- [46] Suresha B., Chandramohan G., Samapthkumaran P., Seetharamu S., Vynatheya S., 2006, "Friction and Wear Characteristics of Carbon-epoxy and Glass-epoxy Woven Roving Fiber Composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25: 771-782.
- [47] Phua Y. J., Mohd Ishak Z. A., Senawi R., 2010, "Injection Molded Short Glass and Carbon Fibers Reinforced Polycarbonate Hybrid Composites: Effects of Fiber Loading", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (17): 2592-2603.
- [48] Lee D. G., Cheon S. S., 2001, "Impact Characteristics of glass fiber composites with respect to fiber volume fraction", *Journal of Composite Materials*, 35 (1): 27-56.
- [49] Yusriah L., Mariatti M., Abu Bakar A., 2010, "The properties of vinyl ester coposites reinforced with different types of woven fabric and hollow phenolic microspheres", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (20): 3066-3073.
- [50] Zenasni R., Saadi B. A., 2006, "Moisture effects on the interlaminar resistance of woven fabric thermoplastic composite", *Journal of Thermoplastic Composite*, 19 (6): 715-729.
- [51] Mnahoncakova E., Vejmelka R., Jirickova M., Cerny R., Rovnanikova P., Bayer P., 2005, "Thermal and hygric parameters of carbon-fiber-reinforced cement composites after thermal and mechanical loading", *Journal of buildings physics*, 29 (2): 121-143.
- [52] Ayish I., Zihlif A., 2010, "Electrical properties of conductive network in carbon fibers/polymer composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29: 3237-3243.
- [53] Lv X., Zhang Q., Li X., Xie G., 2007, "Study of influence of immersion on the carbon fiber/epoxy composites", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26: 1403-1411.
- [54] Savcı S., Curiskis J. I., Pailthorpe M. T., 2001, "Knittability of glass fiber weft-knitted preforms for composites", *Textile Research Journal*, 71 (1): 15-21.
- [55] Bayramlı, E., Alyürük, K., Tınçer, T., Öktem, Z., 1994, "Karbon elyafli polimerik kompozitler", Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara.
- [56] Ochelski S., Gotowicki P., 2009, "Experimental assessment of energy absorption capability of carbon-epoxy and glass-epoxy composites", *Composites Structures*, 87: 215-224.



## **EKLER**

## EK-1. Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

```
UNIANOVA ÇekmeDeğeri BY dizilim Sıklık Yön
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCPT=INCLUDE
  /PLOT=PROFILE (dizilim*Sıklık*Yön)
  /EMMEANS=TABLES (dizilim)
  /EMMEANS=TABLES (Sıklık)
  /EMMEANS=TABLES (Yön)
  /EMMEANS=TABLES (dizilim*Sıklık)
  /EMMEANS=TABLES (dizilim*Yön)
  /EMMEANS=TABLES (Sıklık*Yön)
  /EMMEANS=TABLES (dizilim*Sıklık*Yön)
  /PRINT=ETASQ DESCRIPTIVE
  /PLOT=RESIDUALS
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN=dizilim Sıklık Yön dizilim*Sıklık dizilim*Yön Sıklık*Yön dizilim*
Sıklık*Yön.
```

### Univariate Analysis of Variance

[DataSet1] C:\Users\meyukse\Deskto\mehmet1.sav

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
dizilim	1	2K1C	24
	2	2C1K	23
Sıklık	1	4,25	15
	2	5,5	17
	3	6,75	15
Yön	1	çubuk	29
	2	sıra	18

EK-1(Devam). Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

Descriptive Statistics

Dependent Variable: ÇekmeNDeğeri

dizilim	Sıklık	Yön	Mean	Std. Deviation	N
2K1C	4,25	çubuk	2037,050000	101,6319098	6
		sıra	1362,040000	174,3725322	2
		Total	1868,297500	330,6938065	8
	5,5	çubuk	2257,288333	435,6586875	6
		sıra	2101,365000	239,6738435	2
		Total	2218,307500	385,9874424	8
	6,75	çubuk	1858,012500	104,9316823	4
		sıra	1721,767500	42,5168566	4
		Total	1789,890000	103,9095920	8
	Total	çubuk	2074,880000	308,7630335	16
		sıra	1726,735000	302,3884079	8
		Total	1958,831667	343,6705171	24
2C1K	4,25	çubuk	1928,682500	59,7277319	4
		sıra	1628,020000	338,8913804	3
		Total	1799,827143	256,6985380	7
	5,5	çubuk	1684,094000	55,6003321	5
		sıra	1578,965000	159,5136401	4
		Total	1637,370000	118,9850982	9
	6,75	çubuk	1698,880000	73,3670457	4
		sıra	1339,560000	55,7784699	3
		Total	1544,885714	201,5372391	7
	Total	çubuk	1763,901538	127,9923314	13
		sıra	1521,860000	225,7837328	10
		Total	1658,66087	211,7585081	23
Total	4,25	çubuk	1993,703000	100,2950466	10
		sıra	1521,628000	293,6813528	5
		Total	1836,344667	280,1201927	15
	5,5	çubuk	1996,745455	430,9765954	11
		sıra	1753,098333	315,4826045	6
		Total	1910,752353	401,9892957	17
	6,75	çubuk	1778,446250	119,4190994	8
		sıra	1557,964286	208,9947339	7
		Total	1675,554667	197,0107229	15
	Total	çubuk	1935,475862	287,8634693	29
		sıra	1612,915556	274,9787115	18
		Total	1811,942128	321,7216530	47

## EK-1(Devam). Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:ÇekmeNDeğerl

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	3282812,795 <sup>a</sup>	11	298437,527	7,065
Intercept	1,302E8	1	1,302E8	3082,839
dizilim	634316,837	1	634316,837	15,017
Sıklık	471346,035	2	235673,018	5,579
Yön	869805,237	1	869805,237	20,592
dizilim * Sıklık	664423,445	2	332211,723	7,865
dizilim * Yön	11835,074	1	11835,074	,280
Sıklık * Yön	222081,059	2	111040,530	2,629
dizilim * Sıklık * Yön	152970,231	2	76485,115	1,811
Error	1478409,018	35	42240,258	
Total	1,591E8	47		
Corrected Total	4761221,813	46		

a. R Squared = ,589 (Adjusted R Squared = ,592)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:ÇekmeNDeğerl

Source	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	,000	,589
Intercept	,000	,989
dizilim	,000	,300
Sıklık	,008	,242
Yön	,000	,370
dizilim * Sıklık	,002	,310
dizilim * Yön	,600	,008
Sıklık * Yön	,086	,131
dizilim * Sıklık * Yön	,179	,094

## Estimated Marginal Means

### 1. dizilim

Dependent Variable:ÇekmeNDeğerl

dizilim	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
2K1C	1889,587	46,380	1795,430	1983,744
2C1K	1643,034	43,553	1554,615	1731,452

## EK-1(Devam). Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### 2. Sıklık

Dependent Variable: ÇekmeNDeğer

Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
4,25	1738,948	57,446	1622,327	1855,569
5,5	1905,428	54,296	1795,202	2015,654
6,75	1664,555	53,479	1545,987	1763,123

### 3. Yön

Dependent Variable: ÇekmeNDeğer

Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
çubuk	1910,668	38,804	1831,891	1989,445
sıra	1621,953	50,421	1519,594	1724,312

### 4. dizilim \* Sıklık

Dependent Variable: ÇekmeNDeğer

dizilim	Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	1699,545	83,905	1529,209	1869,881
	5,5	2179,327	83,905	2008,991	2349,663
	6,75	1789,890	72,664	1642,375	1937,405
2C1K	4,25	1778,351	78,486	1619,016	1937,686
	5,5	1631,529	68,935	1491,584	1771,475
	6,75	1519,220	78,486	1359,885	1678,555

### 5. dizilim \* Yön

Dependent Variable: ÇekmeNDeğer

dizilim	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	çubuk	2050,784	52,324	1944,560	2157,007
	sıra	1728,391	76,594	1572,896	1883,886
2C1K	çubuk	1770,552	57,318	1654,190	1886,914
	sıra	1515,515	65,592	1382,357	1648,673

## EK-1(Devam). Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

6. Sıklık \* Yön

Dependent Variable: ÇekmeNDeğeri

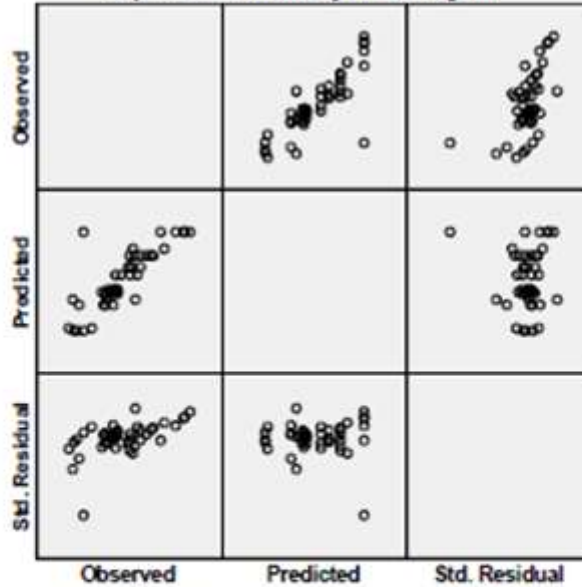
Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
4,25	çubuk	1982,866	66,333	1848,204	2117,529
	sıra	1495,030	93,809	1304,588	1685,472
5,5	çubuk	1970,691	62,226	1844,367	2097,016
	sıra	1840,165	88,995	1659,496	2020,834
6,75	çubuk	1778,446	72,664	1630,931	1925,962
	sıra	1530,664	78,486	1371,329	1689,999

7. dizilim \* Sıklık \* Yön

Dependent Variable: ÇekmeNDeğeri

dizilim	Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	çubuk	2037,050	83,905	1866,714	2207,386
		sıra	1362,040	145,328	1067,009	1657,071
	5,5	çubuk	2257,288	83,905	2086,952	2427,624
		sıra	2101,365	145,328	1806,334	2396,396
	6,75	çubuk	1858,012	102,762	1649,394	2066,631
		sıra	1721,768	102,762	1513,149	1930,386
2C1K	4,25	çubuk	1928,682	102,762	1720,064	2137,301
		sıra	1628,020	118,660	1387,128	1868,912
	5,5	çubuk	1684,094	91,913	1497,500	1870,688
		sıra	1578,965	102,762	1370,347	1787,583
	6,75	çubuk	1698,880	102,762	1490,262	1907,498
		sıra	1339,560	118,660	1098,668	1580,452

Dependent Variable: ÇekmeNDeğeri

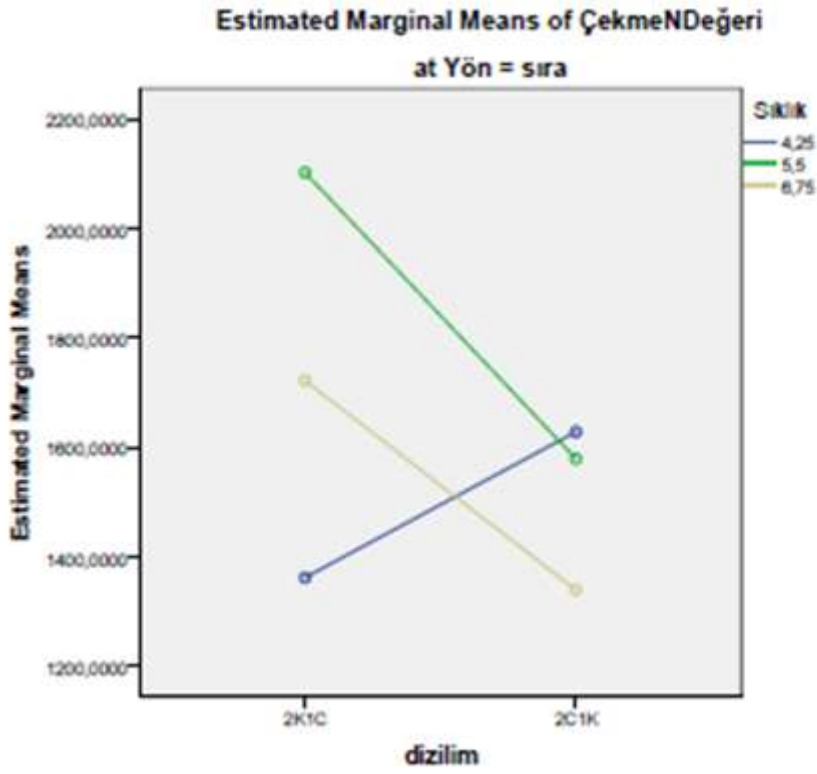
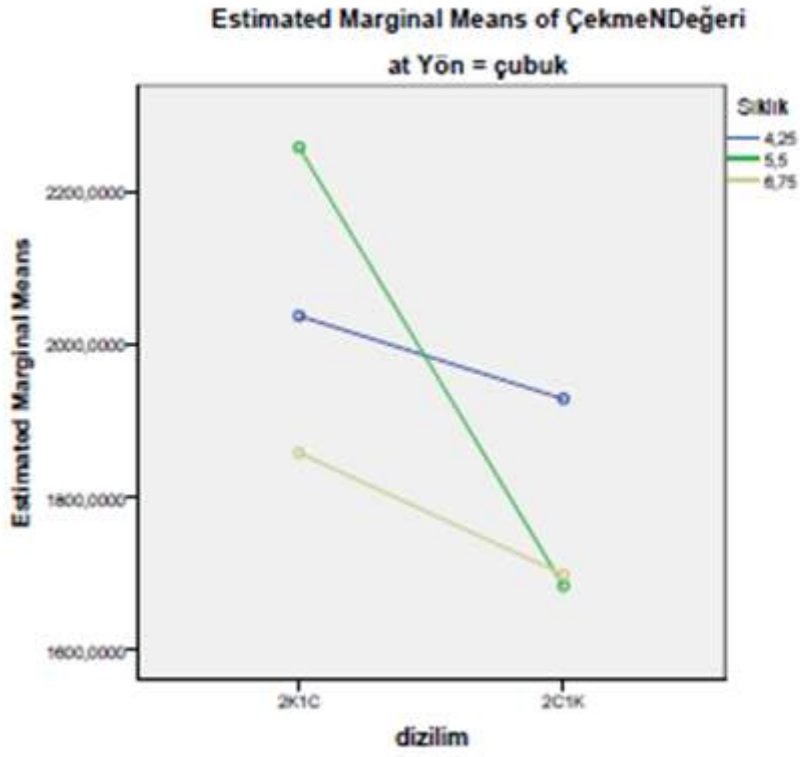


Model: Intercept + dizilim + Sıklık + Yön + dizilim \* Sıklık + dizilim \* Yön + Sıklık \* Yön + dizilim \* Sıklık \* Yön

### Profile Plots

dizilim \* Sıklık \* Yön

EK-1(Devam). Çekme Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı



## EK-2. Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

```
UNIANOVA ÇekmeUzamaDeğeri BY dizilim Sıklık Yön
/METHOD=SSTYPE(3)
/INTERCEPT=INCLUDE
/PLOT=PROFILE(dizilim*Sıklık*Yön)
/EMMEANS=TABLES(dizilim)
/EMMEANS=TABLES(Sıklık)
/EMMEANS=TABLES(Yön)
/EMMEANS=TABLES(dizilim*Sıklık)
/EMMEANS=TABLES(dizilim*Yön)
/EMMEANS=TABLES(Sıklık*Yön)
/EMMEANS=TABLES(dizilim*Sıklık*Yön)
/PRINT=HTASQ DESCRIPTIVE
/PLOT=RESIDUALS
/CRITERIA=ALPHA(.05)
/DESIGN=dizilim Sıklık Yön dizilim*Sıklık dizilim*Yön Sıklık*Yön dizilim*
Sıklık*Yön.
```

### Univariate Analysis of Variance

[DataSet1] C:\Users\meyukse\\Desktop\mehmet1.sav

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
dizilim	1	2K1C	24
	2	2C1K	23
Sıklık	1	4,25	15
	2	5,5	17
	3	6,75	15
Yön	1	çubuk	29
	2	sıra	18



EK-2(Devam). Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: Çekme Uzama Değeri

dağılım	Biklik	Yön	Mean	Std. Deviation	N
2K1C	4,25	çubuk	2,550333	,3847319	6
		sıra	2,063000	,7382195	2
		Total	2,428500	,4842228	8
	5,5	çubuk	3,397167	,3381771	6
		sıra	2,645500	,8959043	2
		Total	3,209250	,5634039	8
	6,75	çubuk	2,029250	,1458295	4
		sıra	2,147000	,1195185	4
		Total	2,088125	,1385552	8
Total	çubuk	2,737625	,6430828	16	
	sıra	2,250625	,5092961	8	
	Total	2,575292	,6353332	24	
2C1K	4,25	çubuk	2,288500	,3713852	4
		sıra	2,309333	,2289199	3
		Total	2,297429	,2942034	7
	5,5	çubuk	2,569200	,2344327	5
		sıra	2,507250	,1797950	4
		Total	2,541667	,2016625	9
	6,75	çubuk	2,732500	,2241555	4
		sıra	2,356000	,0771492	3
		Total	2,571143	,2600144	7
	Total	çubuk	2,533077	,3148051	13
		sıra	2,402500	,1795391	10
		Total	2,476304	,2676248	23
Total	4,25	çubuk	2,445600	,3827402	10
		sıra	2,210800	,4250273	5
		Total	2,367333	,3986382	15
	5,5	çubuk	3,020818	,5158757	11
		sıra	2,553333	,4301412	6
		Total	2,855824	,5264766	17
	6,75	çubuk	2,380875	,4146697	8
		sıra	2,236571	,1469919	7
		Total	2,313533	,3174719	15
	Total	çubuk	2,645931	,5241541	29
		sıra	2,335000	,3604166	18
		Total	2,526851	,4884469	47

## EK-2(Devam). Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:ÇekmeUzamaDeğeri

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	7,210 <sup>a</sup>	11	,655	6,095
Intercept	253,874	1	253,874	2360,540
dizilim	,001	1	,001	,013
Sıklık	2,082	2	1,041	9,681
Yön	,686	1	,686	6,382
dizilim * Sıklık	1,604	2	,802	7,457
dizilim * Yön	,144	1	,144	1,334
Sıklık * Yön	,142	2	,071	,662
dizilim * Sıklık * Yön	,735	2	,367	3,417
Error	3,764	35	,108	
Total	311,069	47		
Corrected Total	10,975	46		

a. R Squared = ,657 (Adjusted R Squared = ,549)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:ÇekmeUzamaDeğeri

Source	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	,000	,657
Intercept	,000	,985
dizilim	,910	,000
Sıklık	,000	,356
Yön	,016	,154
dizilim * Sıklık	,002	,299
dizilim * Yön	,256	,037
Sıklık * Yön	,522	,036
dizilim * Sıklık * Yön	,044	,163

### Estimated Marginal Means

#### 1. dizilim

Dependent Variable:ÇekmeUzamaDeğeri

dizilim	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
2K1C	2,472	,074	2,322	2,622
2C1K	2,460	,069	2,319	2,602

## EK-2(Devam). Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### 2. Sıklık

Dependent Variable: ÇekmeUzamaDeğeri

Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
4,25	2,303	,092	2,117	2,489
5,5	2,780	,087	2,604	2,956
6,75	2,316	,085	2,143	2,489

### 3. Yön

Dependent Variable: ÇekmeUzamaDeğeri

Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
çubuk	2,594	,062	2,469	2,720
sıra	2,338	,080	2,175	2,501

### 4. dizilim \* Sıklık

Dependent Variable: ÇekmeUzamaDeğeri

dizilim	Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	2,307	,134	2,035	2,578
	5,5	3,021	,134	2,750	3,293
	6,75	2,088	,116	1,853	2,324
2C1K	4,25	2,299	,125	2,045	2,553
	5,5	2,538	,110	2,315	2,762
	6,75	2,544	,125	2,290	2,798

### 5. dizilim \* Yön

Dependent Variable: ÇekmeUzamaDeğeri

dizilim	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	çubuk	2,659	,083	2,489	2,828
	sıra	2,285	,122	2,037	2,533
2C1K	çubuk	2,530	,091	2,344	2,716
	sıra	2,391	,105	2,178	2,603

EK-2(Devam). Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

6. Sıklık \* Yön

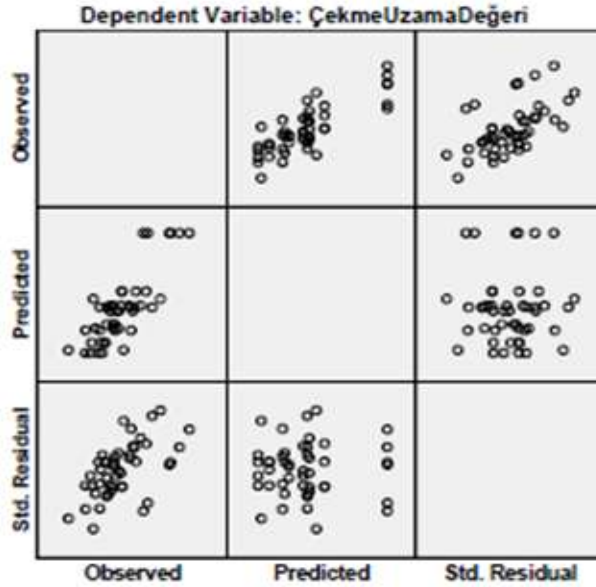
Dependent Variable: ÇekmeUzamaDeğeri

Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
4,25	çubuk	2,419	,106	2,205	2,634
	sıra	2,186	,150	1,892	2,490
5,5	çubuk	2,983	,099	2,782	3,185
	sıra	2,576	,142	2,288	2,865
6,75	çubuk	2,381	,116	2,145	2,616
	sıra	2,251	,125	1,997	2,506

7. dizilim \* Sıklık \* Yön

Dependent Variable: ÇekmeUzamaDeğeri

dizilim	Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	çubuk	2,550	,134	2,279	2,822
		sıra	2,063	,232	1,592	2,534
	5,5	çubuk	3,397	,134	3,125	3,669
		sıra	2,645	,232	2,175	3,116
	6,75	çubuk	2,029	,164	1,696	2,362
		sıra	2,147	,164	1,814	2,480
2C1K	4,25	çubuk	2,288	,164	1,956	2,621
		sıra	2,309	,189	1,925	2,694
	5,5	çubuk	2,569	,147	2,271	2,867
		sıra	2,507	,164	2,174	2,840
	6,75	çubuk	2,733	,164	2,400	3,065
		sıra	2,356	,189	1,972	2,740

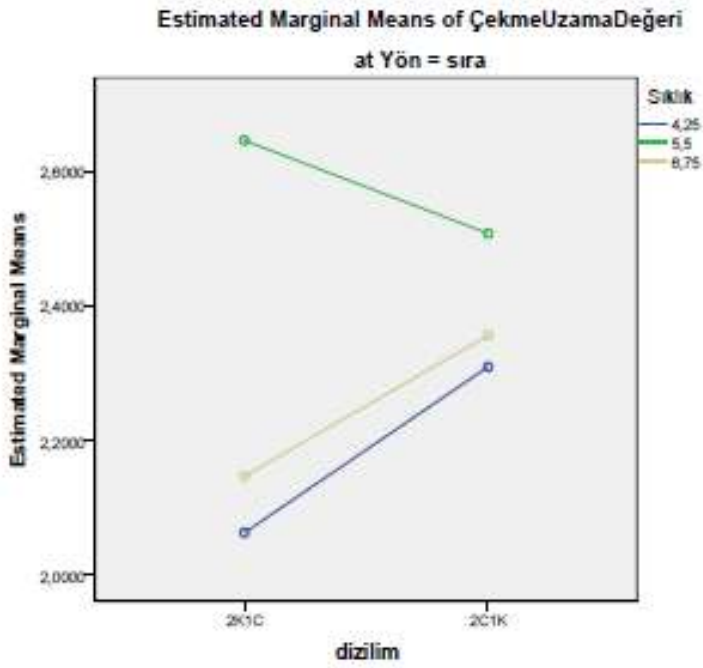
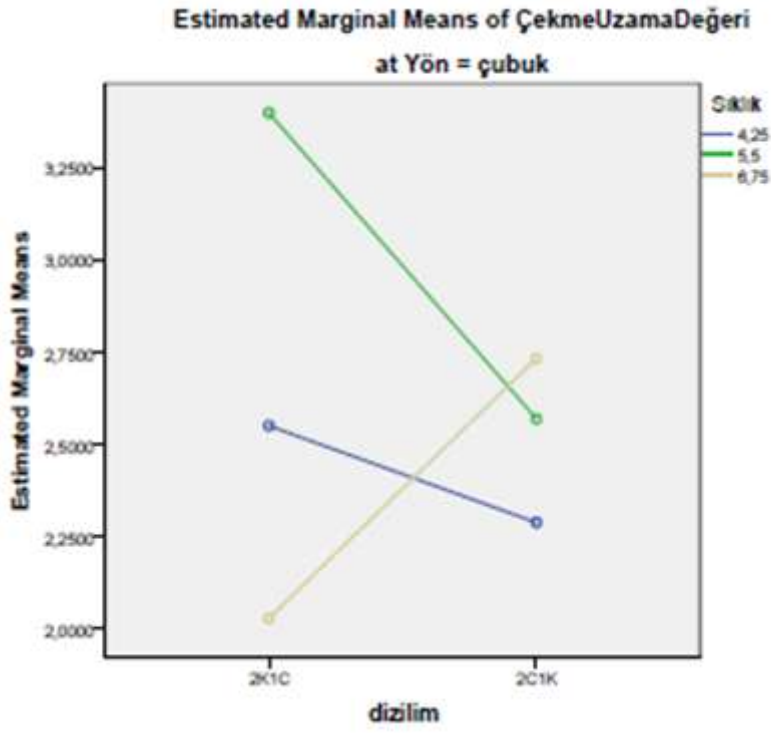


Model: Intercept + dizilim + Sıklık + Yön + dizilim \* Sıklık + dizilim \* Yön + Sıklık \* Yön + dizilim \* Sıklık \* Yön

Profile Plots

dizilim \* Sıklık \* Yön

EK-2(Devam). Çekme Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı



### EK-3 Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

```
UNIANOVA KesmeNDeğeri BY dizilim Sıklık Yön
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /PLOT=PROFILE(dizilim*Sıklık*Yön)
  /EMMEANS=TABLES(dizilim)
  /EMMEANS=TABLES(Sıklık)
  /EMMEANS=TABLES(Yön)
  /EMMEANS=TABLES(dizilim*Sıklık)
  /EMMEANS=TABLES(dizilim*Yön)
  /EMMEANS=TABLES(Sıklık*Yön)
  /EMMEANS=TABLES(dizilim*Sıklık*Yön)
  /PRINT=ETASQ DESCRIPTIVE
  /PLOT=RESIDUALS
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN=dizilim Sıklık Yön dizilim*Sıklık dizilim*Yön Sıklık*Yön dizilim*
Sıklık*Yön.
```

#### Univariate Analysis of Variance

[DataSet1] C:\Users\meyukse\Deskto\mehmet1.sav

##### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
dizilim	1	2K1C	23
	2	2C1K	27
Sıklık	1	4,25	22
	2	5,5	9
	3	6,75	19
Yön	1	çubuk	25
	2	sıra	25

EK-3(Devam). Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: KesmeDeğeri

dtzlim	Sıklık	Yön	Mean	Std. Deviation	N
2K1C	4,25	çubuk	878,306667	154,4510130	6
		sıra	862,421667	209,3604647	6
		Total	870,364167	175,6006828	12
	5,5	çubuk	1161,800000	.	1
		sıra	786,350000	.	1
		Total	974,075000	265,4832410	2
	6,75	çubuk	1010,996000	161,7789085	5
		sıra	677,092500	195,5050740	4
		Total	862,594444	241,6390275	9
	Total	çubuk	957,218333	169,9308390	12
		sıra	788,113636	204,0249260	11
		Total	876,342174	202,0375253	23
2C1K	4,25	çubuk	1050,860000	218,3280711	5
		sıra	699,906000	159,8176668	5
		Total	875,383000	258,3617422	10
	5,5	çubuk	903,310000	68,6752379	3
		sıra	860,075000	63,9704273	4
		Total	878,604286	64,4381848	7
	6,75	çubuk	832,334000	129,2022013	5
		sıra	743,220000	92,8683135	5
		Total	787,777000	116,0096703	10
	Total	çubuk	932,761538	180,1945392	13
		sıra	761,137857	126,6271542	14
		Total	843,771481	175,0422970	27
Total	4,25	çubuk	956,740000	197,7745591	11
		sıra	788,550909	198,3322213	11
		Total	872,645455	211,5797833	22
	5,5	çubuk	967,932500	140,8845706	4
		sıra	845,330000	64,4688824	5
		Total	899,820000	117,0327865	9
	6,75	çubuk	921,665000	167,0870604	10
		sıra	713,830000	140,9265024	9
		Total	823,216842	184,8054132	19
	Total	çubuk	944,500800	172,1209138	25
		sıra	773,007200	161,9145816	25
		Total	858,754000	186,6915093	50

## EK-3(Devam). Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KesmeNDeğeri

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	734225,815 <sup>a</sup>	11	66747,801	2,605
Intercept	26292292,624	1	26292292,624	1026,192
dizilim	19804,647	1	19804,647	,773
Sıklık	68394,491	2	34197,246	1,335
Yön	350537,414	1	350537,414	13,682
dizilim * Sıklık	15888,812	2	7944,406	,310
dizilim * Yön	14047,869	1	14047,869	,548
Sıklık * Yön	2217,330	2	1108,665	,043
dizilim * Sıklık * Yön	265760,603	2	132880,301	5,186
Error	973606,447	38	25621,222	
Total	38580753,888	50		
Corrected Total	1707832,262	49		

a. R Squared = ,430 (Adjusted R Squared = ,265)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KesmeNDeğeri

Source	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	,014	,430
Intercept	,000	,964
dizilim	,385	,020
Sıklık	,275	,066
Yön	,001	,265
dizilim * Sıklık	,735	,016
dizilim * Yön	,464	,014
Sıklık * Yön	,958	,002
dizilim * Sıklık * Yön	,010	,214

## Estimated Marginal Means

### 1. dizilim

Dependent Variable: KesmeNDeğeri

dizilim	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
2K1C	896,161	44,507	806,061	986,261
2C1K	848,284	31,377	784,765	911,804



### EK-3(Devam). Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

#### 2. Sıklık

Dependent Variable: KesmeNDeğerl

Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
4,25	872,874	34,268	803,501	942,246
5,5	927,884	64,318	797,679	1058,088
6,75	815,911	36,893	741,224	890,598

#### 3. Yön

Dependent Variable: KesmeNDeğerl

Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
çubuk	972,934	38,660	894,672	1051,197
sıra	771,511	38,362	693,872	849,150

#### 4. dizilim \* Sıklık

Dependent Variable: KesmeNDeğerl

dizilim	Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	870,364	46,207	776,823	963,906
	5,5	974,075	113,184	744,946	1203,204
	6,75	844,044	53,688	735,359	952,730
2C1K	4,25	875,383	50,617	772,913	977,853
	5,5	881,693	61,126	757,949	1005,436
	6,75	787,777	50,617	685,307	890,247

#### 5. dizilim \* Yön

Dependent Variable: KesmeNDeğerl

dizilim	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	çubuk	1017,034	62,375	890,763	1143,306
	sıra	775,288	63,506	646,728	903,849
2C1K	çubuk	928,835	45,691	836,338	1021,331
	sıra	767,734	43,017	680,651	854,816

### EK-3(Devam). Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

6. Sıklık \* Yön

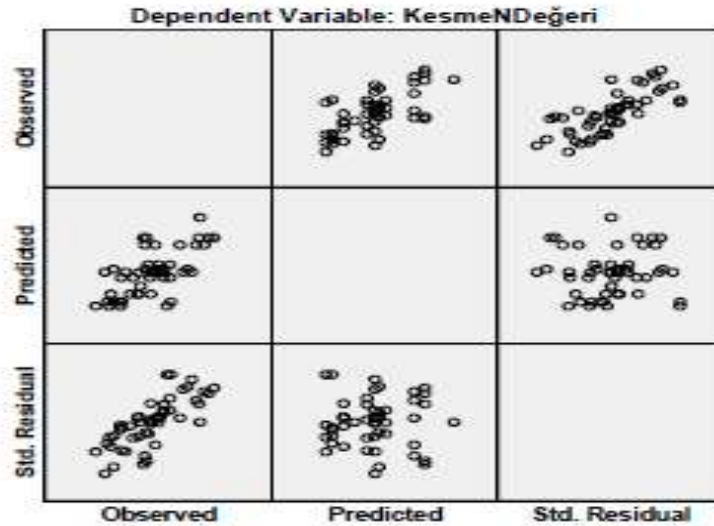
Dependent Variable: KesmeNDeğeri

Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
4,25	çubuk	964,583	48,462	866,476	1062,690
	sıra	781,164	48,462	683,057	879,271
5,5	çubuk	1032,555	92,414	845,472	1219,638
	sıra	823,213	89,480	642,070	1004,355
6,75	çubuk	921,665	50,617	819,195	1024,135
	sıra	710,156	53,688	601,471	818,842

7. dizilim \* Sıklık \* Yön

Dependent Variable: KesmeNDeğeri

dizilim	Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	çubuk	878,307	65,347	746,019	1010,594
		sıra	862,422	65,347	730,134	994,709
	5,5	çubuk	1161,800	160,066	837,763	1485,837
		sıra	786,350	160,066	462,313	1110,387
	6,75	çubuk	1010,996	71,584	866,082	1155,910
		sıra	677,093	80,033	515,074	839,111
2C1K	4,25	çubuk	1050,860	71,584	905,946	1195,774
		sıra	699,906	71,584	554,992	844,820
	5,5	çubuk	903,310	92,414	716,227	1090,393
		sıra	860,075	80,033	698,056	1022,094
	6,75	çubuk	832,334	71,584	687,420	977,248
		sıra	743,220	71,584	598,306	888,134

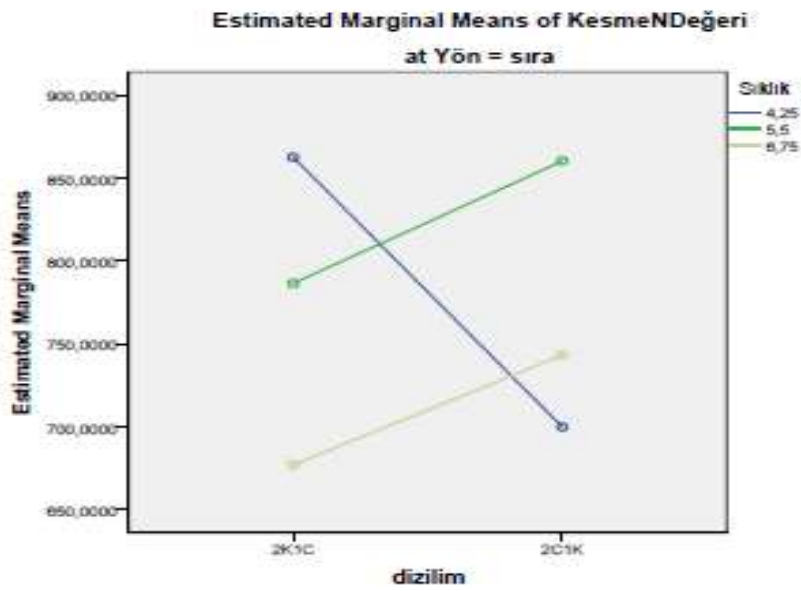
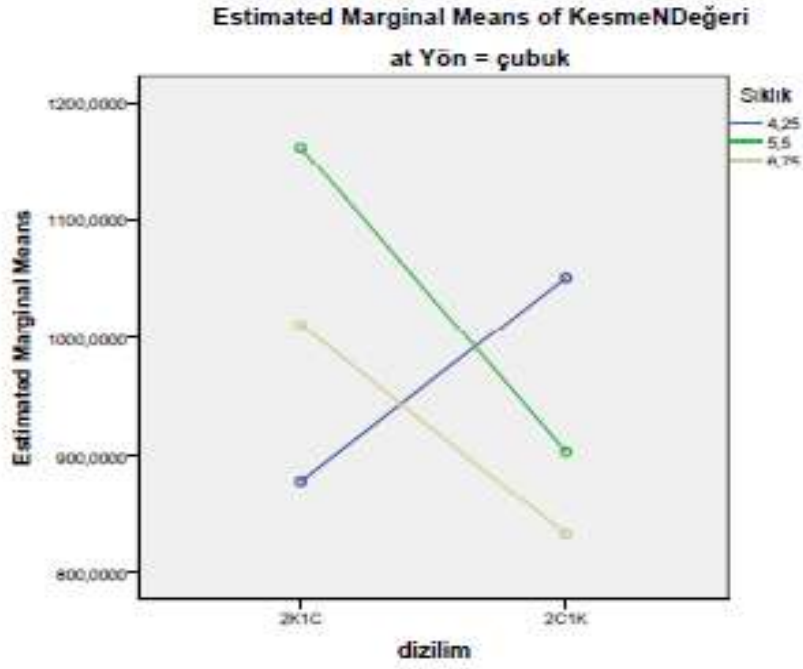


Model: Intercept + dizilim + Sıklık + Yön + dizilim \* Sıklık + dizilim \* Yön + Sıklık \* Yön + dizilim \* Sıklık \* Yön

#### Profile Plots

dizilim \* Sıklık \* Yön

EK-3(Devam). Kayma Dayanımı Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı



#### EK-4. Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

```
UNIANOVA KesmeUzamaDeğeri BY dizilim Sıklık Yön  
/METHOD=SSTYPE(3)  
/INTERCEPT=INCLUDE  
/PLOT=PROFILE (dizilim*Sıklık*Yön)  
/EMMEANS=TABLES (dizilim)  
/EMMEANS=TABLES (Sıklık)  
/EMMEANS=TABLES (Yön)  
/EMMEANS=TABLES (dizilim*Sıklık)  
/EMMEANS=TABLES (dizilim*Yön)  
/EMMEANS=TABLES (Sıklık*Yön)  
/EMMEANS=TABLES (dizilim*Sıklık*Yön)  
/PRINT=ETASQ DESCRIPTIVE  
/PLOT=RESIDUALS  
/CRITERIA=ALPHA(.05)  
/DESIGN=dizilim Sıklık Yön dizilim*Sıklık dizilim*Yön Sıklık*Yön dizilim*  
Sıklık*Yön.
```

#### Univariate Analysis of Variance

[DataSet1] C:\Users\meyukseki\Desktop\mahmet1.sav

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
dizilim	1	2K1C	23
	2	2C1K	27
Sıklık	1	4,25	22
	2	5,5	9
	3	6,75	19
Yön	1	çubuk	25
	2	çıra	25

EK-4(Devam). Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

**Descriptive Statistics**  
Dependent Variable: KesmeUzamaDejeri

dizilim	Bıklık	Yön	Mean	Std. Deviation	N	
2K1C	4,25	çubuk	1,659600	,2446428	6	
		sıra	1,653567	,3659255	6	
		Total	1,656583	,2967808	12	
	5,5	çubuk	2,586000	.	1	
		sıra	1,046600	.	1	
		Total	1,816300	1,0885202	2	
	6,75	çubuk	1,493660	,3852147	5	
		sıra	1,083075	,1720122	4	
		Total	1,311178	,3634811	9	
	Total	çubuk	1,667658	,4142825	12	
		sıra	1,390936	,4086321	11	
		Total	1,535313	,4262525	23	
2C1K	4,25	çubuk	1,542420	,4720623	5	
		sıra	1,168160	,3836523	5	
		Total	1,355290	,4509624	10	
	5,5	çubuk	1,505967	,0747558	3	
		sıra	1,736025	,2171540	4	
		Total	1,637429	,2014018	7	
	6,75	çubuk	1,392800	,1748091	5	
		sıra	1,587960	,1270005	5	
		Total	1,490380	,1770022	10	
	Total	çubuk	1,476462	,3005746	13	
		sıra	1,480336	,3509801	14	
		Total	1,478470	,3213957	27	
	Total	4,25	çubuk	1,606336	,3504383	11
			sıra	1,432927	,4359888	11
			Total	1,519632	,3960713	22
5,5		çubuk	1,775975	,5434553	4	
		sıra	1,596140	,3611485	5	
		Total	1,677178	,4298288	9	
6,75		çubuk	1,443230	,2869816	10	
		sıra	1,363567	,2999469	9	
		Total	1,405495	,2878110	19	
Total		çubuk	1,568236	,3651588	25	
		sıra	1,441000	,3719580	25	
		Total	1,504618	,3704110	50	

## EK-4(Devam). Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	3,252 <sup>a</sup>	11	,296	3,237
Intercept	81,748	1	81,748	895,070
dizilim	,083	1	,083	,912
Sıklık	,520	2	,260	2,844
Yön	,871	1	,871	9,537
dizilim * Sıklık	,662	2	,331	3,622
dizilim * Yön	,967	1	,967	10,585
Sıklık * Yön	,357	2	,178	1,953
dizilim * Sıklık * Yön	1,555	2	,777	8,511
Error	3,471	38	,091	
Total	119,917	50		
Corrected Total	6,723	49		

a. R Squared = ,484 (Adjusted R Squared = ,334)

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

Source	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	,003	,484
Intercept	,000	,959
dizilim	,346	,023
Sıklık	,071	,130
Yön	,004	,201
dizilim * Sıklık	,036	,160
dizilim * Yön	,002	,218
Sıklık * Yön	,156	,093
dizilim * Sıklık * Yön	,001	,309

## Estimated Marginal Means

### 1. dizilim

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

dizilim	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
2K1C	1,587	,084	1,417	1,757
2C1K	1,489	,059	1,369	1,609

## EK-4(Devam). Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

### 2. Sıklık

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
4,25	1,506	,065	1,375	1,637
5,5	1,719	,121	1,473	1,964
6,75	1,389	,070	1,248	1,530

### 3. Yön

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
çubuk	1,697	,073	1,549	1,845
sıra	1,379	,072	1,233	1,526

### 4. dizilim \* Sıklık

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

dizilim	Sıklık	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	1,657	,087	1,480	1,833
	5,5	1,816	,214	1,384	2,249
	6,75	1,288	,101	1,083	1,494
2C1K	4,25	1,355	,096	1,162	1,549
	5,5	1,621	,115	1,387	1,855
	6,75	1,490	,096	1,297	1,684

### 5. dizilim \* Yön

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

dizilim	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2K1C	çubuk	1,913	,118	1,675	2,151
	sıra	1,251	,120	1,018	1,504
2C1K	çubuk	1,480	,086	1,306	1,655
	sıra	1,497	,081	1,333	1,662

EK-4(Devam). Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı

6. Sıklık \* Yön

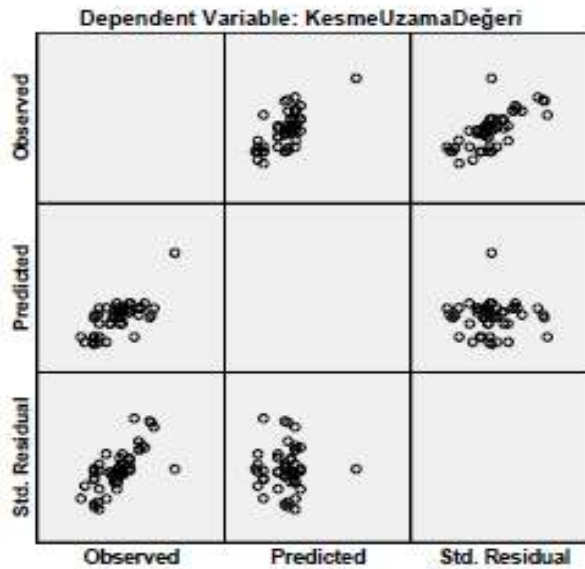
Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
4,25	çubuk	1,601	,091	1,416	1,786
	sıra	1,411	,091	1,226	1,596
5,5	çubuk	2,046	,174	1,693	2,399
	sıra	1,391	,169	1,049	1,733
6,75	çubuk	1,443	,096	1,250	1,637
	sıra	1,336	,101	1,130	1,541

7. dizilim \* Sıklık \* Yön

Dependent Variable: KesmeUzamaDeğeri

dizilim	Sıklık	Yön	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2K1C	4,25	çubuk	1,660	,123	1,410	1,909
		sıra	1,654	,123	1,404	1,903
	5,5	çubuk	2,586	,302	1,974	3,198
		sıra	1,047	,302	,435	1,658
	6,75	çubuk	1,494	,135	1,220	1,767
		sıra	1,083	,151	,777	1,389
2C1K	4,25	çubuk	1,542	,135	1,269	1,816
		sıra	1,168	,135	,895	1,442
	5,5	çubuk	1,506	,174	1,153	1,859
		sıra	1,736	,151	1,430	2,042
	6,75	çubuk	1,393	,135	1,119	1,666
		sıra	1,588	,135	1,314	1,862



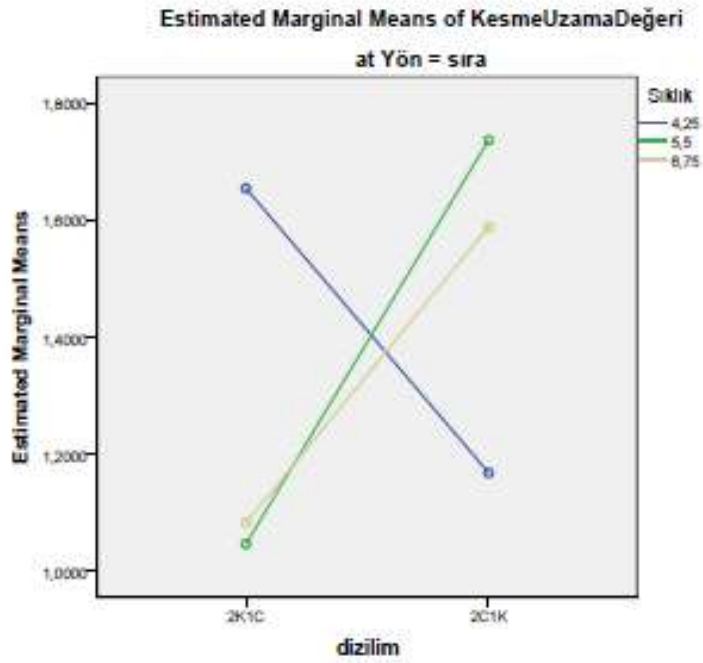
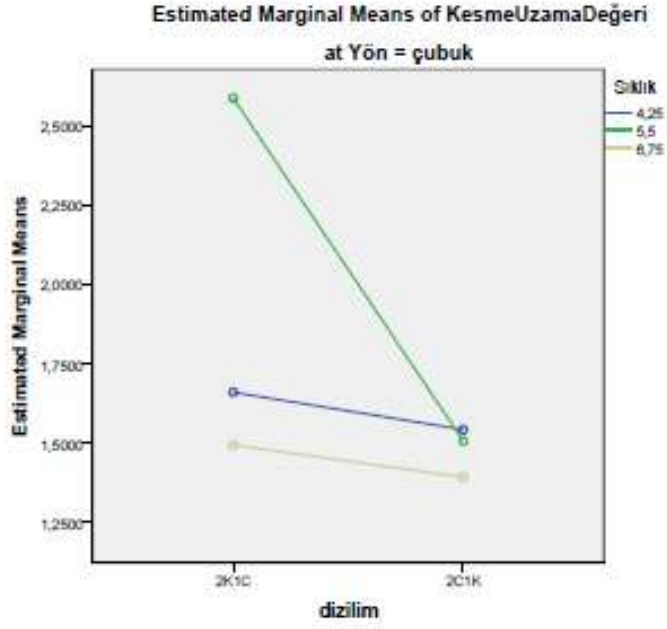
Model: Intercept + dizilim + Sıklık + Yön + dizilim \* Sıklık + dizilim \* Yön + Sıklık \* Yön + dizilim \* Sıklık \* Yön

Profile Plots

dizilim \* Sıklık \* Yön



EK-4(Devam). Kayma Uzaması Varyans Analizi SPSS Program Çıktısı



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SEVENCAN, Gül

Uyruğu: T.C.

Doğum tarihi ve yeri: 27.06.1986 Lüleburgaz

Medeni hali: Bekar

Cep telefon: 0 (543) 814 47 97

Ev telefon: 0 (288) 412 51 79

e-mail : gul\_sevencan@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/Tekstil Mühendisliği	-
Lisans	Uşak Üniversitesi/Tekstil Mühendisliği	2009
Lise	Lüleburgaz Anadolu Lisesi	2004

### İş ve Staj Deneyimi

2006 : Zorlu Linen Dokuma Emprime Konfeksiyon San. Ve Tic. A.Ş

Dokuma Bölümü Stajı

2007: Zorlu Linen Dokuma Emprime Konfeksiyon San. Ve Tic. A.Ş

Terbiye Bölümü Stajı

2008: Şahinler Holding Bilkont Dış Ticaret ve Tekstil Sanayi A.Ş.

İplik, Örme Bölümleri Stajı

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Yayımlar

-

### Hobiler

Teknolojik gelişmeler, sinema.