

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜZ ÖRME MAKİNELERİNDE ÜRETİLEBİLEN**  
**ÖRME KUMAŞ TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN**  
**MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR**  
**ARAŞTIRMA**

**Gülşah PAMUK**

**Eylül, 2009**

**İZMİR**

**DÜZ ÖRME MAKİNELERİNDE ÜRETİLEBİLEN  
ÖRME KUMAŞ TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN  
MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR  
ARAŞTIRMA**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Gülşah PAMUK**

**Eylül, 2009**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÜLŞAH PAMUK, tarafından PROF. DR. FATMA ÇEKEN yönetiminde hazırlanan “DÜZ ÖRME MAKİNELERİNDE ÜRETİLEBİLEN ÖRME KUMAŞ TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



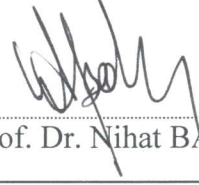
Prof. Dr. Fatma ÇEKEN

Danışman



Prof. Dr. Arif KURBAK

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Nihat BADEM

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Ramazan KARAKUZU

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Gabil ABDULLA

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde bu konuyu seçmemi sağlayan ve çalışmalarım süresince benden bilgi ve yardımlarını hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatma Çeken'e çok teşekkür ederim. Ayrıca doktora çalışmam boyunca, bilimsel katkılarından dolayı tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Arif Kurbak'a ve Sayın Prof. Dr. Nihat Badem'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında deney materyallerimin oluşturulmasına yardımcı olan Erteks Triko Örme Tekstil ve Makine Sanayi ve İzoreel Kompozit İzole Malzemeler Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi firmaları çalışanlarına teşekkür ederim. Tez projemizi destekleyen (Proje No: 2008 – KB – 03) Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü'ne ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca her türlü sorumu hiç bıkmadan cevaplayan, deneylerimin yapılması sırasında benden her türlü yardımlarını ve bilgi birikimlerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Onur Sayman'a, Sayın Prof. Dr. Ramazan Karkuzu'ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent Murat İçten'e, Sayın Arş. Gör. Mehmet Emin Deniz'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün eğitim hayatım boyunca yardımlarını ve desteklerini benden hiç esirgemeyen anneme ve babama; her zaman yanımda olan, bilgi ve yardımlarıyla bana destek olan eşim Yrd. Doç. Dr. Oktay Pamuk'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gülşah Pamuk

# **DÜZ ÖRME MAKİNELERİNDE ÜRETİLEBİLEN ÖRME KUMAŞ TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

## **ÖZ**

Düz örme makinelerinde, teknik tekstillerin örülebilirliği alanında yapılan geçmiş yıllardaki çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla yüksek mekaniksel özellikler gerektirmeyen bandaj, çorap gibi tıbbi tekstil ürünleri ile şekil verilebilir üretim tekniği avantajından yararlanarak T boru bağlantıları gibi üretimler dikkat çekmektedir. Son yıllarda ise teknik tekstiller alanında önemi gittikçe artan tekstil takviyeli kompozitler ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu el örme makinelerinde gerçekleşmiştir. Bu çalışmanın bir amacı, kompozit preformlarının, seri üretim yapabilen sanayi tipi elektronik düz örme makinelerinde örülebilirliğini araştırmak olmuştur.

Bu çalışmada cam, keten, pamuk ve polyester iplikleri kullanılarak sanayi tipi düz örgü makinesinde tek askılı ve çift askılı spacer örme kumaş preformlar üretilmiştir. Örülen preformlar daha sonra matris materyali ile bir araya getirilerek kompozit elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mekaniksel özelliklerinin tayini amacıyla çekme mukavemeti, bası mukavemeti ve darbe mukavemeti testleri uygulanmıştır.

Bu amaçla, öncelikle kompozit takviyesindeki preformlarda oldukça fazla tercih bulan cam ve tekstil endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan polyester iplikleri kullanılmıştır. Cam ve polyester ipliklerden örülen tek askılı ve çift askılı spacer kumaş preformlar epoksi reçine ile bir araya getirilerek termoset kompozit elde edilmiştir.

Daha sonra, kompozitlerin en fazla kullanıldığı materyaller olan otomobillerde büyük önem taşıyan ekolojik kompozitler üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla pamuk ve keten iplikleri sanayi tipi düz örme makinesinde tek askılı ve çift askılı spacer örgü preform haline getirildikten sonra epoksi, vinilester veya polilaktik asit reçine ile bir

araya getirilerek kompozitler elde edilmiştir. Vinilester ve epoksinin reçine olarak tercih edilmesinin amacı, bu termoset matriks malzemelerinin sanayide yaygın olarak kullanılmasıdır. Fakat bu reçine maddeleri, doğada tamamen çözülemezler. Dolayısıyla çalışmada ikinci amacı olan, doğada çözülebilen kompozit üretmek için polilaktik asit kullanılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** düz örme makineleri, örülebilirlik, teknik tekstiller, spacer örme kumaş, preform, kompozit, ekolojik kompozitler.

# **AN INVESTIGATION ABOUT THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE KNITTED FABRIC REINFORCED COMPOSITES THAT PRODUCED ON FLAT KNITTING MACHINES**

## **ABSTRACT**

If the researches about the knittability of technical textiles in flat knitting machines done in the past years are investigated, the materials, in which high mechanical properties are not required, are noticed. These materials are medical textiles like bandage and compression hosiery and the fully fashioned materials like T pipes. On the other hand, in recent years, the studies about textile reinforced composites in the area of technical textiles are increased. Great majority of them are knitted on hand knitting machines. An aim of this study is to investigate the knittability of preforms which will be used for textile reinforced composites on industrial rapid flat knitting machines.

In this study, glass, flax, cotton and polyester yarns are used to produce spacer knitted fabric preforms, in which single and double tuck stitches are used, on industrial type flat knitting machine. After that, the knitted preforms are processed with matrix materials to obtain composites. Tensile strength, compression strength and impact strength tests were applied to the composites to determine the mechanical properties.

For this aim, firstly, glass yarn, which is very popular in composite reinforcement, and the polyester yarn, which is used very widespread in textile industry is used. The single and double tuck stitched spacer fabric preforms which are knitted from glass and polyester yarns are made into thermoset composites with epoxy resin.

Later on, ecological composites are studied which gain importance in automobiles that are the leaders in using composites. For this purpose, after the cotton and flax yarns are knitted into single and double tuck stitched spacer preforms, they are made into composites with epoxy, vinylester or polylactic acid. The aim of choosing epoxy

or vinylester thermoset resins was their common usage. But these resin materials are not biodegradable. For this reason, by using polylactic acid, a 100% recyclable and biodegradable composite is produced and second aim of the study is performed.

**Keywords:** flat knitting machines, knittability, technical textiles, perform, spacer knitted fabric, composite, ecological composite.



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Düz Örme Makinelerinde Üretilen Teknik Tekstiller .....	3
1.2 Kompozit Materyaller .....	6
1.2.1 Kompozit Materyalin Tanımı.....	6
1.2.2 Kompozit Materyallerin Sınıflandırılması .....	7
1.2.3 Matriks Malzemeleri .....	9
1.2.3.1 Termoset Matriks Malzemeler .....	10
1.2.3.2 Termoplastik Matriks Malzemeler:.....	12
1.2.4 Kompozit Oluşturma Teknikleri .....	13
1.3 Tekstil Takviyeli Kompozit Materyaller.....	15
1.3.1 Tekstil Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Lifler .....	17
1.3.1.1 Cam Lifleri .....	17
1.3.1.2 Polyester Lifleri.....	19
1.3.1.3 Keten Lifleri .....	20
1.3.1.4 Pamuk Lifleri .....	22
1.3.2 Tekstil Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Preformlar .....	23
1.3.2.1 Dokuma, braiding, dokusuz yüzey preformlar.....	23
1.3.2.2 Örme preformlar .....	25
1.3.2.1 Spacer Kumaşlar .....	29
1.4 Ekolojik Kompozitler .....	32
1.5 Kompozit Materyallere Uygulanan Mekaniksel Testler .....	35
1.5.1 Çekme Mukavemeti Testi .....	35
1.5.2 Bası Mukavemeti Testi .....	41
1.5.3 Darbe Mukavemeti Testi.....	46

<b>BÖLÜM İKİ-DÜZ ÖRME MAKİNESİNDE ÖRÜLMÜŞ KUMAŞ</b>	
<b>TAKVİYELİ KOMPOZİTLER İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>48</b>
2.1 Cam Örme Kumaş Takviyeli Kompozitler İle İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	48
2.2 Ekolojik Kompozitler İle İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	55
2.3 Amaç .....	63
<b>BÖLÜM ÜÇ-MATERYAL ve METOT.....</b>	<b>66</b>
3.1 Materyal .....	66
3.1.1 Örme Preformların Üretimi.....	68
3.1.1.1 Örme Makinesi Özellikleri.....	68
3.1.1.2 Makine Ayar Parametreleri.....	69
3.1.2 Termoset Kompozitlerin Üretimi.....	76
3.1.3 %100 Doğal Termoplastik Kompozitlerin Üretimi .....	77
3.2 Metot .....	77
3.2.1 Çekme Mukavemeti Testleri.....	78
3.2.2 Bası Mukavemeti Testleri .....	82
3.2.3 Darbe Mukavemeti Testleri .....	85
<b>BÖLÜM DÖRT-DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>86</b>
4.1 Çekme Mukavemeti Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	86
4.2 Bası Mukavemeti Testi Sonuçları .....	110
4.3 Darbe Mukavemeti Testi Sonuçları .....	128
<b>BÖLÜM BEŞ-SONUÇLAR .....</b>	<b>136</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>141</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Teknik tekstiller, estetik ve dekoratif karakteristiklerinden çok, teknik performansları ve fonksiyonel özellikleri için üretilen tekstil malzemeleri ve mamulleri olarak tanımlanırlar. Kullanım alanları, dış ipliği ve damar protezlerine; hava filtrelerinden ısı ve alev bariyerlerine, oto koltuk kılıflarından yük taşıyıcı kompozit malzemelere kadar çok geniş bir alana yayılmıştır.

2002 ve 2010 yılları arasında, pazarda yıllık %4 oranında bir büyüme tahmin edilmektedir. Sonuç olarak, 2010 yılına kadar teknik tekstiller ve endüstriyel dokusuz yüzeyler sektöründeki elyaf tüketimi, 2000 yılındaki 16,7 milyon tondan 23.8 milyon tona ve 90 milyar ABD dolarından 126 milyar ABD doları değerine ulaşacaktır (Anand, 2003, a).

Teknik tekstillerin, gelecek yıllarda büyüme kaydedeceği başlıca alanlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Otomotiv ve diğer taşıma vasıtaları
2. Tıbbi, hijyen ve sağlık bakım ürünleri
3. Jeotekstiller, inşaat mühendisliği, yapı ve inşaat işleri
4. Spor ve günlük giyim
5. Çevre koruma; filtreleme ve temizlik
6. Güvenlik ve koruma (Anand, 2003, a).

Tablo 1.1, 1995 ve 2000 yılları arasında Batı Avrupa'da teknik tekstiller sektöründeki elyaf tüketimini ve farklı teknolojilerin üretimdeki paylarını göstermektedir. Tablo 1.1'den, atkı örmenin, 1995'den 2000 yılına kadar toplam %40,5'lik gibi önemli büyüme kaydettiği açık bir şekilde görülmektedir. Teknik tekstillerin son derece geniş ürün gamı içinde, hem atkılı hem de çözümlü örme teknolojilerinin önemli aktörler olmaya başladıklarına şüphe yoktur.

Tablo 1.1 1995-2000 yılları arasında Batı Avrupa'daki ana teknik ürünlerde lif tüketimi  
(Anand, 2003, a)

000 ton	1995	2000	% Değişim
Lastikler	91	93	2,2
Mekanik kauçuk	57	45	-21,0
Diğer dokuma kumaşlar	217	265	22,0
Dar kumaşlar	13	16	23,1
Çözümlü örme	21	26	23,8
Atkı örme	37	52	40,5
Dikiş ipliği	41	20	-51,2
Halatlar ve ağlar	53	77	45,3
Diğer prosesler	6	12	100
Dokusuz yüzeyler	501	597	19,2
<b>Toplam</b>	<b>980</b>	<b>1203</b>	<b>18,5</b>

Dünyada her yıl imal edilen 45.000.000 otomobilin her birinde, yaklaşık olarak 20 kg teknik tekstil kullanan otomotiv endüstrisi, en büyük teknik tekstil kullanıcısıdır. Bu sektörde, her yıl, bir milyon tondan fazla tekstil tüketildiği tahmin edilmektedir.

Teknik tekstillerin diğer kullanım alanlarından biri olan tıbbi tekstillerde çözgümlü ve atkı örme teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeotekstillerde ise çözgümlü örme, ağ ve ızgara şekilli yapılardan, tek eksenli, iki eksenli, üç eksenli, çok eksenli yapılar yanında kompozit ve spacer materyallerin üretimi de iyi bilinen teknolojilerdir. Örme teknolojisi ve örme yapıların dünya pazarlarında başarısına ve genişlemesine büyük katkıda bulunan bir alan da, kısaca spor giyim olarak bilinen fonksiyonel ve performans tekstilleridir. Bu alanda yaygın olarak yuvarlak örme teknolojisi kullanılmaktadır (Anand, 2003, a).

Başlangıçta sadece giysi ihtiyacında triko mamulleri üretmek için kullanılan düz örme makinelerinin, teknik tekstillerin önem kazanmasıyla bu alanda kullanımı için araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Önceleri çok fazla mekaniksel özellikler gerektirmeyen bandajlar, başlıklar, çoraplar gibi tıbbi tekstil ürünleri düz örme makinelerinde üretilmiştir. Bu alanda, düz örme makinelerinde fully fashion tekniğinin (net şekilli örme) uygulanabilmesi önem kazanmıştır. Daha sonraları, diğer alanlarda da ürün araştırmalarına yönelinmiştir. Son yıllarda teknik alanda

oldukça önem kazanan kompozit preformların düz el örme makinelerinde araştırma denemelerine başlanmıştır. Diğer teknik tekstil yapılarına göre oldukça yüksek mekaniksel özellikler beklenen kompozitlerde, farklı örgü yapılarındaki kumaşların diğer preformlarla karşılaştırılması çalışmalarına başlanmıştır. Bölüm 1.1’de şimdiye kadar üretilen teknik tekstil ürünlerine örnekler verilmiştir.

### **1.1 Düz Örme Makinelerinde Üretilen Teknik Tekstiller**

Sürekli büyüyen teknik tekstiller pazarı çok fazla sayıda uygulamayı kapsamaktadır. Koruyucu giysiler, taşımacılık tekstilleri, jeotekstiller, konstrüksiyon tekstilleri, paketleme materyalleri ve medikal tekstiller şundaki uygulamalardan sadece birkaç tanesidir.

Bir çok yıldır, teknik tekstiller çok yüksek modüle sahip, inanılmaz yüksek yapısal stabilite ve yüksek mukavemet gösteren yapılar olarak kabul edilmekteydi. Yeni kullanım alanlarının geliştirilmesiyle, tasarımcılar her teknik ürünün çok farklı özellikler gerektirdiğini gözlemlemişlerdir.

Bazı son kullanım alanlarında örme kumaşların kabul edilmesine rağmen, V yataklı düz örme makinelerinde üretilen örme kumaşlar, daha yüksek üretim maliyetlerine sahip oldukları ve bu yapıların genellikle yuvarlak örme makineleri gibi seri üretim yapan makinelerde üretilebilmeleri, düz örme makinelerinin kabul görmemesine neden oluyordu (Raz, 1991).

Ancak yeni jenerasyon bilgisayar kontrollü elektronik düz örme makinelerinin geliştirilmesi, bu eğilimi değiştirmiş ve düz örme makinelerinin teknik tekstillerde kullanımı için yeni bir çığır açmıştır. Düz örme makinelerinde üretilen teknik tekstillerin avantajları şu açılardan öne çıkmaktadır:

1. Esneme miktarının kontrol edilebilmesi: Dokuma ve dokusuz yüzey gibi diğer yapılardan farklı olarak ilmek yapısının elastik özelliği kullanılabilir. Uygun bir tasarım ve uygun materyalin kullanılması ile üretilen yapı, her iki

yönde de stabil olabilir, bir yönde stabil diğer yönde elastik olabilir veya her iki yönde de elastik olabilir (Raz, 1991).

2. Son kullanıma uygun net şekilli ürünlerin örülebilirliği: Bir çok durumda, bir teknik tekstil uygulamasında en büyük ekonomik dezavantaj, üretilecek kumaşın çok pahalı bir iplikten yüksek materyal telefi ile üretilmesidir. Oysa ki; V yataklı düz örme makinelerinde hiçbir kesim veya dikim işlemi gerektirmeyen net şekilli veya net şekle yakın ürünler üretilebilir. Bu da materyal telefinin minimuma indirilmesi ve dikiş dezavantajının önlenmesi ile avantaj sağlar (Raz, 1991).
3. Dokuma veya çözümlü örmede olduğu gibi, çözgü hazırlama veya haşılama gibi ön hazırlık işlemlerine gerek duyulmaz (Legner, 2005). Bir tek bobinlenmiş iplikte bile, kısa sürede örgü numunesi oluşturulabilir.
4. Örucü kamları taşıyan kafanın yataklar üzerinde gidip gelerek kesikli çalışması, üretim süresi açısından diğer makinelere göre dezavantaj görülse de, bazı açılardan avantaj yaratır. Örme hızının kolayca kontrolünü sağlar. Böylece, diğer makinelerde güçlkle örülebilen, örneğin cam iplik gibi, materyallerin örülebilirliği kolaylaşır.

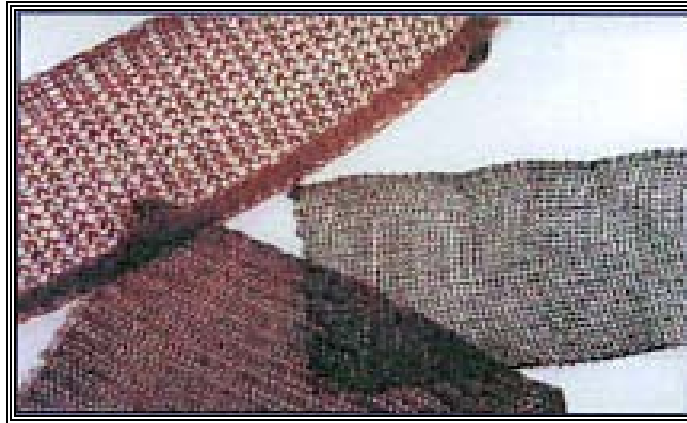
Düz örme makinelerinin teknik uygulamalarda kullanımında çok fazla sınırlamalar olmamasına rağmen, en çok döşemelik (Şekil 1.1) ve destek kumaşları, medikal tekstiller (Şekil 1.2), sıklıkla ortopedik sargı ve basınçlı giysiler, bazı metalik ve tel örgü ağ uygulamaları (Şekil 1.3) ve kompozit ürünler için tekstil takviye kumaşları, temel kullanım alanlarıdır (Legner, 2005).



Şekil 1.1 Döşemelik kumaş



Şekil 1.2 Medikal tekstiller



Şekil 1.3 Örölmüş metalik iplikler

## 1.2 Kompozit Materyaller

### 1.2.1 Kompozit Materyalin Tanımı

Çeşitli uygulamalar için kullanılan ürünlerin tasarımı ve üretimi için, 50.000'den fazla materyal mevcuttur (Mazumdar, 2002). Tüm bu mühendislik materyalleri, sertlik, mukavemet, yoğunluk ve erime derecesi gibi ana özelliklerine göre dört sınıfa ayrılır: Metaller, polimerler, seramikler ve kompozitler (Horrocks ve Anand, 2004). Tablo 1.2'de bazı mühendislik materyallerinin önemli özellikleri verilmiştir.

Kompozit materyal terimindeki kompozit kelimesi, iki ya da daha fazla materyalin üçüncü kullanışlı bir materyal meydana getirmek için makroskobik ölçekte bir araya getirildiğini belirtir. İyi tasarlandıkları takdirde kompozitlerin avantajı; çoğunlukla bileşenlerinin en iyi özelliklerini ve hatta bazen hiçbir bileşenin sahip olmadığı özellikleri göstermesidir (Jones, 1999).

Kompozit materyaller uzun zamandır teknolojik problemleri çözmek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu materyaller, ilk 1960'larda polimer bazlı kompozitlerin takdimi ile endüstrilerin dikkatini çekmeye başlamıştır. O zamandan beri, kompozit materyaller yaygın mühendislik materyali haline gelmişlerdir ve otomobil parçaları, spor malzemeleri, havacılık endüstrisi, denizcilik ve petrol endüstrileri dahil olmak üzere bir çok uygulama için tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Kompozit kullanımındaki büyümenin bir diğer nedeni ise, ürün performansının farkındalığının artması ve düşük ağırlıklı bileşenler için global pazardaki artan yarışdır. Tüm materyallerin arasında, kompozit materyallerin, yaygın olarak kullanılan çelik ve alüminyumun yerine geçme ve hatta çoğu zaman daha iyi performans gösterme potansiyeli vardır. Çelik bileşenlerin kompozit bileşenler ile yer değiştirilmesi, bileşen ağırlığında %60-80 arasında kazanç sağlarken, bu durum alüminyum kısımlarda %20-30'dur (Mazumdar, 2002).



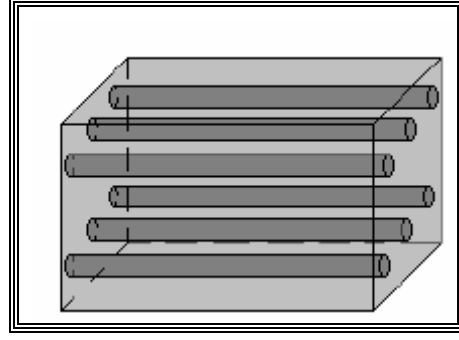
Tablo 1.2 Bazı mühendislik materyallerinin tipik özellikleri (Mazumdar, 2002)

Materyal	Çekme modülü (E) (GPa)	Çekme mukavemeti ( $\sigma$ ) (GPa)	Spesifik modül (E/ $\rho$ )	Spesifik mukavemet ( $\sigma/\rho$ )	Maksimum hizmet sıcaklığı (°C)
<i>Metaller</i>					
Dökme demir (derece 20)	100	0,14	14,30	0,020	230-300
Çelik, AISI 1045	205	0,57	26,30	0,073	500-650
Alüminyum (2024-T4)	73	0,45	27,00	0,037	150-250
Alüminyum (6061-T6)	69	0,27	25,50	0,100	150-250
<i>Plastikler</i>					
Naylon 6,6	2,9	0,082	2,52	0,071	75-100
Polipropilen	1,4	0,033	1,55	0,037	50-80
Epoksi	3,5	0,069	2,80	0,055	80-215
Phenolik	3,0	0,006	2,22	0,004	70-120
<i>Seramikler</i>					
Alumina	350	0,17	92,10	0,045	1425-1540
MgO	205	0,06	56,90	0,017	900-1000
<i>Kısa lif takviyeli kompozitler</i>					
Cam-epoksi (%35)	25,0	0,30	8,26	0,160	80-200
Cam-poliester (%35)	15,7	0,13	7,25	0,065	80-125
Cam-naylon (%35)	14,5	0,20	8,95	0,120	75-110
Cam-naylon (%60)	21,8	0,29	11,18	0,149	75-110
<i>Tek yönlü kompozitler</i>					
S-cam/ epoksi (%45)	39,5	0,87	21,8	0,48	80-215
Karbon/epoksi (%61)	142	1,73	89,3	1,08	80-215
Kevlar/epoksi (%53)	63,6	1,10	47,1	0,81	80-215

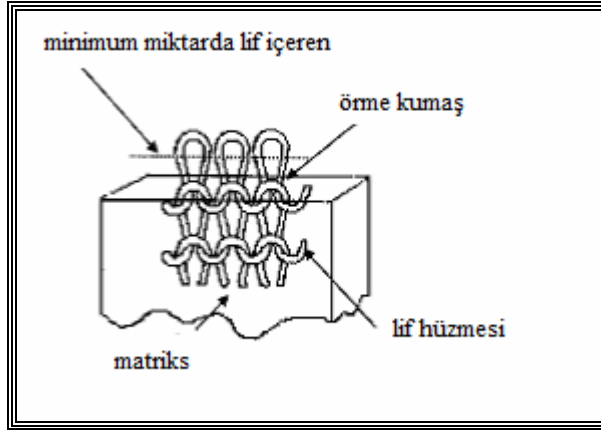
### 1.2.2 Kompozit Materyallerin Sınıflandırılması

Kompozit materyallerin en çok kabul gören sınıflandırmalarından biri aşağıdaki gibidir:

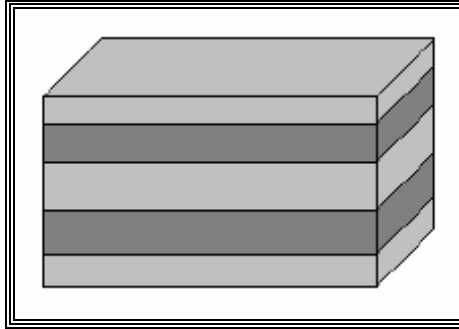
- i. matriksin içinde lif içeren *lif takviyeli kompozit materyaller* (Şekil 1.4 ve Şekil 1.5)
- ii. çeşitli materyal katlarından oluşan *tabakalı kompozitler* (Şekil 1.6)
- iii. matriks içerisinde partiküller bulunduran *partikül kompozitler* (Şekil 1.7)
- iv. bu üç grubun hepsinin veya bir kısmının kombinasyonundan oluşan *kombine kompozitler* (Jones,1999)



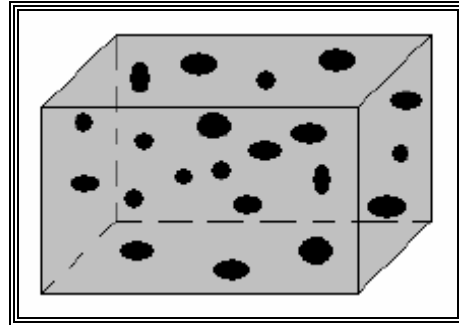
Şekil 1.4 Lif takviyeli kompozit materyal



Şekil 1.5 Örme kumaş takviyeli kompozit materyal



Şekil 1.6 Tabakalı kompozit materyal



Şekil 1.7 Partikül kompozit materyal

Lif takviyeli kompozitler: Çeşitli formlardaki uzun lifler aynı materyalin yığın formuna göre çok daha sıkı ve mukavemetlidir. Örneğin, sıradan cam plakların bir gerilme altındaki kırılmaları sadece 20 MPa iken, günümüzde cam liflerinin 2800-4800 MPa arasında değişen ve ticari olarak satılan türleri vardır. Bir lifin geometrisi ve fiziksel oluşumu, meydana getirdiği kompozitin mukavemetinde önemli rol oynar ve yapısal uygulamalarda göz önünde bulundurulmalıdır.

Tabakalı kompozitler: Farklı özelliklerde en az iki tabakanın birleşiminden oluşur. Laminasyonda amaç, mevcut tabakaların ve birleştirme materyalinin (matriks elemanı) en iyi özelliklerini kombine etmek ve daha kullanışlı bir materyal elde etmektir.

Partikül kompozitler: Bir veya daha fazla materyalin partiküllerinin bir başka materyalin matriksinin içersine yerleştirildiği kompozitlerdir. Partiküller metalik olabileceği gibi, metal olmayan malzemelerden de olabilir.

Kompozit materyallerin kombinasyonu: Bir çok kompozit materyal, lif takviyeli, tabakalı veya partiküllü gibi çeşitli sınıfların birden fazla özelliğini gösterir. Örneğin takviyelendirilmiş beton, hem partikül hem de lif takviyeli kompozittir. Ayrıca tabakalı lif takviyeli kompozitler, hem tabakalı hem de lif takviyeli kompozit materyallerdir (Jones,1999).

### ***1.2.3 Matriks Malzemeleri***

Lifler, tekstil takviyeli kompozitlerin sertlik ve mukavemetlerinde önemli bir rol oynasalar da, matriks materyalinin seçimi maksimum servis sıcaklığını, işleme yöntemini ve uzun süre dayanımı etkiler (National Materials Advisory Board, 2005). Matriks malzemeleri genel olarak termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Termoplastikler hammadde formunda tamamen polimerize olmuş durumdadırlar. Termoplastiklerin kullanımında fiziksel bir basamak olan eritme kullanılır. Isıl

uygulama termoplastik polimerin yumuşamasına veya erimesine neden olur. Böylelikle arzu edilen şekil verilebilir. Tekrar soğutulduğunda ise katılaştır ve verildiği şekli korur. Aynı ısıya tekrar ısıtıldığında aldığı şekil bozulur ve tekrar erir.

Termoset polimerler ise hammadde formunda tamamen polimerize olmamış haldedirler. Katı veya sıvı halde bulunabilirler. Çoğu termoset malzemeler katılaştırma için ekstra bileşene ihtiyaç duyarlar. Isı ve basıncın uygulaması, termoset malzemenin önce yumuşamasına sonra da polimerize olmasını sağlar ve reaksiyon tamamlanır. Çoğu termoset malzemeler bir kez katılaştıklarında yüksek oranda çapraz bağlanırlar ve tekrar ısıtıldıklarında sıvı hale dönmezler (Tucker ve Lindsey, 2002).

#### *1.2.3.1 Termoset Matriks Malzemeler*

Bu matriks elemanları sertleşme sırasında yüksek derecede çapraz bağlanırlar. Bir kere sertleştirildiğinde onu hiçbir şey değiştiremez. Dolayısıyla bu tip matriks malzemeler yüksek ısı uygulamaları için uygundur. Kompozit uygulamalarında en çok kullanılan termoset matriksler doymamış polyester, vinilester, epoksi, fenolik ve poliüretandır (Vinson ve Sierakowski, 2002). Bu bölümde sadece çalışmada kullanılan reçine tipleri hakkında bilgi verilecektir.

**i) Epoksi:** Epoksi, özellikleri ve işleme yetenekleri çok yönlü olan bir reçinedir. Epoksiler en çok kullanılan reçine materyalleridir. Epoksilerin, farklı uygulama ihtiyaçlarını karşılamak için değişen seviyelerde performans sınıfları vardır. Formülasyonu değiştirerek, epoksilerin özellikleri değiştirilebilir, sertleştirme oranı modifiye edilebilir, işleme ısı değiştirilebilir, sertlik değiştirilebilir ve ısı dayanım artırılabilir. Epoksi bazlı kompozitler, yükseltilmiş sıcaklıklarda iyi performans sağlarlar. Epoksilerle 93-130°C sıcaklıklarda çalışılabilir ve aynı zamanda 204°C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışılabilen epoksiler de mevcuttur. Yüksek ısıya dayanıklı ve yüksek performanslı epoksilerin maliyeti daha yüksektir. Ancak, iyi kimyasal ve korozyon dayanımı sağlarlar.

Epoksiler sıvı, katı veya yarı katı formlarda olabilirler. Sıvı epoksiler reçine transfer kalıplama, filament sarma, profil çekme/pultruzyon, elle serme gibi yöntemlerde kullanılırken; yarı katı epoksiler vakum torbalama ve otoklav prosesi için prepreg (önceden matriks materyali ile emdirilmiş ve ısıl işleme hazır kompozit formu) yapımında kullanılırlar. Katı epoksi kapsülleri yapıştırma (bağlama) amaçlı kullanılır.

Epoksiler, polyester ve vinilester reçineye göre daha pahalıdır. Dolayısıyla, eğer spesifik performans gerekmiyorsa, maliyet açısından hassas olan pazarlarda kullanılmazlar.

Epoksiler çoğunlukla kırılımandır. Ancak termosetlerin mükemmel termal özelliklerine ve termoplastiklerin sertliğine sahip kırılma dayanımı daha az olan sertleştirilmiş epoksiler de geliştirilmiştir (Mazumdar, 2002).

Havacılık, spor, ulaşım, askeri ve deniz araçları elemanları gibi geniş kullanım alanına sahiptirler. Ortalama fiyatları 5 – 25 USD/kg'dır. Ayrıca cilde aşırı zararlı bir reçinedir ve doğru karışımı hayati bir önem taşır (Arıcasoy, 2006). Epoksi reçinelerin genel mekaniksel özellikleri Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3 Epoksi reçinenin mekaniksel özellikleri (Berthelot, 1999)

Yoğunluk	1,100-1,500 kg/m <sup>3</sup>
Çekme modülü	3-5 GPa
Çekme mukavemeti	60-80 MPa
Eğilme mukavemeti	100-150 MPa
Çekme uzaması	%2-5
Kayma mukavemeti	30-50 MPa
Isıl defleksiyon derecesi	290°C

**ii) Vinilester:** Vinilesterler geniş oranda profil çekme/pultruzyon, filament sarma, hazır kalıplama pestili/SMC ve reçine transfer kalıplama prosesleri için kullanılırlar. İyi kimyasal ve korozyon dayanımı sunarlar. Epoksiden daha ucuzdurlar ve materyal seçiminde maliyetin kritik önem taşıdığı otomotiv ve diğer yığın üretim

uygulamalarında kullanılırlar. Vinilester moleküllerinde polyester ve epoksilere nazaran çapraz bağlanma için daha az doymamış yerler vardır ve dolayısıyla sertleştirilmiş vinilester daha fazla süneklik ve sertlik sağlarlar (Mazumdar, 2002). Vinilester reçinelerin bir diğer eşsiz özellikleri yapılarında OH (hidroksil) grupları bulundurmalarıdır. Bu hidroksil grupları, camdaki benzer gruplar ile fiziksel hidrojen bağları oluştururlar ve bu da mükemmel yaş dayanım sağlamaktadır (Mallick, 1993).

Vinilester reçineler doymamış polyester reçineler gibi sitiren monomerinin içinde çözünürler ve böylelikle viskoziteleri azalır (Mallick, 1993). Vinilester reçinelerin, son derece yüksek kimyasal ve çevresel dayanıma sahip olmalarına ve polyesterden daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmalarına karşın aşırı sitiren içermesi, polyesterden daha pahalı olması (4-7 USD/kg) ve sertleşme sırasında yüksek oranda çekmesi gibi olumsuz özellikleri de vardır (Arıcasoy, 2006).

#### *1.2.3.2 Termoplastik Matriks Malzemeler:*

Bu matriksler çapraz bağlanmamış polimer zincirleri ile karakterize edilebilirler. Sertleştirildiği sıcaklığa kadar ısıtılırsa tekrar yeni bir şekle kalıplanabilirler. Bu matriksler ile çalışırken işleme sıcaklığı sertleştirme sıcaklığının altında tutulmalıdır. Kompozit uygulamalarında kullanılan başlıca termoplastik matriks materyalleri polietilen, polipropilen ve polivinilklorid olarak saymak mümkündür (Vinson ve Sierakowski, 2002). Müssig'in çalışmasında belirttiğine göre otomobil endüstrisinde en yüksek darbe mukavemetleri odun ile takviyelendirilmiş yüksek dayanımlı polipropilen reçinelerde ancak 25-35 kJ/m<sup>2</sup> değerlerine çıkabilmektedir (Müssig, 2008). Ayrıca, biyolojik olarak geri dönüştürülebilir, mısır nişastasından veya soya yağından elde edilen termoplastik reçineler de mevcuttur. Çalışmada, biyolojik bir reçine olan polilaktik asit reçine kullanıldığından bu bölümde sadece onun açıklamasına yer verilmiştir.

***Polilaktik asit (PLA):*** Polilaktik asit bir doğal polimer reçinedir (Lim, Auras ve Rubino, 2008). Nişasta ve şekerden modifiye edilmiş bakteri ile üretilirler. Bakteriler, reçineyi yaptıktan sonra gerilerinde pudra şeklinde bir toz madde bırakacak şekilde

uzaklaştırılırlar. Bu toz madde direkt olarak plastik ürün haline getirilebilir veya ileriki işleme prosesleri için taneli hale getirilebilir. (Anonim, 2009).

PLA, biyolojik olarak iyi parçalanabilirliğinden, mekaniksel özellikleri ve düşük ağırlığından dolayı, medikal uygulamalar gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. PLA'nın ticari pazarı geçtiğimiz yıllarda oldukça artmıştır.

PLA, bir makinede işlenmek için diğer biyolojik reçinelere göre biraz daha fazla dayanım ve yetenek gösterir ama pratik olarak kullanılabilmesi için kırılabilirliğinden dolayı takviye gerekmektedir. PLA'nın mekaniksel ve termal özelliklerini artırmak için lif veya dolgu materyali gibi materyallerin eklenmesi gerekir (Cheng ve arkadaşları, 2009).

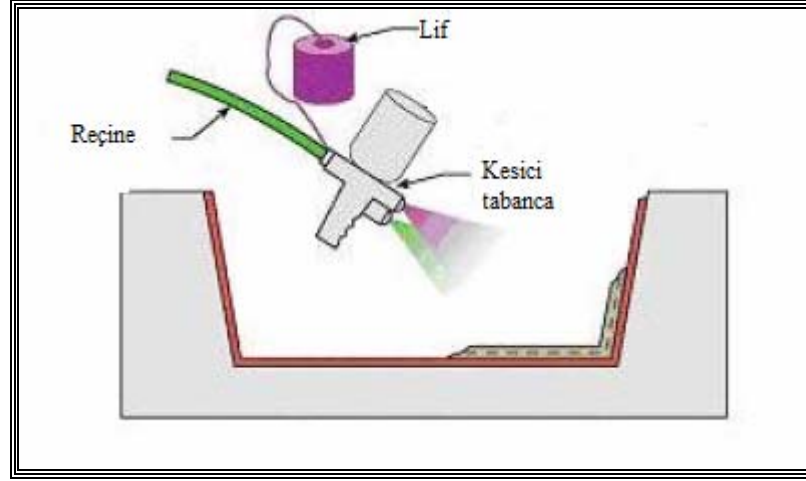
#### **1.2.4 Kompozit Oluşturma Teknikleri**

Kompozit malzeme üretiminde bir çok yöntem bulunmaktadır. Bu bölümde, kompozit malzeme üretiminde kullanılan yöntemler kısaca açıklanmıştır:

**i) Elle yatırma yöntemi:** Elle yatırma yöntemi iki ana metoda ayrılmaktadır. Birincisi ıslak yatırma, ikincisi ise prepreg yatırmadır. Prepreg (önceden reçine ile emdirilmiş preform) yöntemi çoğunlukla uçak endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu yöntem, aynı zamanda otoklav veya vakum torbalama olarak da anılmaktadır. Cam/epoksi ve grafit/epoksi en çok kullanılan prepregler arasındadır. Elle yatırma yöntemi yüksek işçilik gerektirmesine rağmen, düşük miktarda üretimlerin yapıldığı, komplike şekilli, yüksek lif hacim oranına sahip kompozitler için uygundur (Mazumdar, 2002).

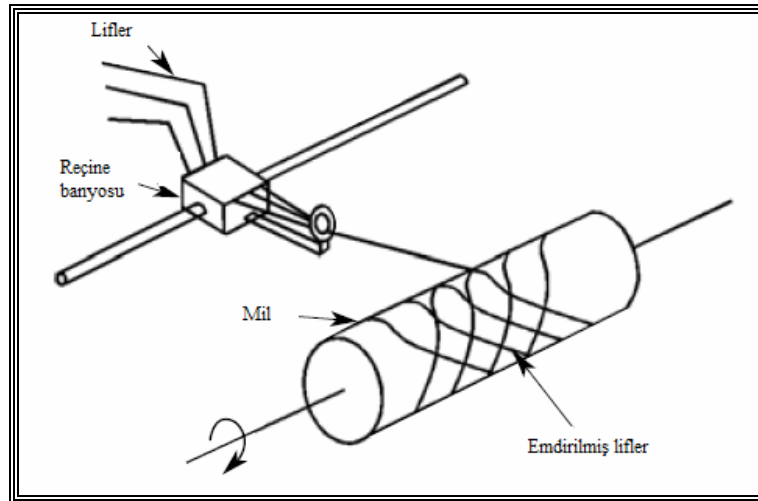
**ii) Püskürtme:** Bu yöntem, elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırpılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırpıcı sayesinde yapılır. Kırpıcı, elyafı sürekli bir şekilde 10-40 mm boyutlarında kesmektedir. Şekil 1.8'de püskürtme yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

Püskürtülme işlemi sonrası yüzeyin bir rulo ile düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur. Mukavemetin ön planda olmadığı kompozit ürünlerin yapımında kullanılır. Ana kullanım yerleri küvet, havuz ve saklama depolarıdır.



Şekil 1.8 Püskürtme yöntemi (Arıcasoy, 2006)

**iii) Filament sarma:** Reçine ile emdirilen liflerin bir milin üzerine sarıldığı metottur (Şekil 1.9). Farklı sarım açıları kullanılarak değişik mekaniksel özelliklere sahip kompozitler elde edilebilir. En fazla uygulandığı ürünler, tüp biçimindeki yapılar, pompalar ve basınçlı tanklardır.



Şekil 1.9 Filament sarma (Mazumdar, 2002)



**iv) Profil çekme (pultruzyon):** Düşük maliyetli yüksek üretim kapasitesine sahip bir metottur. Reçine emdirilmiş lifler, kalıptan geçirilerek sertleşmesi sağlanır. Kanal, tüp, kiriş gibi ürünlerin yapımında kullanılırlar.

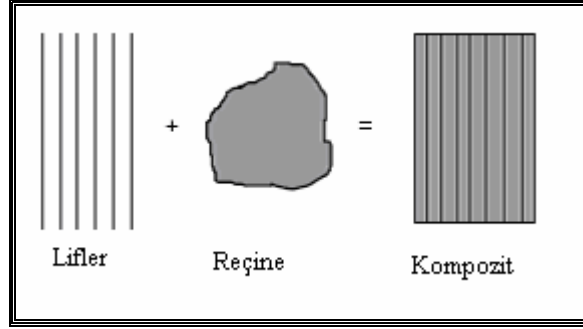
**v) Reçine transfer kalıplama (RTM):** Bir sıvı kalıplama yöntemidir. Enjeksiyon kalıplama ve basınçlı kalıplama prosesleri yığın üretimlerde popülerite kazanmış olsalar da, RTM ile net şekle yakın parçalar üretilebilmesi bir avantajdır. Bu yöntemde preform bir kalıbın içerisine koyulur, daha sonra bu kalıp üzerine aynı kalıp kapatılır. Daha sonra basınçlı termoset reçine kalıbın içerisine pompalanır. Oluşan ürünün iyi yüzey özellikleri vardır.

**vi) Basınçlı kalıplama:** Yüksek üretim kapasitesi nedeniyle otomotiv endüstrisinde oldukça popüler bir üretim yöntemidir. Büyük otomobil panellerini kalıplamak için kullanılır. Kalıplanacak termoplastik parça sıcak ve basınçlı presin altına sokularak ısı ile şekil alması sağlanır.

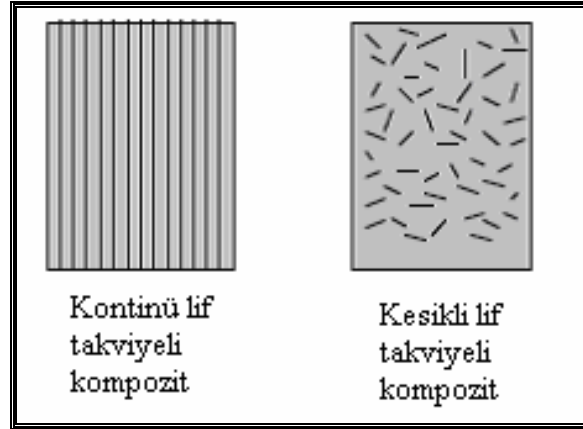
**vii) Enjeksiyon kalıplama:** Bu yöntem termoplastik endüstrisinde popüler olduğu kadar termoset kompozitlerin üretiminde de yerini almaya başlamıştır. Bu yöntemde kompoziti oluşturacak bileşenler, ısıtılmış kalıplara enjekte edilir. Materyal tamamen katılaştığında kalıp açılır ve parça aşağı düşer. Bütün bu işlem en fazla 30-60 saniye alır. En kısa üretim süresine sahip yöntemdir. Dikiş makinesi parçaları ve küçük motorların üretiminde kullanılır (Mazumdar, 2002).

### **1.3 Tekstil Takviyeli Kompozit Materyaller**

Tekstil kompozitleri, bir birleştirici (yapıştırıcı) matriks ile bir araya getirilmiş tekstil takviyelerinden oluşur (Şekil 1.10 ve Şekil 1.11). Buradaki tekstil terimi, lifleri, iplikleri, ve bunlardan oluşturulan bir çok ürünü kapsar (Long, 2005). 1970'lerden beri, tekstil takviyeli kompozitler özellikle kısmen düşük maliyetli mühendislik uygulamalarına hizmet etmektedir (Horrocks ve Anand, 2004).



Şekil 1.10 Lif ve reçine kullanılarak kompozit oluşumu



Şekil 1.11 Kontinü ve kesikli lif takviyeli kompozitler

Tekstil takviyesinde en önemli konulardan birisi, kullanılan ipliğin optimizasyonudur. Düşük bükümlü iplik çok az bir mukavemet sergilemektedir ve dolayısıyla profil çekme (pultrüzyon) veya örme/dokuma gibi tekstil üretim proseslerinde kullanılamazlar. Dolayısıyla iplikler bu proseslerde kullanılabilmek için yeterli miktarda büküme ihtiyaç duyar. Diğer yandan çok yüksek bükümlü iplikler polimer reçinede emdirildiğinde, mukavemetleri (bir eksen dışı kompozitin mukavemetindeki düşme gibi) büküm ile önemli oranda azalabilir. Dahası, yüksek büküm seviyesine bağlı olarak ipliklerin geçirgenliği azalır ve emdirme daha zor hale gelir. Dolayısıyla optimum kompozit mekaniksel özellikleri için mümkün olduğunca düşük tutulması gereken bir optimum büküm seviyesi vardır. Bu nedenle, tekstil uygulamalarında tipik olarak kullanılan ipliklerin tersine bir kompozit uygulaması için optimum ipliğin minimal düzeyde büküme ihtiyacı vardır (Goutianos, 2006).

### **1.3.1 Tekstil Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Lifler**

#### *1.3.1.1 Cam Lifleri*

Camın bir lif olarak kullanılması, eski Suriye ve Mısır medeniyetlerine kadar uzanmaktadır. Cam, bu medeniyetlerde giysilerin yapımında kullanılmıştır (Akovali, 2001). Ancak cam liflerinin takviye elemanı olarak kullanılması daha yeni bir fikirdir (Mukhopadhyay, 1993).

Cam lifleri günümüzde kendilerini ispatlamış durumdadırlar. Cam lif takviyeli plastikler, arabanın iç ve dış kısımlarının yapısal ve uzun ömürlü gereksinimlerini karşılamışlardır. Buna rağmen cam takviyeli plastikler, daha yüksek lif yoğunluğuna (doğal liflerden %40 fazladır) sahip olmaları, işlenmeleri sırasında makinede zorluk çıkarmaları, geri dönüşüm olanaklarının zayıf olması ve sağlığa zararlı olmaları gibi eksiklikler göstermektedirler. Bir doğal lif matı üretirken harcanan enerji miktarı (9.55 MJ/kg), bir cam lif matı üretmenin (54.7 MJ/kg) %17'si kadardır (Holbery ve Houston, 2006).

Cam, oryante olmamış ve kristalin olmayan bir inorganik liftir. Cam lifinin yüksek performansı ilk defa 1920'de Griffith'in bir çalışması sayesinde ortaya çıkmıştır. Yüksek performans lifi olarak kullanılan camın, diğer cam materyalleri ile benzer içerikte yapılırlar. Yine de bileşenlerin seçimi ve yerleşimi materyalin kullanılacağı yere göre değişir. Cam lifinin yapımında kullanılan materyaller genellikle silikon dioksit, kalsiyum oksit, alüminyum oksit, boron oksit ve diğer birkaç maddedir (Mukhopadhyay, 1993).

Kontinü cam lifleri erimiş camı, 5 ile 25 mikrometre arasında değişen filament çapları oluşturmak için düzelerden çekilirler. Kompozitlerde en çok kullanılan cam lifi türleri E-cam ve S-cam'dır. E-cam kompozit endüstrisinde en yaygın kullanılan türdür; çünkü iyi mekaniksel özellikleri vardır. S-cam ise, lif formunda oldukça mukavemetlidir ve bu cam lifi türünün gelişmiş kompozitlerde kullanımı gittikçe artmaktadır. S-cam'ın fiyatı, E-camın 3-4 katı kadardır. E-cam ve S-camın içerdikleri

maddelerin oranları Tablo 1.4’de, bu cam liflerinin mekaniksel özellikleri ise Tablo 1.5’de verilmiştir.

Tablo 1.4 Ağırlık oranı (%) olarak, E-cam ve S-cam’ın madde içerikleri

	E-cam	S-cam
Silikon dioksit	%52-56	%64-66
Kalsiyum oksit	%16-25	%0-0,3
Alüminyum oksit	%12-16	%24-26
Boron oksit	%5-10	-
Sodyum ve potasyum oksit	%0-2	%0-0,3
Demir oksit	%0-5	%9-11
Titanyum oksit	%0,05-0,4	%0-0,3
Fluorid	%0-0,8	-

Diğer cam türlerinden, A-cam, pencerelerde ve cam şişelerde en çok kullanılan cam türüdür ve kompozitlerde kullanılmaz. C-cam ise yüksek kimyasal direnç gösterir, depolama tankları gibi alanlarda kullanılır (Arıcasoy, 2006).

Genel olarak bir cam lifinin bileşimi ve ısıl geçmişi fiziksel özelliklerinin çoğunu kapsar. Cam lifleri kuvvetlidir, alev almazlar ve ısıya karşı dirençlidirler. Ayrıca, kimyasallara, neme ve mikroorganizmalara karşı oldukça dayanıklıdırlar. Oda sıcaklığında ve %65 bağıl nemde cam liflerinin mukavemeti, camın bileşimi, lifin çapı ve cam lifinin üretim sıcaklığı ile bağlantılıdır. Buna rağmen, farklı mukavemetlerdeki camların genel özellikleri özdeş değildir. Örneğin A-cam, çok belirgin bir mukavemet-çap ilişkisi gösterirken, E-cam’ın mukavemeti çaptan neredeyse bağımsızdır. E-cam, normal olarak bir standart yüksek performanslı cam lifi olarak kabul edilir. Yine de E-cam’ın düşük maliyetine rağmen, çok yüksek performansın istendiği uygulamalarda S-camın popülerliği artmaktadır (Mukhopadhyay, 1993).

Tablo 1.5 Cam liflerinin özellikleri (Mukhopadhyay, 1993)

Özellikler	E-cam	S-cam
Çekme Mukavemeti (GPa)	3,5	4,6
Modül (GPa)	73,5	86,8
Uzama (%)	4,8	5,4
Yoğunluk (g/cc)	2,57	2,46
Dielektrik katsayısı RT, 10 <sup>10</sup> Hz	6,1-6,3	5,0-5,1

### 1.3.1.2. Polyester Lifleri

İlk polyester lifi, Terylene, İngiltere’de üretilmiştir. Daha sonra, 1951 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde, DuPont firması polyester lifini Dacron ticari ismi altında piyasaya sürmüştür. Polyesterin kuru veya yaş halde fark etmeksizin göze çarpan elastikiyeti ve mükemmel boyutsal stabilitesi, onu günümüze kadar popüler hale getirmiştir. Polyester, en çok kullanılan sentetik liftir. Polyester polimerinin bir çok fiziksel ve kimyasal versiyonları mevcuttur. Bu modifiye edilmiş lifler, orjinal polyestere göre daha iyi performans sergilerler.

Polyester, dikarboksil asidini dihidril alkolle reakte ederek üretilir. Lifler eriyikten çekilirler. Polyester eriyikten çekildiği için, liflerinin enine kesit şekli düzenin şeklini almaktadır ve liflerin enine kesit şekli değiştikçe, fiziksel özellikleri de değişir.

Polyester lifleri bir çok tipte üretilirler. Filamentler, yüksek tenasitede, parlak veya mat, beyaz veya renkli olabilirler. Polyester liflerinin aşınma dayanımı ve mukavemetleri çok iyidir. Yüksek mukavemetli polyester lifleri, sıcak çekme yaparak, kristaliniteyi artırarak ve molekül ağırlığını artırarak elde edilir. Tablo 1.6, çeşitli polyester liflerinin kopma mukavemetlerini göstermektedir. En yüksek mukavemete sahip olan lifler, en fazla germe işlemi yapılanlardır ve onların uzama oranları düşük mukavemetli polyester liflerine nazaran çok daha azdır. Örneğin, kopma mukavemeti 2,0-2,5 g/d arasında değişen polyester liflerinin mukavemetleri kesikli liflerden bile daha düşüktür ama uzama oranları onların %120-150 daha fazlasıdır. Bu tip iplikler piyasada POY (partially oriented yarn, kısmen oryante olmuş iplik) iplikler olarak satılırlar (Kadolph ve Langford, 2002).

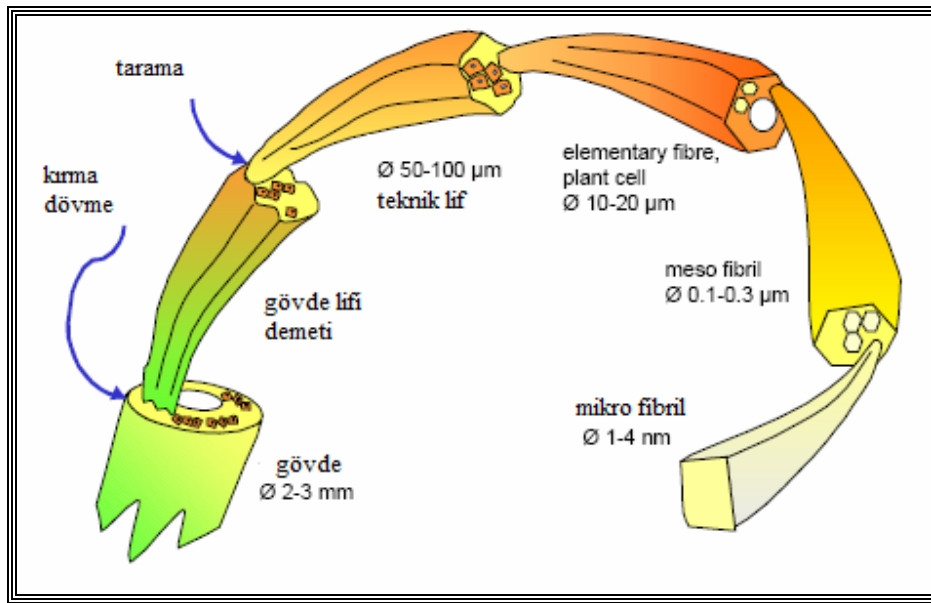
Tablo 1.6 Modifiye edilmiş polyester liflerinin performansları (Kadolph ve Langford, 2002)

Lif modifikasyonu	Kopma mukavemeti (g/d)	Kopma uzaması (%)
Yüksek tenasiteli filament	6,8-9,5	9-27
Normal tenasiteli filament	2,8-5,6	18-42
Yüksek tenasiteli kesikli	5,8-7,0	24-28
Normal tenasiteli kesikli	2,4-5,5	40-45

Polyester lifleri yaygın bir uygulama olarak geri kazanılmıştır. Bir çok geri dönüşümlü polyester, kullanılmış ürünlerden üretilir. Geri dönüşümlü polyesterin üretimi, yeni hammaddelerden üretilen liflerden çok daha az çevresel kirlenme yaratır. Örneğin üretim sırasında havanın kirletilmesi %85 oranında azaltılmaktadır (Kadolph ve Langford, 2002).

### 1.3.1.3 Keten Lifleri

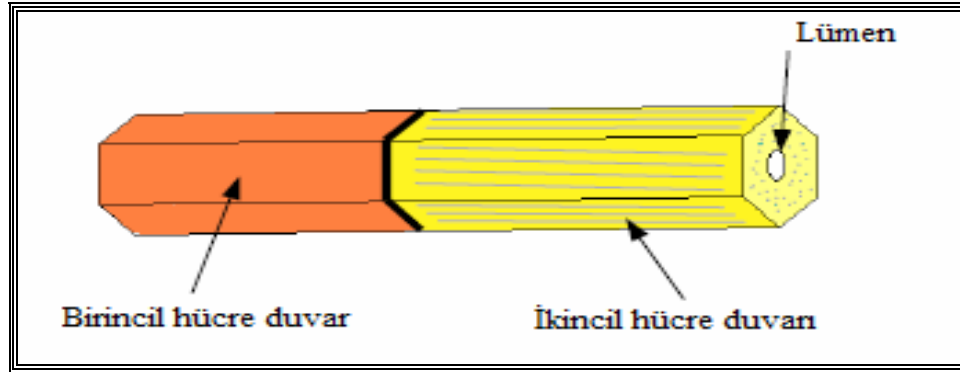
İnsan yapımı liflerin aksine keten lifi bir kontinü lif değildir. Ancak, aslında kendisi başlı başına bir kompozittir. Keten lifinin şematik yapısı Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de gösterilmektedir (Bos, 2004).



Şekil 1.12 Keten lifinin gövdeden mikrofibrile kadar şematik gösterimi (Bos, 2004)

Keten lifi takviyeli kompozitler için sunulan veriler arasında büyük farklılıklar vardır. Bu varyasyon lümen boyutundaki varyasyondan kaynaklanmaktadır (Bos,

2004). Keten lifinin bireysel yüksek lif kopma mukavemeti kadar kompozit özellikleri iyi çıkmıyorsa bundan sorumlu keten lifinin anizotropik yapısı ve bunun doğurduğu tel grupların varlığı ve düşük yanal hücre duvarı mukavemeti olabilir.



Şekil 1.13 Birincil lifin veya bitki hücresinin bölümlerinin şematik gösterimi (Bos, 2004)

Tablo 1.7’de belli başlı doğal liflerin temel özellikleri verilmiştir. Tablo 1.8’den görüldüğü gibi doğal liflerin fiyatları diğer geleneksel takviye elamanlarına nazaran oldukça ucuzdur. Tablo 1.9’da ise bazı doğal liflerin mekaniksel özelliklerinin geleneksel takviye elemanları ile karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1.7 Bazı doğal liflerin temel özellikleri (Gaceva ve diğerleri, 2007)

Lif	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kopma uzaması (%)	Elastisite modülü (GPa)
Pamuk	1,50	7,0-8,0	5,5-12,6
Jüt	1,30-1,46	1,5-1,8	10-30
Keten	1,40-1,50	2,7-3,2	10-80
Kenevir	1,48	1,6	20-70
Sisal	1,20-1,50	2,0-2,5	3,0-98
Bambu	0,80	-	48-89
Soft wood	1,50	-	40,0
Rami	1,50	3,6-3,8	44-128

Tablo 1.8 Bazı sentetik ve doğal liflerin fiyatlarının karşılaştırılması (Bogoeva ve diğerleri, 2006)

Lif	Karbon	Çelik	Cam	Sisal	Jüt	Hindistan cevizi
<b>Maliyet (USD/kg)</b>	200	30	3,25	0,36	0,30	0,25

Tablo 1.9 Geleneksel takviye elemanları ile karşılaştırıldığında doğal liflerin mekaniksel özellikleri (Bogoeva ve diğerleri, 2006)

Lif	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Kopma Mukavemeti (GPa)	Kopma Modülü (GPa)	Dayanımın Yoğunluğa Oranı (GPa/g cm <sup>3</sup> )	Elastik Modülün Yoğunluğa Oranı (GPa/g cm <sup>3</sup> )	Maliyet oranı
Sisal	1,20	0,08-0,50	3-98	0,07-0,42	3-82	1
Keten	1,20	2,00	85	1,60	71	1,5
E-cam	2,60	3,50	72	1,35	28	3
Kevlar	1,44	3,90	131	2,71	91	18
Karbon	1,75	3,00	235	1,71	134	30

#### 1.3.1.4 Pamuk Lifleri

Pamuk, tekstilde en çok kullanılan liftir. 80'den daha fazla ülkede üretilen, önemli bir üründür. Pamuk lifinin uzunluğu, iplik oluşumu sırasında eğirme parametrelerini belirlediği için çok önemlidir. Ayrıca pamuğun uzunluğu ile inceliği bağlantılıdır ve iplik mukavemetini de etkiler. Uzun pamuk lifleri, incedir ve daha mukavemetli iplikler oluştururlar.

Pamuk, orta derecede mukavemetli bir liftir, kuru kopma dayanımı 3,5-4,0 g/d arasında değişir. Mukavemeti, yaşken %30 oranında daha artar. Uzun pamuk lifleri, kısa pamuk liflerine nazaran daha mukavemetli iplikler oluştururlar. Çünkü kısa lif eğirme prosesi sırasında birbirlerine tutunmaları için daha çok alanları vardır. Böylelikle birbirlerine daha iyi tutunurlar (Kadolph ve Langford, 2002).

Atıkların kullanımı söz konusu olduğunda, biyolojik olarak parçalanabilen doğası, pamuğu ekstra çekici kılmaktadır (Kamath, Bhat, Parikh ve Mueller, 2005). Müssig'e göre teknik uygulamalarda pamuk gibi doğal liflerin kullanımı büyük



potansiyel arz etmektedir. Pamuk gibi bir doğal lifin bir biyolojik olarak parçalanabilen polimer ile kombine edilmesi, kullanımdan sonra parçalanacak kompozitler için oldukça yenilikçi bir fikirdir (Müssig, 2008).

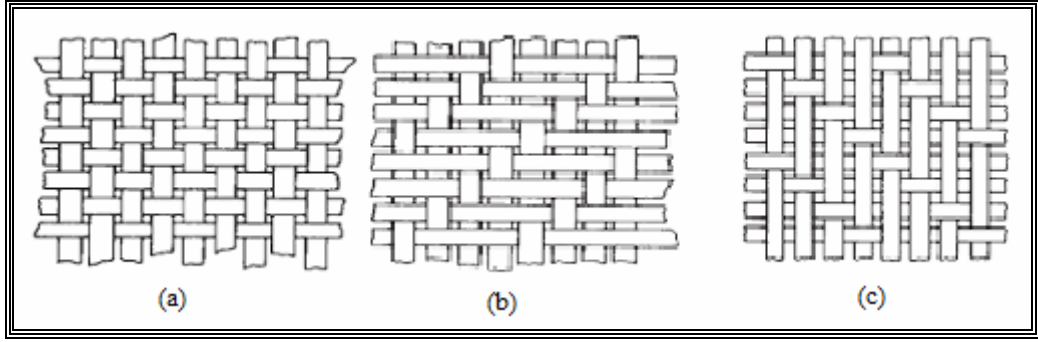
### ***1.3.2 Tekstil Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Preformlar***

Tekstil kompozitleri, tekstil takviyeleri ile birleştirici bir matriks elemanından meydana gelmektedirler. Bu durum yük uygulamalarından bir çok endüstriyel sektöre kadar çok geniş bir materyal ailesini tanımlamaktadır. Bu deyimdeki tekstil terimi lifleri, iplikleri, filamentleri ve onlardan üretilen dokuma, örme, dokusuz yüzey kumaşları ve saç örgüsünü (braiding) kapsamaktadır. 1970'lerden beri tekstil takviyeli kompozitler mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır (Pamuk ve Çeken, 2008).

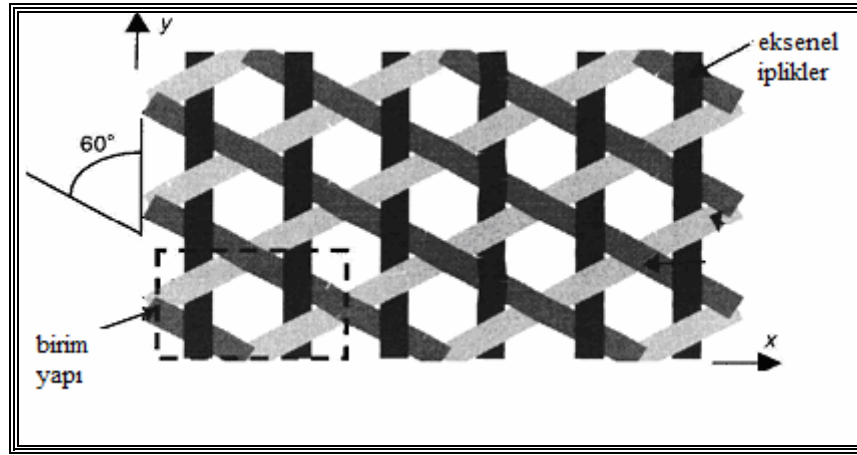
#### ***1.3.2.1 Dokuma, saç örgüsü, dokusuz yüzey preformlar***

Dokuma yapıların tekstil üretiminde oldukça eski bir tarihi vardır. Geleneksel dokuma kumaşlar, birbiri içinden geçen ve 90°'de dik kesişen iki iplik sisteminden oluşurlar. Kumaşın boyu doğrultusunda uzanan iplikler “çözümlü iplikleri”, kumaşın eni doğrultusunda uzanan iplikler ise “atkı iplikleri” olarak adlandırılır. Temel dokuma kumaş yapıları bezayağı, dimi ve satendir. Bu yapıların şematik gösterimi Şekil 1.14'de verilmiştir.

Dokuma kumaşların, teknik uygulamalar için önemli olan özellikleri; hammadde, atkı ve çözgü ipliklerinin incelikleri, atkı ve çözgü sıklığı ve dokuma kumaşın türüdür. Dokuma kumaşların mukavemetleri çözgü ve atkı yönünde fazlayken çapraz yönde kumaş daha düşük mukavemet, daha yüksek elastisite ve düşük yırtılma mukavemeti gösterir. Mekaniksel özellikleri geliştirmek için üç eksenli dokuma yapılar geliştirilmiştir (Şekil 1.15) (Demboski ve Gaceva, 2005).

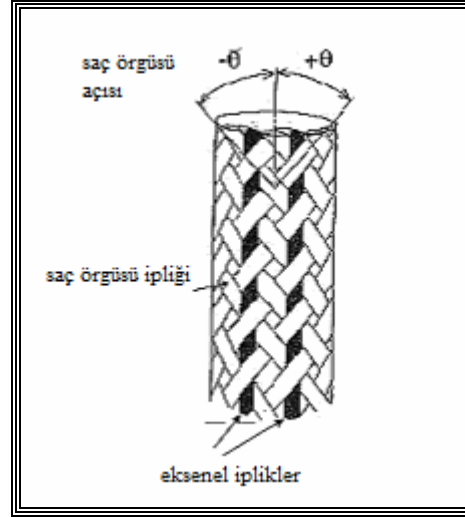


Şekil 1.14 Temel dokuma yapıları: (a) bezayağı dokuma (b) dimi dokuma (c) saten dokuma



Şekil 1.15 Üç eksenli dokuma kumaş

Saç örgüsü tekniği, tekstil yapıları için en eski üretim yöntemidir. Aslında iplikler ve kabloların üretimi için kullanılan bu teknik, düzlem içi çok eksenli oryantasyon, mükemmel hasar toleransı ve maliyet gibi özellikleri nedeniyle kompozitlerin takviyelendirilmesi açısından da oldukça iyidir (Fangueiro, Sousa, Soutinho, Jalali ve Araujo, 2005). Saç örgüsü, tekstil yapıları ipliklerin bir tüp formunda birbirlerinin içinden geçmesi ile oluşur. Bu yapılar, genellikle tüp formunda üretilirler, boyuna ipliklerin eklenmesiyle üç eksenli form elde edilir (Şekil 1.16) (Uozumi, Kito ve Yamamoto, 2005).



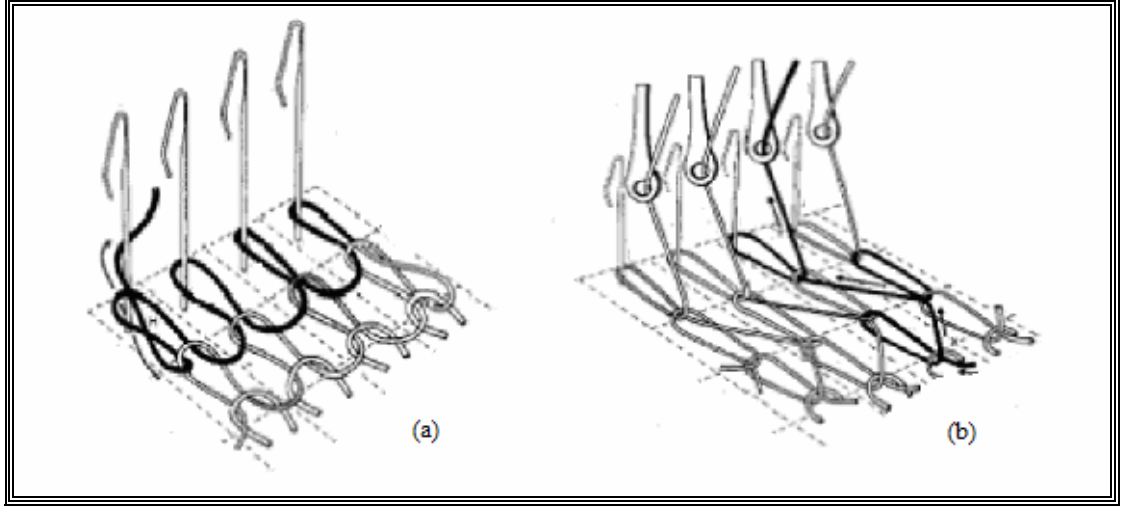
Şekil 1.16 Üç eksenli saç örgüsü yapı

Dokusuz yüzeyin tam anlamıyla bir tanımını yapmak zordur. Çünkü bu teknoloji çok farklı ürünleri kapsamaktadır; üretim teknikleri birbirinden oldukça farklıdır ama ürünler yine de dokusuz yüzey olarak anılırlar. Dokusuz yüzey kumaşın geniş bir tanımını yapmak gerekirse, liflerin mekaniksel, kimyasal veya çözeltilerle birleştirilmesi veya iç içe geçirilmesi ile oluşan yapıdır. Dokusuz yüzey üretimi genel olarak iki ana bölümden oluşur: (i) ileriki birleştirme aşaması için liflerin hazırlanması ve (ii) birleştirme prosesi. Hazırlama ve birleştirme proseleri için çok sayıda teknik bulunmaktadır. Dokusuz yüzeyler, iplik oluşumuna gerek kalmaksızın direkt olarak liflerden elde edildiğinden maliyeti oldukça düşüktür. 19. yüzyılın ortalarında ortaya çıkan bu teknoloji, lif hacim oranının sadece %2-3 olduğu düşük ağırlıklı materyallerden, lif hacim oranlarının %80'e kadar çıkabildiği kompakt kumaşlara kadar çok değişik performans alanlarını kapsar (Demboski ve Gaceva, 2005).

### 1.3.2.2 Örme preformlar

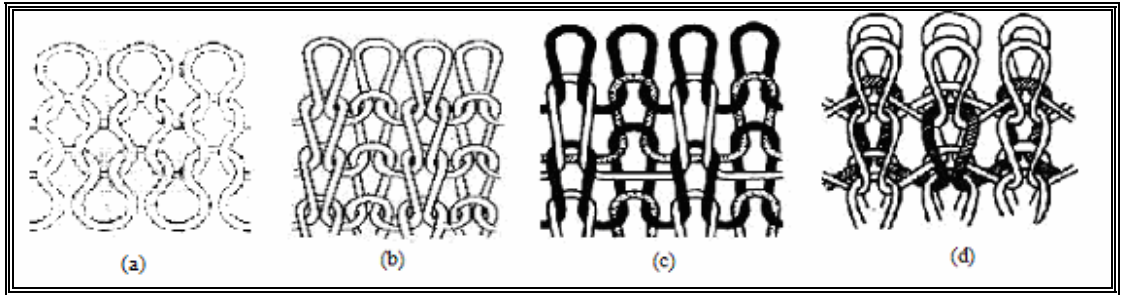
Örme kumaşlar temel olarak, atkı örme (Şekil 1.17 - a) ve çözümlü örme (Şekil 1.17 - b) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Atkı örme kumaşlarda, bobinden gelen ipliğin ard arda kumaş eni yönünde oluşturdukları ilmek sıralarının birbirine bağlanmaları yoluyla yüzey oluşur. Çözümlü örmeciliğinde ise, çözümlü levendinden gelen ipliklerin iğne rayındaki her iğneye tek tek beslenmesi söz konusudur. Böylelikle her iğnede

oluşturulan ilmeklerin hem kumaş eni hem de boyu yönünde birbirleriyle bağlanmaları sonucu yüzey oluşmaktadır (Çeken, 2004).



Şekil 1.17 (a) Atkı örme kumaş oluşumu (b) Çözümlü örme kumaş oluşumu (Mayer, 2000)

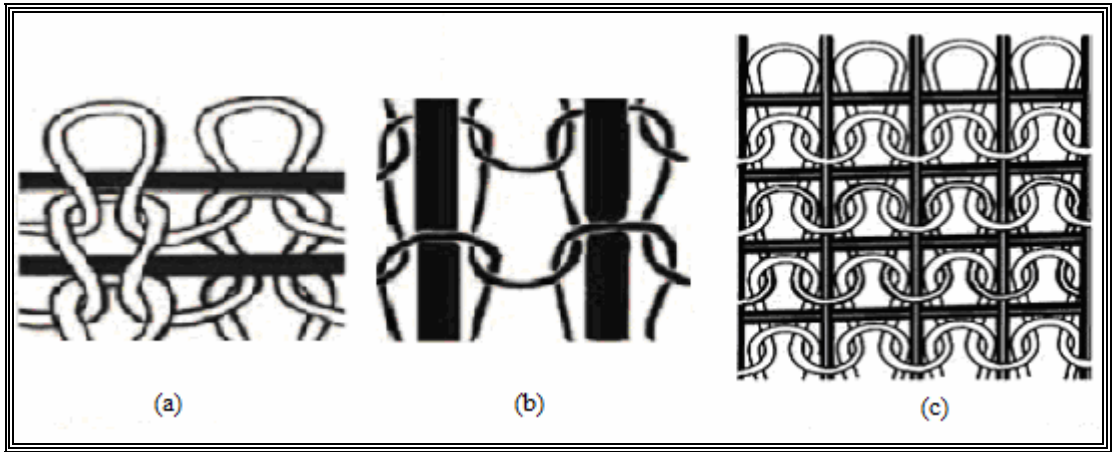
Şu ana kadar araştırmacılar tarafından kompozit takviyesinde kullanılan ve atkı örme makinelerinde üretilen temel düz örgü kumaş yapıları Şekil 1.18’de verilmiştir.



Şekil 1.18 Düz örme makinelerinde üretilen temel kumaş yapıları (a) düz örgü kumaş, (b) 1\*1 rib örgü kumaş, (c) Milano rib kumaş, (d) İnterlok örgü kumaş

Atkı örme kompozitlerin ilk uygulamasının, Marvin tarafından düz örme makinesinde konik yapılu kumaş üreterek yapıldığı düşünülmektedir (Savci, Curiskis ve Pailthorpe, 2000, b). Ancak, bu girişim uzun zaman önce olmasına rağmen geleneksel atkı örme kompozit uygulamalarda liflerin örme yapılarında ilmeklerden dolayı kıvrımlı bir hal alması ve dolayısıyla mukavemetin düşük olması nedeniyle çok popüler bir seçim haline gelememiştir. Diğer yandan, özellikle derin kalıplama proseslerinde mükemmel şekil alabilirlik özelliklerinin fark edilmesinden sonra

kompozit uygulamalarında daha fazla kullanım bulmaya başlamıştır. Dahası, kompozit endüstrisi tarafından fark edilmiştir ki, örme preformlara atkı yatırımları yapılabilmektedir (Şekil 1.19 - a). Bu durum da, yapının ilmek sırası yönündeki mukavemetini artırmaktadır. Kısa bir zaman önce atkı örme preformlar için düşey yönde iplik yatırımları yapılması da başarılıdır (Şekil 1.19 - b) (Savci, Curiskis ve Pailthorpe, 2000, a). Hem dikey hem de düşey yönde iplik takviyesi yapılmış örme kumaşın görünüşü Şekil 1.19 (c)'de verilmiştir.

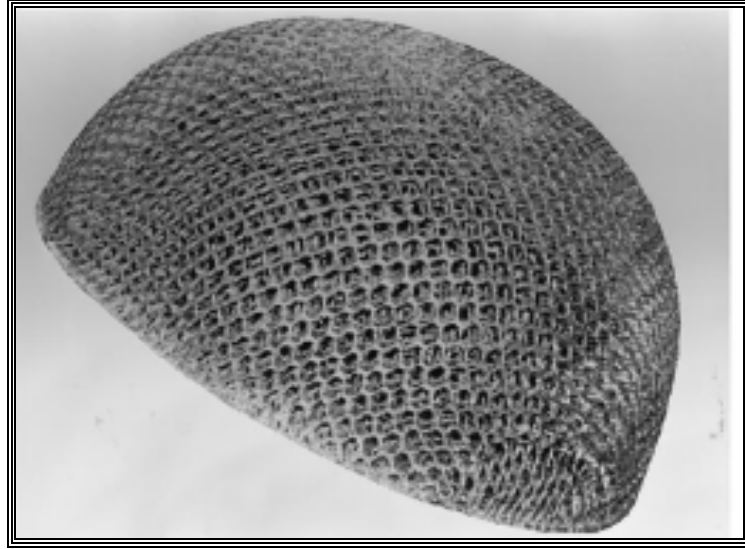


Şekil 1.19 (a) Atkı yönünde iplik yatırımlı atkı örme kumaş, (b) Çözümlü yönde iplik yatırımlı atkı örme kumaş, (c) İki eksenli atkı örme kumaş

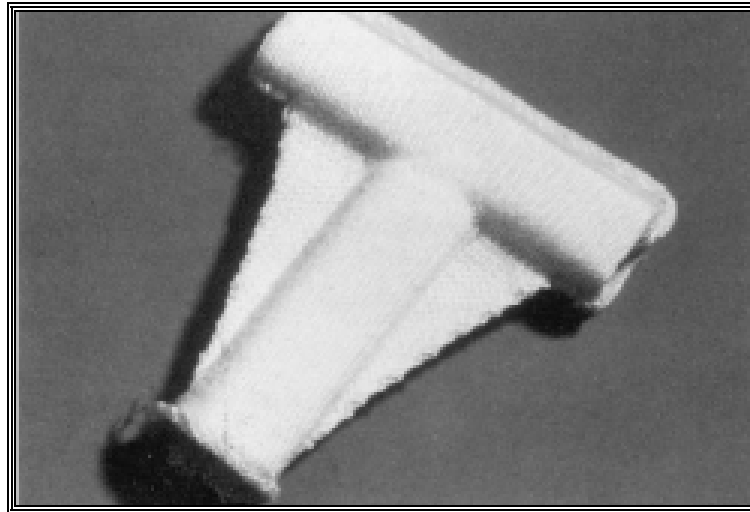
Son yıllarda örme kumaş takviyeleri, kompozit endüstrisinin büyük ilgisini çekmiştir. Bunun nedeni örme kumaşların, dokuma ve saç örgüsü gibi diğer takviye yapılarıyla karşılaştırıldığında sahip oldukları eşsiz özelliklerdir (Miravete, 2000). Örme kumaşların yüksek dökümlülüğü kompleks şekilli kalıplara uyum sağlar. Açık ilmek yapısının reçineye karşı iyi bir geçirgenliği vardır. Bir kısım boyunca uniform lif hacim dağılımı oluşturma imkanı vardır ki bu durum saç örgüsü gibi alternatif prosesler ile her zaman mümkün değildir (Vuure ve Ko, 2003). Net şekle yakın preformların üretiminin avantajı, materyal telefinin ve üretim zamanının azalmasıdır, ki bu da komponent üretiminin maliyetini düşürür. Ayrıca, düz örme kumaşlar yüksek oranda elastikiyet özelliğine sahiptirler (Khondker, 2005).

İpliklerin oluşturdukları ilmeklerin iç içe geçmesi ile örme kumaş olduğundan bu ilmekler birbiri üzerinden kayabilirler, ki bu da örme kumaşların yüksek oranda

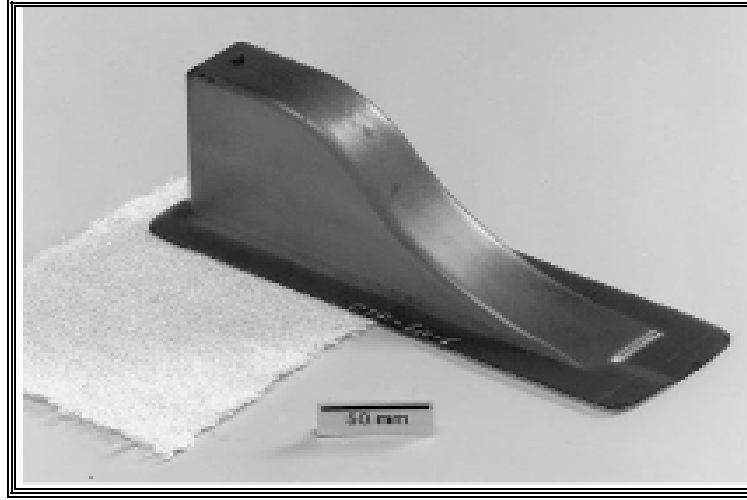
form alabilirliğini sağlar. Bu form alabilirlik dökümlülük yaratır böylece örme kumaşlar istenen kompleks preforma şekillendirilebilirler. Dahası, gelişmiş örme makinelerinin kullanımı, koruyucu kasklar (Şekil 1.20), T-boru bağlantıları (Şekil 1.21), koniler, flanşlı borular ve özel komponentler (Şekil 1.22) gibi net şekilli veya net şekle yakın kısımlar üretmeyi mümkün kılar. Buradaki net şekilden kasıt, kumaşı ürün formuna getirmek için dikiş işlemine gerek kalmamasıdır. Çünkü özellikle mekaniksel özelliklerin olmasının istendiği nihai ürünlerde dikiş çok önemli bir dezavantaj teşkil etmektedir. Net şekle yakın preformlar kullanmanın avantajı minimum materyal telefidir (Miravete, 2000). Net şekilli örme örnekleri Şekil 1.20, 1.21 ve 1.22’de gösterilmiştir.



Şekil 1.20 Bisiklet kaskı için 3D örme sandviç preform



Şekil 1.21 T birleşimler için fully fashion cam örme preform

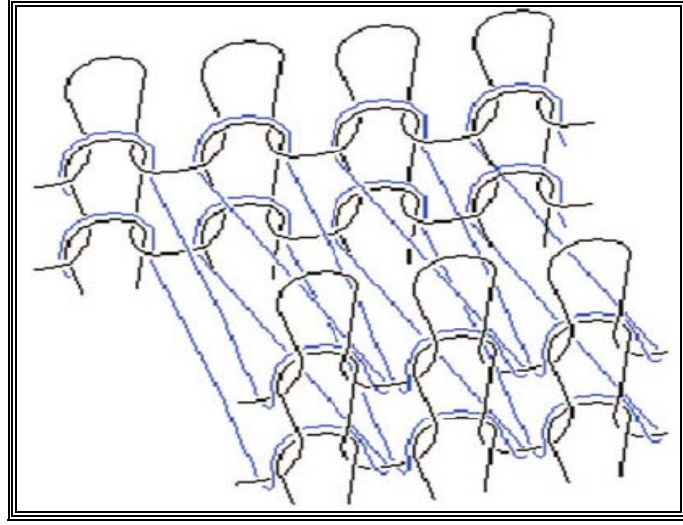


Şekil 1.22 Bir helikopterin kapı komponenti için cam örme kompozit

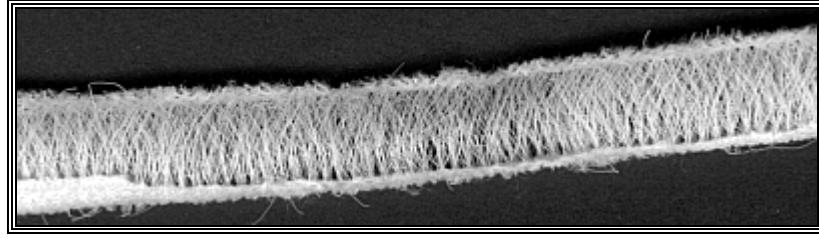
Giysi endüstrisinde çok farklı tipte örme kumaşlar moda amaçlı kullanılır. Ancak, mühendislik uygulamalarında kompozitlerde sadece limitli sayıda örme yapısı incelenmiştir. Bunun nedenleri: i. Bir çok mühendislik uygulamalarının basit örme yapısı gerektirmeleri, ii. Cam, karbon ve aramid gibi sert takviye liflerinin komplike örme yapıları haline getirilmelerinin zor olmasıdır (Miravete, 2000).

#### 1.3.2.1 Spacer Kumaşlar

Spacer kumaşlar, birbirinden bağımsız olarak örülen iki farklı kumaşın, bir bağlantı ipliğiyle birleştirilmesinden elde edilen hacimli, çift yüzeyle kumaşlardır (Fisher, 2001). Bir başka deyişle, spacer atkı örme kumaş birbiri ile birleştirilmiş iki örme kumaştan oluşan bir üç boyutlu (3D) tekstil yapısıdır (Şekil 1.23) (Liu, 2007). Monofilament iplikle birleştirme işleminde iki kumaş arasında değişik boyutlarda boşluk bırakılabildiğinden (Şekil 1.24) istenen hacimlilikte ve yumuşaklıkta kumaş elde edilir. Spacer kumaşlar düz örme makinelerinde, çözgülü örme makinelerinde veya yuvarlak örme makinelerinde üretilirler (Fisher, 2001).



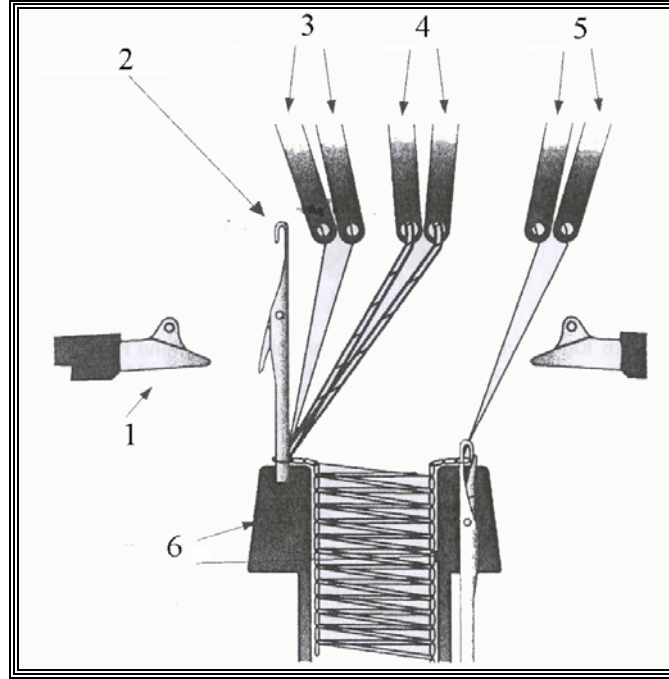
Şekil 1.23 Spacer atkı örme kumaş konstrüksiyonunun görünümü (Liu, 2007)



Şekil 1.24 Spacer kumaşın kesit görünüşü

Çözümlü örme spacer kumaşlar, ayrı ayrı örülmüş iki çözümlü örme kumaşın arka yüzeylerinin birbirleriyle bağlantı ipliği vasıtasıyla birleştirilmesiyle oluşurlar. Her iki yüzey farklı malzemelerden farklı konstrüksiyonlarda üretilebilir. Bağlantı ipliği sağ ve sol iğne raylarında oluşan zemin örgülerine bağlanır. Boşlukları tutan bağlantı ipliği bölgesinin yapısı, bağlantı ipliğinin sıklığı, monofilamentlerin kalınlığı ve bağlantı ipliklerinin oluşturma açısı, iki iğne rayı arasında bulunan mesafe tarafından belirlenir (Anand, 2003, b). Dolayısıyla, çözümlü örme spacer yapıların kalınlıkları, atkı örme yapılara göre daha geniş ölçülerde ayarlanabilmektedir.

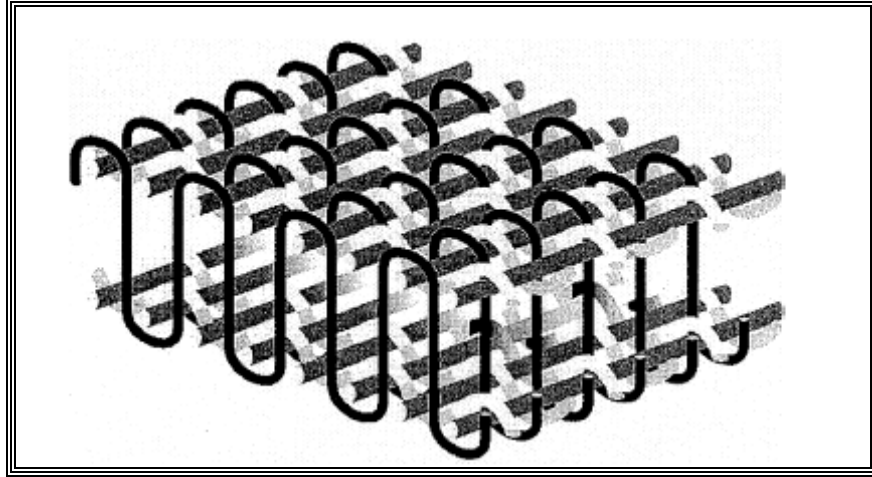




Şekil 1.25 Mayer marka RD6N'nın örme elemanları

Çözümlü örme spacer kumaş üretiminde kullanılan, Mayer'in RD6N makinesinin örme elemanları Şekil 1.25'de gösterilmiştir. 5 ile gösterilen kılavuzlar sadece ön iğne rayında ön temel kumaşı örerken, 3 ile gösterilen kılavuzlar sadece arka iğne rayında temel kumaşı örerler, 4 ise her iki iğne rayında da ören spacer ipliklerini taşır.

Atkılı örme spacer kumaşlar çift yataklı yuvarlak örme makinelerinde üretilebildiği gibi, elektronik kontrollü düz örme makinelerinde de üretilebilmektedirler. Atkılı örme makinelerinde düz, renkli, desenli ve tekstüre efektli spacer yüzeyler elde edilebilir. Bu yapılarda, kapak, silindir ve bağlantı ipliği olmak üzere üç farklı iplik kullanılmaktadır. Kapakta ve silindirde ayrı ayrı örülen kumaşlar bağlantı ipliği ile birleştirilirler. Bağlantı ipliği kapakta örülüp, silindirde askı yapabileceği gibi; her iki örme bölgesinde de (kapak ve silindirde) askı yapabilir (Anand, 2003, b).



Şekil 1.26 Dokuma spacer kumaşın kesit görünüşü

Dokuma spacer kumaşlar (Şekil 1.26), iki farklı dokuma kumaştan iki katlı kumaşlar olarak üretilen tekstil yapılarıdır. Tek bir basamakta birçok çözü ve atkı sistemiyle özel konstrüksiyonlarda üretilirler ve bağlayıcı çözü veya atkı ipliğiyle birbirlerinden ayrı tutulurlar. Dolayısıyla birleştirici sistemlerin düzeni ve uzunluğu sandviç konstrüksiyonların mukavemet ve sertliğini belirler (Pamuk ve Çeken, 2008, b).

#### 1.4 Ekolojik Kompozitler

Günümüzde yaşadığımız en büyük çevresel problemlerden birisi, plastik atık problemidir. Hayatımızın her alanında plastiklerin çok fazla üretimi ve kullanımı, plastik atıkları büyük oranlarda artırmıştır. Atık yönetim problemleri ve sıkı Avrupa düzenlemeleri, bilimsel araştırmaların büyük bir kısmını ekolojik (eko) kompozitlere yönlendirmiştir (Gaceva ve diğerleri, 2007). Örneğin Avrupa Birliği yasaları, 2006'da otomobillerde doğal lif takviyeli plastik eklemelerini hızlandırmıştır. 2006'da bir aracın %80'i yeniden kullanılabilir veya geri dönüşümlü olmak zorunda iken, 2015'de bu oran %85'e yükselecektir. Bunun sonucu olarak araba üreticileri, bir aracın hammaddeden üretime ve atığa kadar tüm yaşam döngüsünü çevre açısından değerlendirmektedirler (Holbery ve Houston, 2006). Ayrıca tıp alanında yapılan araştırmalar da arabada fazla sentetik malzeme kullanımının arabanın iç

kısımında kimyasal gazlara sebebiyet verdiği ve bu gazların solunmasının insan sağlığına zararlı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Bir terim olarak eko veya ekolojik veya yeşil kompozitler, geleneksel kompozitlere nazaran çevresel ve ekolojik avantajları olan kompozit materyalleri tanıtmak için kullanılırlar. Tanım olarak, bir eko kompozit doğal lif veya doğal polimer bulundurabilir. Dahası, eko kompozitler doğal liflerin ve biyolojik bozunabilir polimer matriksin bir kombinasyonundan oluşurlar (Gaceva ve diğerleri, 2007). Ekolojik kompozitler ile kimi zaman eş anlamlı olarak kullanılan biyolojik kompozitler ise en az bir bileşenin biyolojik orijinin olduğu kompozitlerdir. Biyolojik takviyeler keten, kenevir, jüt, rami ve sisal gibi uzun lifler olabileceği gibi, odun lifleri gibi kısa lifler veya lif fibrilleri de olabilir. Matriks materyali de bio bileşen olabilir. Bunlar değişik sebze yağları veya mısır, protein, doğal kauçuklardır. Bio polimerlerin çoğu halen geliştirilme aşamasındadır. Günümüzdeki bio kompozitlerin çoğu bio liflerden ve petrokimyasal matriks materyallerinden üretilmektedir (Miao ve Finn, 2008). Tablo 1.9’da bazı biyolojik polimerlerin genel özellikleri verilmektedir.

Tablo 1.10 Bazı biyolojik bozunabilir polimerlerin termal ve mekanik özellikleri (Gaceva ve diğerleri, 2007)

Polimer	Tg (°C)	Tm (°C)	Çekme mukavemeti (MPa)	Çekme modülü (GPa)	Kopma sırasında uzama (%)
PLA <sup>1</sup>	54	170	28-48	3,5	6
PCL <sup>2</sup>	-62	57	16	0,4	80
PHB <sup>3</sup>	5	171	40	3,5	7
PP <sup>5</sup>	-10	176	38	1,7	40

(<sup>1</sup> Polilaktik asit, <sup>2</sup> Polikaprolakton, <sup>3</sup> Polihidroksibutrat, <sup>4</sup> Polipropilen)

Doğal lif takviyeli kompozitlere, çevresel nedenlerin yanında, mekaniksel özellikleri, önemli işlenme avantajları, kimyasallara direnç ve düşük maliyet/düşük yoğunluk oranı bakımından yüksek performanslarından dolayı da büyüyen bir ilgi vardır (Gaceva ve diğerleri, 2007). Doğal lif takviyeli kompozitlerin avantajlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- düşük maliyet,
- yüksek sertlik,
- düşük yoğunluk,
- iyi spesifik mukavemet özelliği,
- azaltılmış alet aşınması (işleme ekipmanına aşındırma yapmaz),
- çoğaltılmış enerji geri dönüşüm,
- yakıldığında doğal CO<sub>2</sub>,
- biyolojik bozunabilirlik,
- toksik olmamaları.

Kompozitlerin en fazla kullanıldığı materyaller otomobiller olduğundan, otomotiv endüstrisi yeşil kompozitlerin kullanıcısı olarak başı çekmektedir (Marsh, 2003). Örneğin, Mercedes Benz firması, 1994 yılından beri jüt takviyeli plastikleri E-sınıf araçlarında iç kapı panellerinde kullanmaktadır (Şekil 1.27).



Şekil 1.27 Mercedes Benz A-sınıfında keten/PP iç kısım bileşenleri, cam lifli takviyeli plastik bileşenlerin yerini almıştır (Marsh, 2003)

Brady (2008), otomobil endüstrisinin, benzin fiyatlarındaki artışa rağmen, halen kompozitlerin ağırlığını düşürmek için yeterli derecede çalışma yapmadığını

vurgulamaktadır. Brady'e göre, otomotiv endüstrisinin başa çıkması gereken üç ana sorun: petrol için artan talep, kirlenme ve global iklim değişikliğidir. 2050'de dünyada 3,5 milyar aracın kullanımda olması öngörülmektedir ve bu miktar bugünün %300 fazlasıdır. Bugünkü 1 trilyon varil olan geleneksel benzin tedarikine göre benzin ihtiyacı, 2050'de çok daha fazla olacaktır. Ancak sadece 2 trilyon varil kullanılabilir benzin mevcuttur. Amerika Birleşik Devletleri için ana problem, çıkardığından daha çok petrol harcamasıdır. Tek başına benzin ekonomisi için petrolün ucuz olması yetmeyecektir. Ayrıca otomobilde kullanılan kısımların da ağırlıklarının azalması ve çevreci olması gerekmektedir (Brady, 2008).

Doğal lif takviyeli kompozitler alanındaki çoğu gelişme rasgele diskontinü lif kompozit sistemlerinin üzerine odaklanmıştır. Buna rağmen kontinü lif takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi yük-taşıma/yapısal uygulamalarda kullanılacak materyallerin üretiminde gereklidir (Goutianos, 2006).

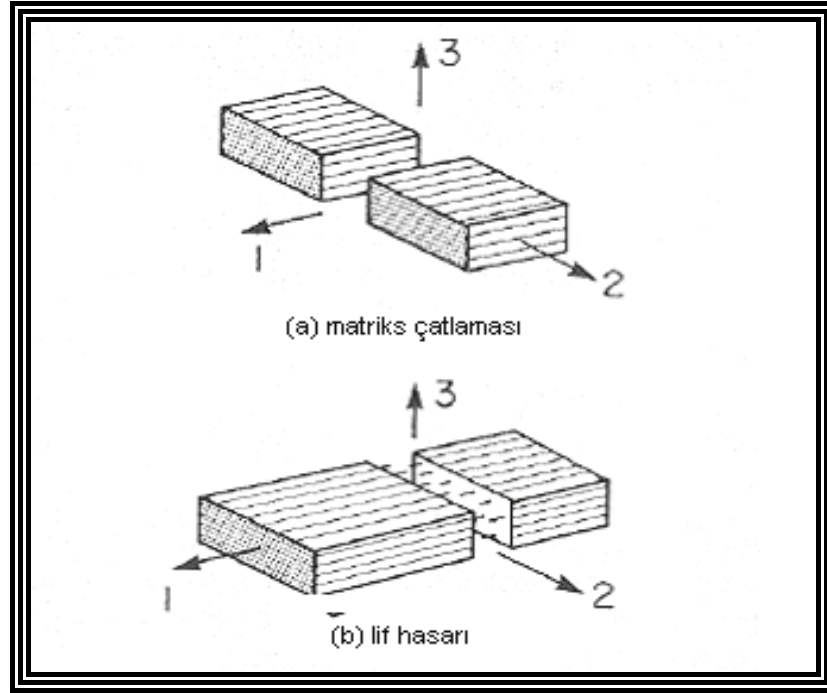
Kompozitler için takviye olarak kullanıldıklarında doğal liflerin bazı dezavantajları ve limitleri, ara yüzey yapışması (tutunmasının) az olmasıyla, nem emilimine karşı dayanıklılığın az olması, işleme sıcaklığının limitli olması (yaklaşık 200°C) ve düşük boyutsal stabilitesi (çekme, şişme) ile ilgilidir. Lif/matriks ara yüzeyi, kompozitlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde önemli bir rol oynar. Ara yüzey özelliklerini artırmak için doğal lifler, mum giderme, mersezyasyon, ağartma, silan muamelesi, peroksit muamelesi, isosiyanat muamelesi, asetilleme, lateks kaplama, buhar patlaması gibi kimyasal işlemlere tabi tutulurlar (Gaceva ve diğerleri, 2007).

## **1.5 Kompozit Materyallere Uygulanan Mekaniksel Testler**

### ***1.5.1 Çekme Mukavemeti Testi***

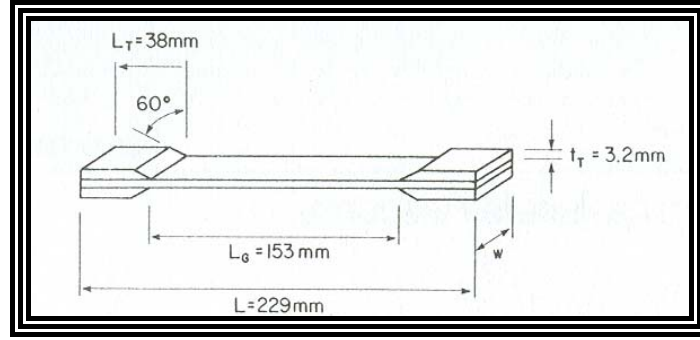
Bir çok yapısal materyaller için çekme özellikleri dizayn olanaklarını yönlendirir. Çekme testi, kompozitlerin, çekme modülünü, Poisson oranını, çekme mukavemetini ve şekil değiştirmeyi ölçmek için kullanılır (Carlsson ve Pipes 1997).

$0^\circ$  yönündeki numunelerde kompozitin kopma mukavemeti liflerin kopma mukavemetiyle elde edilirken,  $90^\circ$  numunelerdeki hasar matriks ve lif/matriks ara yüzeyindeki çatlama çoğalmasıyla meydana gelir (Şekil 1.28).



Şekil 1.28 Düzlemli yükleme altında bir kompozitin hasar modları:  
(a) matriks çatlama, (b) lif hasarı

Bir çekme testi yaparken, test numunesinin, çeneler tarafından iyice (tam olarak) tutulması çekme testlerinde dikkat edilmesi gereken ana unsurdur. Herhangi bir çekme testi için tutma alanında numune üzerine yüklemeler yapılır ve dolayısıyla beklenen hasarın gerçekleşmesi için yeterli derecede uzun çeneler arası mesafe kullanılmalıdır. Lif takviyeli kompozitler gibi yüksek derecede yönlü materyaller için uniform genişlikte (dikdörtgen) test numunesi geometrisinin en uygunu olduğu bulunmuştur (Şekil 1.29).



Şekil 1.29 ASTM D3039-76 çekme numunesi için geometri ve boyutlar

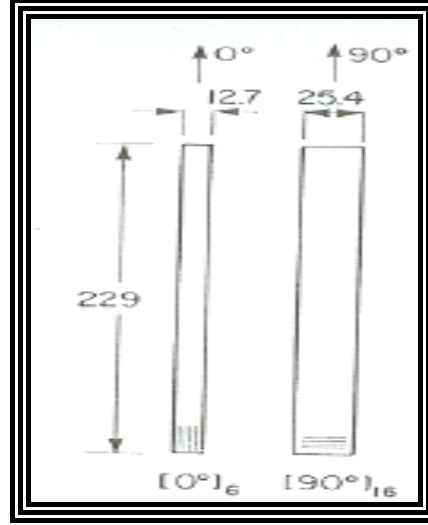
Tek yönlü tabakalı kompozitin çekme tepkisini karakterize etmek için, test tek yönlü  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  yönlerinde numunelere uygulanır.

Ölçülmesi gereken materyal özellikleri şunlardır:

- Lif yönünde elastisite modülü ( $0^\circ$ ),  $E_1$
- Lif yönüne dik yönde elastisite modülü ( $90^\circ$ ),  $E_2$
- Lif yönünde çekme gerilmesi ve şekil değişirme,  $X_1^T$ ,  $\varepsilon_1^T$
- Lif yönüne dik çekme gerilmesi ve şekil değişirme,  $X_2^T$ ,  $\varepsilon_2^T$
- Poisson oranları,  $\nu_{12}$ ,  $\nu_{21}$

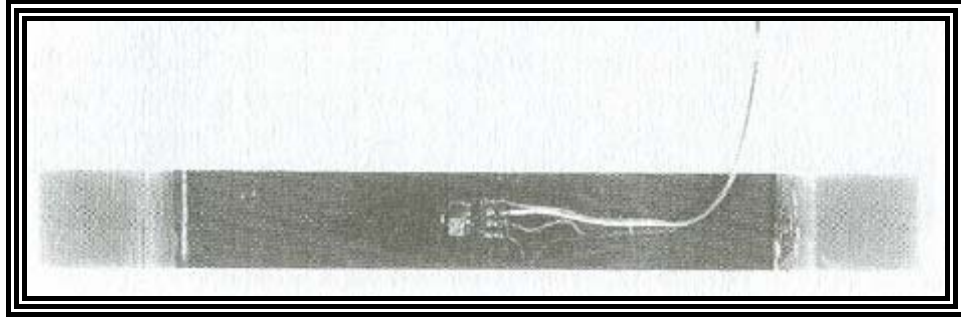
Lif oryantasyonunun  $0^\circ$  yönünde olduğu tek yönlü kompozitler için 12,7 mm numune genişliği ve altı kat kalınlık yaygındır (Şekil 1.30). Tek yönlü  $90^\circ$  numuneler tipik olarak 25 mm genişliğinde ve 8 ile 16 kat (her bir kat 0,127 mm) kalınlık arasındadırlar (Carlsson ve Pipes 1997).

Şekil 1.29'da gösterilen çene boyu,  $L_T$  en az 38 mm olmalıdır ve çene materyali 1,6-3,2 mm kalınlıkta olmalıdır. Çeneler arası mesafe,  $L_G$ , genellikle 125-155 mm arasındadır. Numune genişliklerindeki sapmalar %1 i geçmemelidir.



Şekil 1.30 Çekme testi için numune boyutları

Eğer Poisson oranı bulunmak isteniyorsa, numunenin orta çene bölümü alanına bir  $0^\circ/90^\circ$  strain gauge bağlanmalıdır (Şekil 1.31).

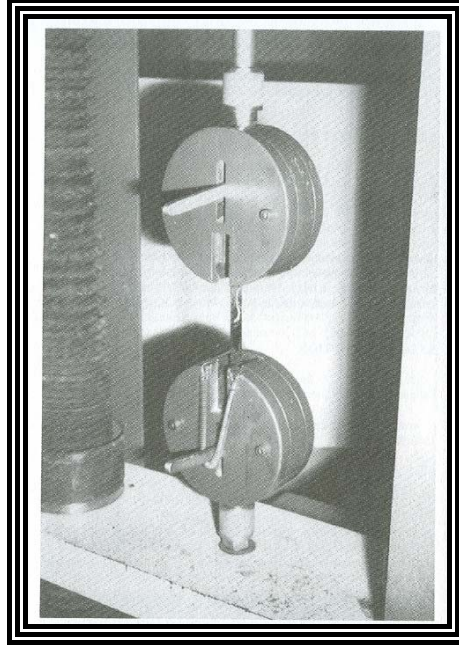


Şekil 1.31 Strain gauge'ler ile çekme parçaları

Çekme testi yapılmadan önce, numunenin üzerinde birkaç noktada çapraz kesit boyutlarının ölçülmesi gerekir. Daha sonra numune, tutucuların arasına geçirilir (Şekil 1.32).

Hız en fazla 2 mm/dak'ya ayarlanmalıdır. Yer değiştirme okumaları sürekli olarak veya kesikli yükleme aralıklarında kaydedilmelidir. Doğrusal tepki bölgesinde en az 25 veri noktası gerekmektedir. Toplam gerilme-şekil değiştirme davranışını elde edebilmek için toplamda 40-50 nokta gereklidir (Carlsson ve Pipes 1997).





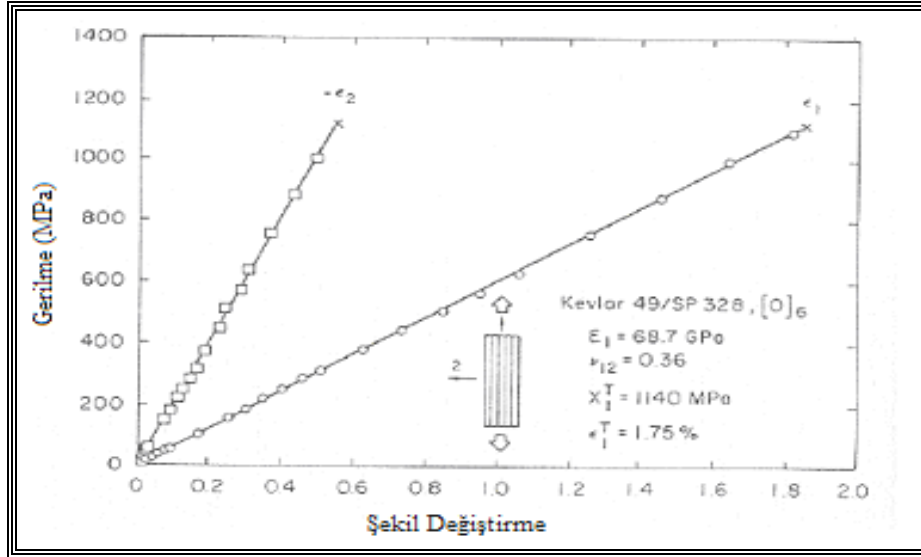
Şekil 1.32 Test kafesine yerleştirilmiş çekme parçası

Elastisite modülü ( $E_1$  ve  $E_2$ ) ve *Poisson oranları*, ( $\nu_{12}$ ,  $\nu_{21}$ ) şu şekilde tanımlanır:

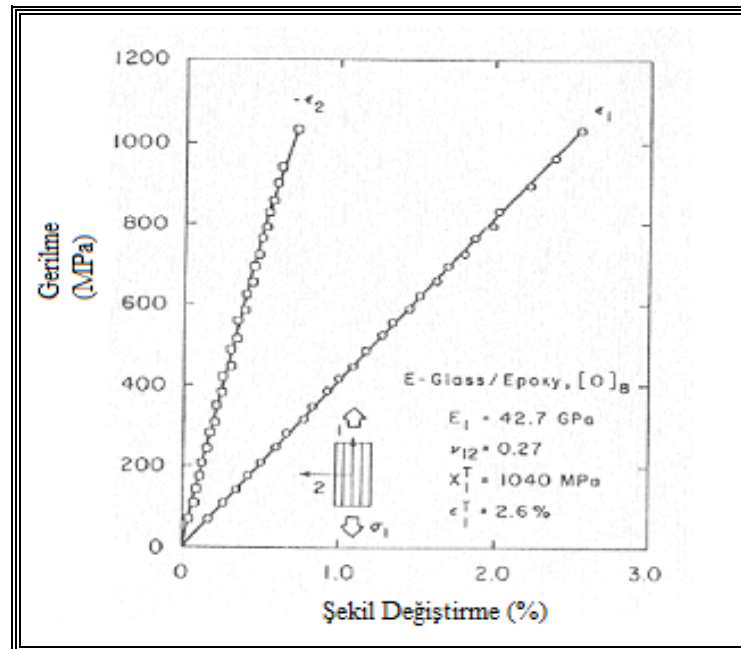
- $E_1$ :  $0^\circ$  çekme testi için gerilme-yer değiştirme eğrisinin ilk eğimi ( $\Delta\sigma_1 / \Delta\varepsilon_1$ )
- $\nu_{12}$ :  $0^\circ$  çekme testi için enine ve boylamsal yer değiştirmelerin negatif oranı ( $-\varepsilon_2 / \varepsilon_1$ )
- $E_2$ :  $90^\circ$  çekme testi için gerilme-yer değiştirme eğrisinin ilk eğimi ( $\Delta\sigma_2 / \Delta\varepsilon_2$ )
- $\nu_{21}$ :  $90^\circ$  çekme testi için enine ve boylamsal yer değiştirmelerin negatif oranı ( $-\varepsilon_1 / \varepsilon_2$ )

Boylamsal ve enine çekme mukavemetleri,  $X_1^T$  ve  $X_2^T$ ,  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  çekme testleri için  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  için nihai değerlerdir. Yer değiştirmeler  $\varepsilon_1^T$  ve  $\varepsilon_2^T$ ,  $X_1^T$  ve  $X_2^T$ 'nin gerilme-yer değiştirmeleridir.

$[0]_6$  kevlar/epoksi tek yönlü kompozite ait gerilimin  $\sigma_1$ , yer değiştirmeye  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$  karşı temsili örneği Şekil 1.33'de ve  $[0]_6$  E-cam/epoksi kompozite ait gerilimin  $\sigma_1$ , yer değiştirmeye  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$  karşı temsili örneği Şekil 1.34'de gösterilmiştir



Şekil 1.33  $[0]_6$  Kevlar/epoksi numunesi için çekme gerilme-yer değiştirme davranışı

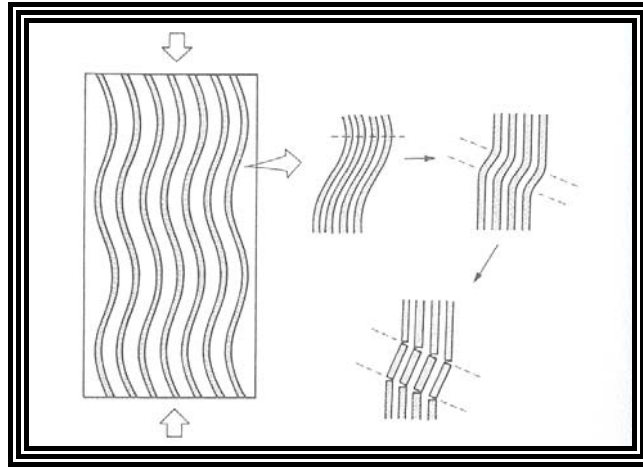


Şekil 1.34  $[0]_6$  E-cam/epoksi numunesi için çekme gerilme-yer değiştirme davranışı

### 1.5.2 Bası Mukavemeti Testi

Lif takviyeli kompozitler lif yönünde basınçlı olarak yüklendiğinde, lifler test bölümünde küçük bir alanda eğilebilirler. Bu durum da, çatlak ilerlemesinin çatlak doğrultusunda gelişmeyip, belirli bir açı kadar başka bir doğrultuda ilerlemesi olayıdır (kink zone) (Şekil 1.35). Bir kompozitin life dikey olarak basınçlı yüklenmesi matris ve lif/matris ara yüzey hasarını içerir ve çoğunlukla kayma tipinde gerçekleşir (Şekil 1.36).

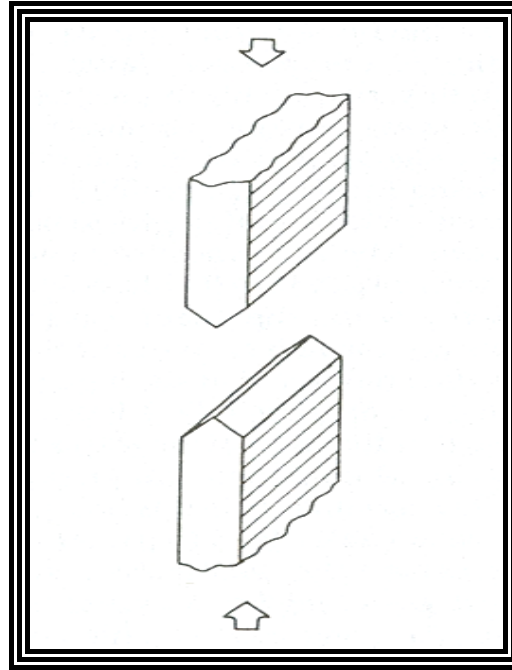
Bası testlerinde kısa çene mesafelerinde ölçülen test verileri, çenenin bastırma etkisine göre hatalı olabilir. Şekil 1.37, desteksiz, tek yönlü grafit/epoksi numunesi için uzunluk-kalınlık oranının bir fonksiyonu olarak görünen nihai bası mukavemetini göstermektedir. Uzun çene mesafelerinde gerilme, kompozit materyalin bası mukavemetine ulaşmaktadır. Uzun çene mesafelerinde, gerilme küçüktür. Çünkü çok ince bir numune, bel verir. Bu duruma Euler Bel Vermesi (Euler Buckling) adı verilir. Ancak, çok kısa çene mesafeleri için de mukavemette azalma görülmüştür. Bunun muhtemel nedeni de, çenelerin bastırma etkisinden dolayıdır.



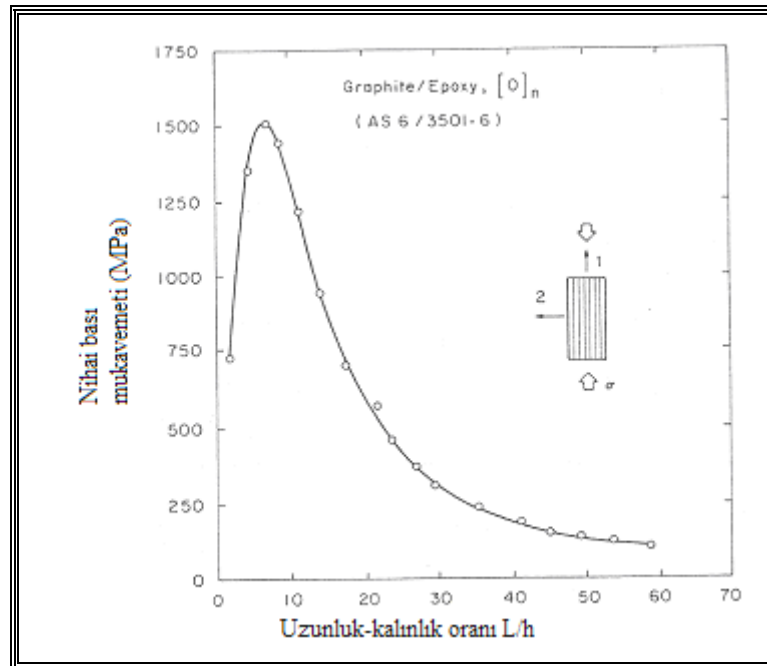
Şekil 1.35 Lif yönünde yüklenen bir kompozitin kink zone oluşumu boyunca bası hasarının mekanizması

Şekil 1.38, tipik bası hasar modlarını göstermektedir. Şekil 1.38 (a)-(c)'de gösterilen hasar modları kabul edilebilirdir. Stres toplanması klapa (tab) uçlarında olduğu için, hasar bu bölgede meydana gelme eğilimi göstermektedir. Bu tip hasarlar

çekme testinde kabul edilebilir değildir. Ancak çoğunlukla bası testinde kabul edilebilir; çünkü pratik olarak engellenemez. Bel verme hasarı (Şekil 1.38-d) elbette kabul edilebilir değildir. Ama strain gauge kullanılmadığı sürece anlaşılması zordur.



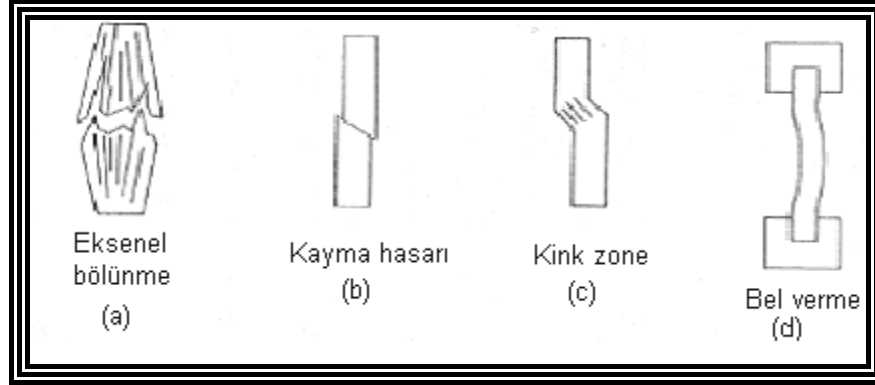
Şekil 1.36 Dik yönde yüklenen bir kompozitte bası hasarının kayma cinsi



Şekil 1.37 Bir grafit/epoksi numunesi için uzunluğun kalınlığa oranının bir fonksiyonu olarak bası gerilmesi

Ölçülmesi gereken bası özellikleri şunlardır:

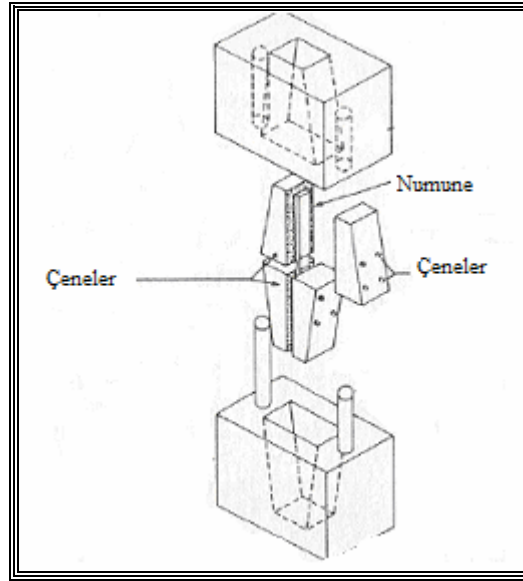
- lif yönünde elastisite modülü,  $E_1$
- lif yönünde bası gerilmesi ve deformasyonu (yer değiştirmesi),  $X_1^C$ ,  $\varepsilon_1^C$
- lif yönüne dik elastisite modülü,  $E_2$
- lif yönüne dik bası gerilmesi ve deformasyonu,  $X_2^C$ ,  $\varepsilon_2^C$



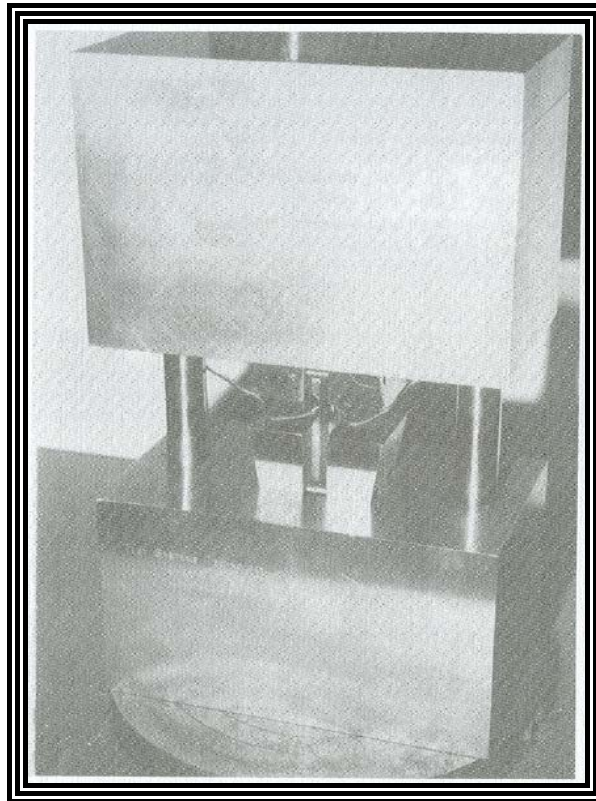
Şekil 1.38 Bası numuneler için tipik hasar modları

Kompozitlerin bası mukavemetini ölçmek için bir çok sayıda kompleks yükleme donanımı ve numune konfigürasyonu geliştirilmiştir. En geniş kabul gören metot, Illinois Institute of Technology Research Institute tarafından geliştirilen IITRI bası testidir (ASTM D3410). Bu test, kısmen daha kısa ve desteksiz test numunesini içerir. Şekil 1.39, IITRI test düzeneğini göstermektedir.

Standard IITRI numunesi 140 mm uzunluğunda, 12.7 mm çene parçasına sahiptir. Numune genişliği ve kalınlığındaki sapmalar  $\pm 0.025$  mm'yi geçmemelidir.

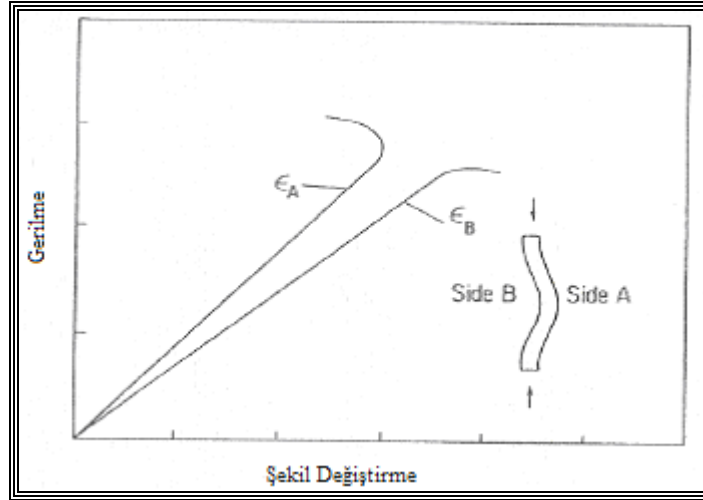


Şekil 1.39 ITRI bası testi yerleşim biçimi

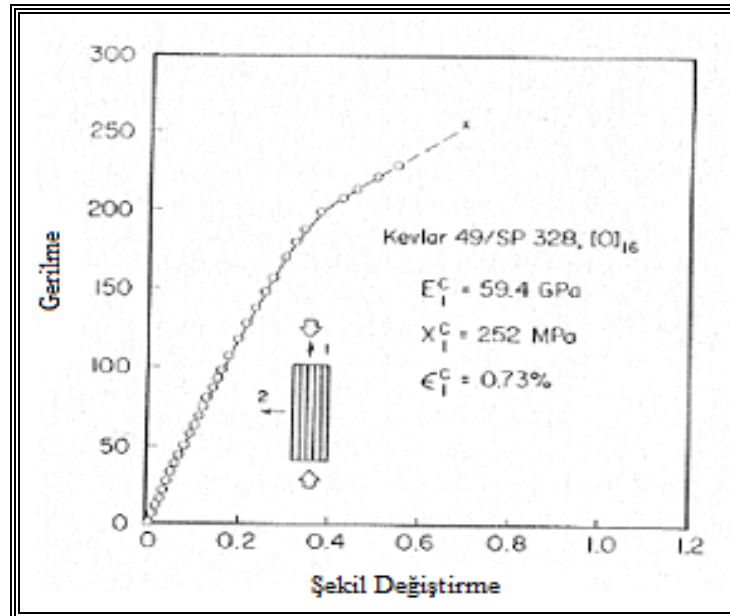


Şekil 1.40 Test kafesine yerleştirilmiş ITRI numunesi

Bası testlerinde gerilme-şekil değiştirme eğrisi elde edilir. Ancak elde edilen grafikler kontrol edilmelidir. Örneğin, Şekil 1.41, istenmeyen bir durumdur. Şekil 1.42'de,  $[0]_{16}$  Kevlar/epoksi kompoziti için bası gerilme-şekil değiştirme davranışını gösteren bir grafik verilmiştir.



Şekil 1.41 Euler bel vermesi nedeniyle başarısız olan numunenin bası gerilme-şekil değiştirme davranışı



Şekil 1.42 Bir  $[0]_{16}$  Kevlar/epoksi kompoziti için bası gerilme-şekil değiştirme davranışı

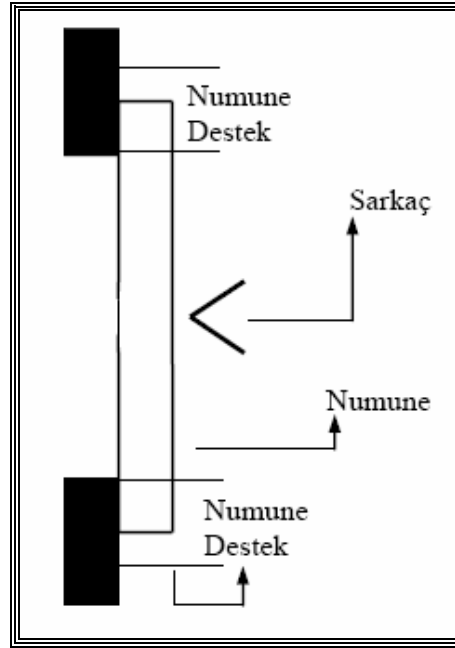
### ***1.5.3 Darbe Mukavemeti Testi***

Kompozit malzemelerin darbe mukavemetleri, kullanılan darbe test cihazından (serbest ağırlık düşürme, sarkaç gibi), çarpan cismin karakteristiğinden (uç şekli ve boyutu gibi), çarpan cismin hızı ve kütesinden, numunenin boyutlarından etkilenmektedir. Bu nedenle kompozit malzemelerin darbe özellikleri söz konusu olduğu zaman, tüm bu kıstasların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir

Darbe testleri ağırlık düşürme ve sarkaç testleri olmak üzere iki gruptur. Ağırlık düşürme testlerinde, kompozit malzeme bir test düzeneği üzerine sabitlenir ve üzerine düşük veya yüksek hızda darbe uygulanır. Sarkaç testlerinde kompozit bir düzeneğe sabitlenerek üzerine serbest düşme yapan bir sarkaç ile darbe uygulanır, bu testler Charpy ve Izod darbe testleri olmak üzere iki çeşittir. Bu doktora tez çalışmasında Charpy testi uygulandığı için, bu bölümde sadece bu test yöntemi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Charpy testi, ticari olarak mevcut olan makinelerde gerçekleştirilir (Mallick, 1993). Charpy testinde, test numunesi yatay bir kiriş tarafından desteklenir ve bir sarkaç tarafından kırılır (Şekil 1.43). Darbe, destekleri birleştiren hattın tam orta noktasından uygulanır. Charpy cihazında hem çentiksiz hem de çentikli numuneler test edilebilir (Brown, 2002).





Şekil 1.43 Charpy test düzeneği (Kara, 2006)

Kırılan numune tarafından absorbe edilen enerji, test makinesi üzerine yerleştirilmiş bir ibre tarafından gösterilir. Absorbe edilen enerji, darbenin başlangıcında sarkaç çekicinin enerjisi ile çekicinin numuneyi kırdıktan sonra sahip olduğu enerji arasındaki farka eşittir (Mallick, 1993).

## **BÖLÜM İKİ**

### **DÜZ ÖRME MAKİNESİNDE ÖRÜLMÜŞ KUMAŞ TAKVİYELİ KOMPOZİTLER İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Bu bölümde düz örme makinelerinde örülen kumaş takviyeli örme preformlu kompozitler alanında daha önce yapılmış olan çalışmalar, cam örme kumaş takviyeli kompozitler ve ekolojik kompozitler olmak üzere iki ayrı grupta incelenmiştir.

#### **2.1 Cam Örme Kumaş Takviyeli Kompozitler İle İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Alpyıldız ve arkadaşları, 2\*68 tex inceliğindeki cam iplikten 7E inceliğindeki düz el örme makinesinde 1\*1 rib ve Selanik türevi kumaşlar üretmişlerdir. Bu kumaşlardan 4 kat kullanılarak epoksi reçine ile kompozit plakalar oluşturulup, bu plakaların çekme, bası ve darbe özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, yapısında her iki sırada bir askı formu bulunduran selanik türevi örgü kumaşın çekme mukavemeti ilmek sırası yönünde 1\*1 rib örgü kumaşa nazaran daha yüksek çıkmıştır. Yazarlar bunun nedenini, sıra yönündeki çekme testlerinde yapıdaki ilmek başlarının çekme mukavemetine maruz kısımlar olmasına ve askıların çekme mukavemetine pozitif bir katkısı olmasına bağlamışlardır. Ancak çalışmada tam tersi olarak çubuk yönündeki çekme mukavemeti testinde Selanik türevi örgü kumaşın değerleri daha düşük çıkmıştır. Yazarlar, bunun nedenini çubuk yönündeki yüklemelerde askı ve ilmek kollarının yüke maruz kaldığı ve askıların, çubuk yönünde yüklemelerde yapıya pozitif yönde destek olamadıkları tespitine bağlamışlardır. Çünkü yükleme doğrultusuna ilmek başlarına nazaran askı ipliklerinin daha yüksek açı yaptıkları, dolayısıyla da ilmek kollarına nazaran daha çabuk kırıldıkları belirtilmiştir. Bası mukavemeti testinde ise Selanik türevi örgü kumaş her iki yönde de düşük mukavemet sergilemiştir. Dolayısıyla yazarlar, askıların bası mukavemetine pozitif bir katkıda bulunmadığı kanısına varmışlardır (Alpyıldız, İçten, Karakuzu ve Kurbak, 2009). Araştırmanın çekme deneysel sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 8\*12 tex Ecam filamentini örgü ipliği olarak kullanmışlar, 2400 tex cam filamentini ise eksenel ve bağlama ipliği olarak kullanarak yatay ve düşey yönlerde iplik takviyeli iki eksenli atkı örme kumaş

üretmişlerdir. Ancak çalışmada, iki yönde takviyelendirilmiş spacer kumaşın hangi makinede veya kaç incelikte bir makinede örüldüğü belirtilmemiştir. Daha sonra örülen kumaş vinil ester ile bir araya getirerek kompozit oluşturmuşlar ve kompozitin düzlem içi ve düzlem dışı bası özellikleri şekil değiştirme oranının bası davranışı üzerine etkisini incelemek için test etmişlerdir. Bası sertliği ve kırılma gerilmesi (failure stress), şekil değiştirme oranı artıkça lineer olarak arttığı, şekil değiştirme oranı artıkça kırılma şekil değiştirmesi (failure strain) lineer olarak azaldığı görülmüştür (Liu, Sun, Hu ve Gu, 2007). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Dev ve arkadaşları, 8 kat 68 tex inceliğindeki bükülmüş katlı E-cam ipliklerden 5E inceliğindeki, düz el örme makinesinde üretilen rib örgü cam kumaş üretilmiştir. Ayrıca 1\*1 rib kumaşa enine yönde bükülü iplik veya bükümsüz fitil yatırımlı preformlar üretilmiştir. Daha sonra bu preformlar epoksi ile kompozit haline getirilip; çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe özellikleri bakımından test edilmiştir. Bükülmüş katlı iplikler düz örme makinesinde örülmeden önce silan ile kaplanmıştır. Ayrıca kumaşların yerleştirme sırasının da [0/0 ve 0/90] etkisi araştırılmıştır. Enine yönde yatırımlar, ilmek sırası yönünde önemli derecede mekaniksel özellikleri iyileştirdiği görülmüştür. 0/90 yerleştirme yönünde darbe özelliklerinin 0/0 yönüne nazaran daha iyi olduğu bulunmuştur. Dev ve arkadaşları, çalışmalarında aslında bükümlü ipliklerin reçineyi emmesinin daha zor olduğunu, bu nedenle bükümlü ipliklerden üretilen tekstil takviyeli kompozitlerin mukavemetlerinin de düşük olduğunu; ancak söz konusu cam iplik olduğunda bükülmemiş cam ipliklerin örme işlemi sırasında daha çok zarar alıp kırıldığını ve mukavemetlerinin düşük çıktığını ortaya koymuşlardır. Bükümlü cam iplikler ile takviye edilen kompozitler bükülmemiş cam fitil ile takviyelendirilen tabakalara nazaran daha iyi mekaniksel özellikler göstermiştir. Dev ve arkadaşları, çalışmalarında darbe testlerini Izod darbe test cihazı ile yapmışlardır (Dev, Swarna ve Madhusoothanan, 2005). Araştırmada elde edilen çekme ve bası mukavemeti sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir, ancak, çalışmada darbe testi ağırlık düşürme prensibine göre gerçekleştirildiğinden ve dolayısıyla Charpy darbe testi sonuçları ile karşılaştırma yapılamayacağından, bu test sonuçları belirtilmemiştir.

Tablo 2.1 Cam örme kumaş takviyeli kompozitler ile ilgili çalışmaların sonuçları

Referans	Lif Ağırlık Oranı (%)	Örgü yapısı	Çekme Muk. (MPa)		Darbe Muk. (kJ/m <sup>2</sup> )		Bası Muk. (MPa)		Matris
			çubuk	sıra	çubuk	sıra	çubuk	sıra	
Alpyıldız, 2009	32*	Selanik türevi (4 kat)	95	88	***	***	105	120	Epoksi
	22*	1*1 Rib (4 kat)	120	65	***	***	150	130	
Liu, 2007	-	Boyuna İplik Takviyeli Spacer	-	-	-	-	160		Vinilester
Dev, 2005	25	Rib (2kat) Yatırımsız	31	17,5	40**	36**	-	-	Epoksi
	28	Rib (2kat) Tek Yatırlı Bükümsüz Fitol	32,5	45	70**	87,5**	-	-	
	32	Rib (2kat) Çift kat Yatırlı Bükümsüz Fitol	46	75	80**	90**	-	-	
	25	Rib (2kat) Yatırımsız Bükümlü İplik	30	17,5	41**	36**	-	-	
	28	Rib (2kat) Tek kat Yatırlı Bükümlü İplik	32,5	45	65**	80**	-	-	
	32	Rib (2kat) Çift kat Yatırlı Bükümlü İplik	45	77,5	80**	110**	-	-	

\* Lif hacim oranı

\*\* Darbe testi Izod test cihazında yapılmıştır

\*\*\* Darbe testi ağırlık düşürme metoduna göre gerçekleştirilmiştir

Khondker ve arkadaşları çalışmalarında, E-cam atkı örme kumaşlardan üretilen kompozit materyallerin darbe dayanımı ve toleransı ile ilgilenmiştir. Üç farklı atkı örme yapı, 2x68 tex inceliğindeki cam ipliklerden, 8E inceliğindeki V yataklı düz el örme makinesinde Milano rib, 1\*1 rib ve düz örgü kumaşlar örülmüştür. Atkı örme kompozitlerin darbe ve sıkıştırmadan sonraki darbe özellikleri üzerine, atkı örme

kumaş türünün ve örme yapısal parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Darbelenmiş materyallerin hasar morfolojisi ve hasar mekanizmaları karakterize edilmiştir. Sonuçta, örme kumaş türünün ve yapısal parametrelerdeki (ilmek yoğunluğu ve ilmek iplik uzunluğu) değişikliklerin her ikisi de kompozitlerin hasar dayanımını ve toleransını etkilediği tespit edilmiştir. Örgü kumaşta ilmek yoğunluğu artıkça daha iyi bir darbe dayanımı sergilediği bulunmuştur. Böylelikle kompozitin yapısal bütünlüğünü geliştirmiş ve daha iyi darbe hasar dayanımı ve toleransı sunmuştur (Khondker, Leong, Herszberg ve Hamada 2005). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.2’de verilmiştir.

Khondker ve Herszberg, örme kompozitlerin ilmek sırası ve çubuğu yönündeki çekme ve bası davranışlarını incelemek amacıyla 8E inceliğindeki V yataklı düz el örme makinesinde 2\*68 tex inceliğinde multifilament cam iplikleri kullanılarak düz örme, rib ve Milano örme kumaşlar üretmişlerdir. Vinilester reçine ile kompozit haline getirilen örme kumaşların, çekme mukavemeti ve Poisson oranları bulunmuştur. Numunelerin hasar durumları elektron mikroskobunda analiz edilmiştir. Örme kompozitlerin mekaniksel özelliklerindeki herhangi bir değişikliğin örme yapısındaki lif dağılımına, yapısal düzensizliklere bağlı olduğu bulunmuştur (Khondker ve Herszberg, 2001,a). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Cam örme kumaş takviyeli kompozitler ile ilgili çalışmaların sonuçları

Referans	Lif Ağırlık Oranı (%)	İmek yoğunluğu	Örgü yapısı	Çekme Muk. (MPa)		Darbe Muk. (kJ/m <sup>2</sup> )	Bası Muk. (MPa)		Matris
				çubuk	sıra		çubuk	sıra	
Khondker 2005	53,68	1,61	Düz örgü (12 kat)	-	-	-	140	138	Vinilester
	47,98	1,16	Düz örgü (16 kat)	-	-	-	169	145	
	53,45	0,86	Milano rib (6 kat)	-	-	-	171	165	
	51,97	0,79	Milano rib (6 kat)	-	-	-	163	155	
	53,75	0,58	Milano rib (6 kat)	-	-	-	183	183	
	51,46	0,80	Rib	-	-	-	164	160	
	53,04	0,60	Rib	-	-	-	170	155	
	54,41	0,54	Rib	-	-	-	189	170	
Khondker 2001,a	53,68	1,61	Düz örgü (12 kat)	168	65	-	-	-	Vinilester
	47,98	1,16	Düz örgü (16 kat)	215	60	-	-	-	
	53,45	0,86	Milano (6 kat)	120	80	-	-	-	
	51,97	0,79	Milano (6 kat)	130	81	-	-	-	
	53,75	0,58	Milano (6 kat)	160	115	-	-	-	
	51,46	0,80	Rib	95	75	-	-	-	
	53,04	0,60	Rib	130	100	-	-	-	
	54,41	0,54	Rib	135	120	-	-	-	

Khondker ve arkadaşları, 8E inceliğindeki V-yataklı düz el örme makinesinde 2\*68 tex E-cam ipliği vinilester ile kompozit haline getirdikten sonra bası dayanımlarını incelemişlerdir (Khondker, Leong, Herszberg, 2001, b). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Leong, 2\*68 tex multifilament cam iplikten 10E inceliğindeki düz el örme makinesinde ürettiği Milano rib kumaşları vinilester reçine ile kompozit haline getirmiştir. Daha sonra kompoziti %20, %35 ve %45 oranlarında deformasyona uğratmış; çekme ve bası özelliklerindeki değişimleri gözlemlemiştir. Deformasyona tabi tutulmamış kompozitlerin özellikleri Tablo 2.3’de verilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda örgü yapısındaki değişikliklerin hasara uğramış kompozitlerin mekaniksel özelliklerinde değişime yol açtığı bulunmuştur. Ayrıca elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde lif kopmalarından kaynaklanan çekme hasarının ilmeklerin iki ana kısmında gerçekleştiği gözlemlenmiştir, bunlardan birincisi ilmek bacakları diğer kısım ise liflerin üst üste bindiği ilmek kesişim noktalarıdır (Leong, Nguyen ve Herszberg, 1999).

Leong ve arkadaşları, reçine transfer kalıplama yöntemine göre üretilmiş cam atkı örme kumaş takviyeli Milano örgü kumaşların mekaniksel özelliklerini araştırmışlardır. Milano örgü kumaş, 68 tex inceliğindeki multifilament E-cam ipliğinden 10 E inceliğindeki düz el örme makinesinde üretilmiş ve kompozit içinde 12 kata kadar takviyelendirme amaçlı kullanılmıştır. Kompozitlerin çekme, bası, basıdan sonra darbe dayanımı gibi özellikleri test edilmiştir (Leong, Falzon, Bannister ve Herszberg, 1998). Çalışmanın sonucunda geleneksel kompozit materyallerine nazaran örgü kompozitlerin daha düşük çekme ve bası özelliklerinin olduğu ancak karşılaştırılabilir eğilme performansı ve daha üstün soğurma ve hasar sonrası özelliklerinin olduğu bulunmuştur. Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Ramakrishna ve arkadaşları, cam ve polipropilen iplikler ile el örme makinesinde düz örgü kumaş üretmiş ve daha sonra kumaşı sıcak preste basınçla kalıplamıştır. Böylelikle yüksek sıcaklıkta PP iplikler eriyip termoplastik kompozit meydana

getirmişlerdir. Yazarlar, elde edilen anizotropik örgü kompozitlerin çubuk yönündeki mukavemetlerinin ilmek sırası yönüne nazaran çok daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca düz örgü kumaşın ilmek yoğunluğu artıkça, kompozitin de çekme mukavemetinin önemli derecede yükseldiği görülmüştür. Dahası yazarlar, kompozitteki lif hacim oranının artırılarak daha iyi mekaniksel özelliklerin elde edilebileceğini bulmuşlardır (Ramakrishna, Hamada, Cuong ve Maekava, 1995). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Cam örme kumaş takviyeli kompozitler ile ilgili çalışmaların sonuçları

Referans	Lif Ağırlık Oranı (%)	Örgü yapısı	Çekme Muk. (MPa)		Darbe Muk. (kJ/m <sup>2</sup> )		Bası Muk. (MPa)		Matriks
			çubuk	sıra	çubuk	sıra	çubuk	sıra	
Khondker, 2001, b	59,8	Milano rib (6 kat)	-	-	-	-	150	158	Vinil ester
Leong, 1999	55*	Milano rib (7 kat)	110	-	-	-	160	-	Vinilester
Leong 1998	30,0*	Milano rib (6 kat)	87,6	76,8	-	-	-	-	Epoksi
	34,4*	Milano rib (8 kat)	106,4	99,2	-	-	-	-	
	43,2*	Milano rib (12 kat)	117,6	-	-	-	-	-	
	28,3*	Milano rib (6 kat)	-	-	-	-	172,8	-	
	34,6*	Milano rib (8 kat)	-	-	-	-	177,8	186,5	
	44,9*	Milano rib (10 kat)	-	-	-	-	196,2	192,5	
	51,0*	Milano rib (12 kat)	-	-	-	-	198,1	200,7	
Ramakrishna, 1997	50	Düz örgü (4 kat)	50	35	-	-	-	-	PP

\*Lif hacim oranı



## 2.2 Ekolojik Kompozitler İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ekolojik kompozitler üzerine yapılmış çalışmaların çoğunluğu, lif yatırımlarının rasgele yapıldığı kompozitlere odaklanmıştır. Bu tip çalışmalarda, liflerin kompozit içersine herhangi bir oryantasyonundan bahsedilemez. Ancak özellikle yük taşınmasının gerektiği yapısal uygulamalarda, liflerin düzgün bir şekilde oryante olduğu kompozitler şarttır. Diğer yandan, ekolojik kompozitler alanında, doğal lif içerikli kumaş takviyeleri araştırmaları da başlamıştır. Öncelikle basit dokuma ve örme yapıları denenmiştir. Bu çalışmalardan, önce lif takviyeleriyle ilgili alanları ve daha sonra kumaş takviyeleri ile ilgili olanları aşağıda verilmiştir.

Bledzki ve arkadaşları, 244 tex inceliğinde özel üretilmiş yüksek mukavemetli abaka ve suni selüloz lifi kullanarak polilaktik asit ile kompozitler üretmişlerdir. Üretim sırasında öncelikle PLA lifler ile birlikte çekilmiştir. Bu şekilde PLA'nın bir kaplama maddesi gibi liflere iyi bir şekilde nüfuzu sağlanmıştır ve PLA ile biokompozit elde edilmiştir. Daha sonra bu karışım ile enjeksiyon kalıplama yapılarak yüksek mukavemetli bir kompozit eldesi amaçlanmıştır. Yazarlar, suni selüloz eklenmesiyle, saf PLA'ya nazaran, charpy darbe testi mukavemetinde 3.60 oranında daha iyi değerler elde etmişlerdir (Bledzki, Jaszkiwicz, Scherzer, 2009). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.4'de verilmiştir.

Müssig tarafından, pamuk ve rami liflerinden 800 g/m<sup>2</sup> ağırlığında dokusuz yüzey kumaş üretilip, oluşan kumaş epoksi ve biyolojik bazlı termoset PTP isimli reçine ile emdirilerek iki tip kompozit üretilmiştir. Çalışmada kullanılan liflerin kopma mukavemetleri ölçülmüş, ayrıca oluşan kompozitlerin darbe dayanımları 225 mm'lik çekiç kolu boyuna sahip Charpy cihazında test edilmiştir. Yazarla çalışmalarında pamuk kullanmalarının nedenini, pamuk lifinin otomobillerin iç kısımlarında kullanılabilir ucuz ve doğal bir lif olmasına bağlamışlardır. Çalışmanın sonucunda pamuk lifinin özelliklerinin, kompozit özelliklerini yakından etkilediği bulunmuştur (Müssig, 2008). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.4'de verilmiştir.

Pothan ve arkadaşları, reçine ile daha iyi birleşebilmesi için NaOH ile modifiye ettikleri sisal ipliklerden bezayağı, dimi kumaş oluşturmuşlar ve bir de dokusuz

yüzey üretmişlerdir. Polyester reçine ile reçine transfer kalıplama yöntemine göre kompozit haline getirdikleri kumaşların çekme dayanımlarını ve reçine transfer kalıplama işlemi koşullarının kompozitin mukavemeti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, reçine transfer kalıplamada uygulanan basınçtan çok, reçinenin viskozitesinin, lif yüzey modifikasyonunun ve dokuma kumaş yapısının kompozit özelliklerine etki ettiği saptanmıştır (Pothan, Mai, Thomas ve Li, 2008). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.4’de verilmiştir.

Carvalho ve arkadaşları, hibrid jüt/pamuk takviyeli polyester kompozitlerin çekme mukavemetlerini araştırmışlardır. Bu amaçla farklı jüt ağırlık oranları kullanılmıştır ve kompozit içersine kumaş tabakaları [0], [0/90], [0/90/0], [90/0/90] ve [0/90/0/90] oryantasyonunda yerleştirilmiştir. [0] yerleşimli kompozitlerde jüt ağırlık oranının değiştirilmesinin çekme mukavemetinde önemli bir değişikliğe yol açmadığı bulunmuştur ancak diğer yerleşimlerde polyester reçine ile jüt lifinin birleşmesi daha zor olduğu için çekme mukavemetleri düşmüştür (Carvalho, Souza ve Almeida, 2007).

Tablo 2.4 Eko kompozitler ile ilgili çalışmaların sonuçları

Referans	Lif Ağırlık Oranı (%)	Kompozit preformu	Çekme Muk. (MPa)	Darbe Muk. (kJ/m <sup>2</sup> )	Bası Muk. (MPa)	Matris
Bledzki 2009	30	Abaka	74	5,3	-	PLA
		Suni Selüloz	92	7,9	-	
Müssig 2008	40	Dokusuz yüzey pamuk	-	78	-	Epoksi
	40	Dokusuz yüzey ramî	-	28	-	
	40	Dokusuz yüzey pamuk	-	49	-	PTP (termoset)
	40	Dokusuz yüzey ramî	-	20	-	
Pohtan 2008	26	Sisal bezayağı dokuma	28	-	-	Polyester
	22	Sisal dimi dokuma	33	-	-	
Carvalho 2007	47,7	Dokuma (çözüde jüt, atkıda pamuk) %45 jüt	62,5	-	-	Polyester
	39	Dokuma (çözüde jüt, atkıda pamuk) %39 jüt	72,1	-	-	
	43,5	Dokuma (çözüde jüt, atkıda pamuk) %43,1 jüt	73,1	-	-	
	40,4	Düz örgü jüt	19,8 (sıra 15,4)	-	-	
	26,4	Bezayağı dokuma jüt	23,1 (atkı 15,4)	-	-	
	38,0	Bezayağı dokuma jüt	40,0 (atkı 36,4)	-	-	

Khanam ve arkadaşları, sisal ve artık ipek liflerinden hibrid kompozit üretmişlerdir. Sisalin reçine ile daha iyi birleşebilmesi için, %2'lik NaOH ile işleme tabi tutmuşlardır. Sisal ve ipek lifleri 2'şer cm boyutunda kesilip polyester reçine ile kompozit haline getirilmiştir. Yazarlar tarafından lif ağırlık oranı belirtilmeyen kompozitin çekme mukavemeti araştırılmıştır. Araştırma sonucunda NaOH ile muamele edilen liflerden elde edilen kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetlerinde olumlu bir artış gözlemlenmiştir (Khanam, Reddy, Raghuk, John ve Naidu, 2007). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Zampaloni ve arkadaşları, yaptıkları araştırmada ısıyla yeniden şekillendirilebilir kenaf lifi takviyeli polipropilen levhaların üretimine odaklanmışlardır. Bu materyaller için optimum üretim yönteminin, mikro incelikteki polipropilen toz ile kesilmiş kenaf liflerinin karıştırılıp daha sonra basınçlı kalıplanması olduğu bulunmuştur. Ayrıca elde edilen kompozitin çekme mukavemeti değerleri literatürdeki kenevir, keten, sisal ve hindistan cevizinden üretilen kompozitlerin değerleri referans alınarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca oluşan kompozite standart atmosfer koşullarında şekil verilmiş, ancak başarılı sonuç elde edilememiştir (Şekil 2.1). Daha sonra laboratuvar tipi bir şekillendirme makinesi ile ısıyla şekillendirme yapılmış ve başarılı sonuç elde edilmiştir (Şekil 2.2) (Zampaloni, Pourboghrat, Yankovich, Rodgers, Moore, Drzal, Mohanty ve Misra, 2007). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Standart atmosfer koşullarında şekillendirilmiş Kenaf/PP kompozit



Şekil 2.2 Isıyla şekillendirilmiş Kenaf/PP kompozit

Carvalho ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, 340 g/m<sup>2</sup> ağırlığında bezayağı dokuma ve 821 g/m<sup>2</sup> ağırlığında el örme makinesinde örülen düz örgü olmak üzere iki tip jüt kumaş üretmişlerdir. Düz örgü kumaş, 3E inceliğindeki el örme makinesinde örülmüştür. Kompozit üretiminde matriks materyali olarak, doymamış polyester reçine kullanmışlardır ve elde edilen kompozitlerin çekme mukavemetlerini test etmişlerdir. Araştırma sonucunda bezayağı dokuma kumaşın çekme mukavemeti, düz örgüden daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca bezayağı dokuma kumaşın çekme mukavemeti lif hacim oranına ve test yönüne bağlıyken, çalışmada kullanılan düz örgü kumaş takviyeli kompozitin çekme mukavemeti bu faktörlerden bağımsız çıkmıştır. Dahası bezayağı kumaşın reçineyi düz örgü kumaşa nazaran daha iyi emdiği görülmüştür (Carvalho, Cavalcante ve D'almeida, 2006). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Goutianos ve arkadaşları, tek yönlü şeritler veya dokuma kumaş şeklinde tekstil takviyeleri kullanarak yapısal uygulamalar için yüksek performanslı doğal lif kompozit sistemleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. 570 tex kalığındaki keten ipliğinden çeşitli sıklıklarda bezayağı dokuma kumaş dokumuşlardır. Daha sonra bunları vinilester reçine ile reçine transfer kalıplama yöntemi ile kompozit haline getirmişlerdir. Elde edilen kompozitler çekme mukavemeti ve dinamik mekaniksel ısı analizine tabi tutulmuştur (Goutianos, Peijs, Nystrom ve Skrifvars, 2006). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Fouk ve arkadaşları, %50 pamuk - %50 keten iplik üretilip, bunlardan denim kumaş dokumuşlardır. Dokunan kot kumaşı, yüksek yoğunluklu polietilen ile kompozit haline getirilmiştir. Yazarlar, düz ve mukavemim keten liflerinin kompozitlerde problem yarattığını savunmuşlardır. Bu durumun nedenini ise iplik üretimi sırasında bu tip keten liflerinin birbirine sıkıca tutunmamasına ve lif eksenine boyunca daha fazla çap varyasyonları göstermesine bağlamışlardır (Fouk, Chao, Akin, Dodd ve Layton 2006). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5 Eko kompozitler ile ilgili çalışmaların sonuçları

Referans	Lif Ağırlık Oranı (%)	Kompozit Preformu	Çekme Muk. (MPa)	Darbe Muk. (kJ/m <sup>2</sup> )	Bası Muk. (MPa)	Matris
Khanam, 2007	-	Sisal ve ipek elle serme (NaOH ile muamele edilmiş)	18,95	-	-	Polyester
		Sisal ve ipek elle serme (NaOH ile muamele edilmiş)	23,61	-	-	
Zampaloni, 2007	30	Kenaf lifi elle serme	45	-	-	Polipropilen
	40	Kenaf lifi elle serme	43	-	-	
	40	Kenaf lifi elle serme	51	-	-	
	40	Kenevir lifi elle serme	52	-	-	
	40	Hindistan cevizi lifi elle serme	10	-	-	
Carvalho, 2006	26,4	Jüt bezayağı dokuma	23,1 çözüğü 23,0 atkı	-	-	Polyester
	23,4	Jüt düz örgü	17,8 çubuk 16,8 sıra	-	-	
Goutianos, 2006	55	Keten bezayağı dokuma Atkı yönünde çift iplik yatırımlı	129 çözüğü 99 atkı	-	-	Vinitester
Foulk, 2006	-	%50 %50 Keten/Pamuk Dimi dokuma	35,8	-	-	Polietilen

Bjurenstedt, tez çalışmasında selüloz asetat propionat kullanarak otomobillerin iç kısımlarında kullanılmak üzere biyolojik olarak geri dönüştürülebilir kompozit üretmeye çalışmıştır. Kompozit yapımı için özel üretilmiş keten liflerinden dokusuz yüzey yapıp, basınçlı kalıplama ile kompozit haline getirilmiştir. Kompozitlerin darbe özellikleri test edilmiştir (Bjurenstedt ve Larneklint, 2004). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.6'da verilmiştir.

Plackett ve arkadaşları, L-500 adı altında satılan L-polylaktid reçineyi granül formunda alıp, film formuna getirmişlerdir. Jüt hazır olarak dokusuz yüzey formunda satın alınmıştır. Daha sonra bu dokusuz yüzey PLA filmlerinin arasına konulup, 220°C'de ve 400 Pa basınç altında basılmasıyla kompozit elde edilmiştir.

Kompozitin çekme mukavemeti sonucuna bakılmış ve Izod darbe testi gerçekleştirilmiştir (Plackett, Anderson, Pedersen ve Nielsen, 2003). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.6'da verilmiştir.

Garkhail ve arkadaşları, keten liflerinden dokusuz yüzey bir mat elde edip bunu isotaktikpolipropilen ile kompozit haline getirmişlerdir. Elde edilen kompozitlerin sertlik, eğilme dayanımı, çekme mukavemeti ve Charpy darbe dayanımları ölçülmüştür. Bulunan değerler sonucunda, yazarlar, doğal lif takviyeli kompozitleri düşük maliyetli mühendislik uygulamaları için ilgi çekici olarak göstermiştir ve özellikle birim başına yüksek sertliğin istendiği durumlarda doğal liflerin cam lifi ile yarışabileceğini savunmuşlardır (Garkhail, Heijenrath ve Peijs 2000). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.6'da verilmiştir.

Williams ve arkadaşları, keten ve kenevir liflerini kalıp içerisine elle serip, soya yağı reçinesi ile bir araya getirip kompozit üretmişler ve kompoziti çekme mukavemetini, eğilme modülünü ve oda sıcaklığında su absorpsiyonunu test etmişlerdir. Yazarlar elde edilen veriler sonucunda, geri dönüştürülebilir doğal kompozitlerin yeni, yüksek miktarlardaki, düşük maliyetli üretimler için büyük bir potansiyel arz ettiğini savunmuşlardır (Williams ve Wool, 2000). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.6'da verilmiştir.

George ve arkadaşları, otoklav kalıplama tekniğine göre keten lif takviyeli epoksi kompozitler üretmişlerdir. Çalışmalarında, lignin içeriği, pektin içeriği ve polimerizasyon derecesi gibi lif parametrelerinin kompozitin özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Ayrıca liflere, alkali muamelesi, silan muamelesi gibi lif yüzey modifikasyonları uygulanarak lif-matriks bileşiminin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Kompozit içerisinde keten lifi dokusuz yüzey formunda kullanılmıştır (George, Weyenberg, Ivens ve Verpoest, 1999). Araştırmanın deneysel sonuçları Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6 Eko kompozitler ile ilgili çalışmaların sonuçları

Referans	Lif Ağırlık Oranı (%)	Kompozit Preformu	Çekme Muk. (MPa)	Darbe Muk. (kJ/m <sup>2</sup> )	Bası Muk. (MPa)	Matriks
Bjurenstedt, 2004	-	Keten dokusuz yüzey	-	10	-	Selüloz asetat propiyonat
Plackett, 2003	40	Jüt dokusuz yüzey	72,7	14,3**	-	PLA
Garkhail, 2000	-	-	35	13	-	PP
Williams, 2000	20	Keten dokusuz yüzey	17,5	-	-	Modifiye soya yağı
	35		35	-	-	
	40		40	-	-	
George, 1999	15	Keten dokusuz yüzey	52,31	9,69	-	Epoksi
	23		53,40	10,47	-	
	30		57,79	13,69	-	

\* Lif hacim oranı

\*\* Darbe testi Izod cihazı ile gerçekleştirilmiştir



### 2.3 Amaç

İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri (İTKİB), Türkiye Triko Sanayicileri Derneği (TRİSAD), İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Marmara Üniversitesi'nin (MÜ) 2002 yılında yaptığı ortaklaşa bir araştırmanın sonucuna göre, ülkemiz triko sektöründe kullanılan düz örme makinelerinde önemli oranda atıl kapasite tespit edilmiştir. Buna göre, tam kapasite kullanım oranı sadece %30 iken, %50-70'lik kapasite kullanım oranı %30'dur. Geri kalan kısım ise %20 ve daha düşük kapasitelerle çalışmaktadır (Anonim, 2000). Günümüzde bu oranların daha da düştüğü uzmanlarca belirtilmektedir. Ülkemiz örme sektörü, basit ve ucuz triko mamul üretiminde kaybettiği rekabet avantajına; örme giysi üreten bu makinelerde, ancak katma değeri çok yüksek, ileri teknoloji ürünü tekstilleri üretirse kavuşabilecektir. Bu çalışmanın birinci amacı da, son yıllarda teknik tekstiller alanında önemi gittikçe artan tekstil takviyeli kompozitlerde kullanılacak preformların sanayi tipi, seri üretim yapan düz örme makinelerinde örülebilirliğini araştırmaktır.

Yapılan literatür araştırmasında, düz örme makinelerinde teknik tekstillerin örülebilirliği alanında çoğunlukla yüksek mekaniksel özellikler gerektirmeyen bandaj, çorap gibi tıbbi tekstil ürünlerinin üretimine ağırlık verildiği görülmüştür. Bu çalışmada, düz örgü kompozit preformların örülebilirliği konusuna odaklanılmasının nedeni budur.

Kompozit takviyesinde kullanılan örme preformlar alanında yapılan araştırmalar incelendiğinde, bir çalışma dışındaki tüm denemelerde kumaşların laboratuvar tipi düz el örme makinesinde örüldüğü tespit edilmiştir. Oysa ki, el örme makinesinde örme sırasında herhangi bir hata veya aksaklık karşısında her türlü ayarlamaların el ile kolaylıkla yapılabileceği düşünülürse, bu çalışmalarda üretilen, özellikle, cam örme preformların sanayi tipi makinelerde seri olarak sorunsuz bir şekilde üretilebileceği söylenemez. Bu çalışmada, cam iplik, sanayi tipi düz örme makinesinde örülerek ipliğin gerçek örülebilirliği araştırılmış ve ayrıca örme sırasında yapılan ayarlamalar sonucunda elde edilen önemli makine parametreleri de verilmiştir. Aynı şekilde, ekolojik kompozitler alanında yayınlanan makaleler incelendiğinde de, kompozit

preformlarında doğal lifler alanında genellikle lifi elle serme ve dokusuz yüzeyler üzerine çalışmalar yapıldığı, örme preformlar konusunda çok az sayıda, sadece jüt iplikle basit düz örgü yapısında bir, araştırmanın olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, mekaniksel özellikleri daha güçlü örgü yapısında, doğal lif içerikli ekolojik kompozitler geliştirmek de bu çalışmanın ikinci amacı olmuştur.

Keten, pamuk, polyester ve cam olmak üzere 4 farklı hammadde kullanılmıştır. Bu ipliklerden sanayi tipi düz örme makinesinde tek askılı spacer ve çift askılı spacer örgü yapılarında iki farklı kumaş üretilmiştir. Üretim sırasında, spacer örme kumaşlara ilmek sırası yönünde fitil formunda lif veya iplik yatırımı yapılarak kumaş numuneleri örülmüştür. Bilindiği üzere atkı örme kumaşların kompozit takviyesindeki olumsuz bir özelliği, ilmek sırası yönündeki mukavemetlerinin çok düşük olmasıdır. Bu nedenle, sıra yönünde lif veya iplik yatırımları yapılarak, hem kumaşın enine yönde mukavemetinin artırılması, hem de spacer yapılarıdaki ara yüzeyde lif hacimliliğini artırarak yapıyı güçlendirmek amaçlanmıştır. Örme preform tipi olarak spacer kumaşın tercih edilmesinin nedeni ise;

- i) 3 boyutlu spacer örme yapısının değişik yönlerde mukavemet özelliklerinin güçlendirici yapısının olacağı düşüncesi,
- ii) Spacer örme yapıdaki kumaşta, arka ve ön yüzlere yapılan askı bağlantılarının darbe özelliklerini kuvvetlendireceği düşüncesi,
- iii) Spacer örme kumaş yapısındaki arka ve ön yüzde dolu iğne ilmek oluşturmayıp, değişimli olarak 1:1 atlamalı çalışılmasının nedeni, hem örme kumaşın enine yönde mukavemetini atlama iplikleriyle güçlendirmek hem de reçine maddesinin, dolu ilmekli yapılarda atlamalı yapılara göre kapalı yapıdan dolayı nüfuz etmesinin daha zor olmasıdır.

Düz örme makinesinde örülen bu kumaşlar daha sonra epoksi, vinilester ve polilaktik asit reçine ile kompozit haline getirilmiştir. Araştırmada, epoksi ve vinilester termoset reçinelerin seçilmesinin nedeni bu reçine türlerinin kompozit sektöründeki özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulama alanlarında çok fazla tercih edilmesidir. %100 doğal ekolojik kompozit üretmek amacıyla kullanılan polilaktik asit ise kompozit sektöründe son birkaç yıldır kullanılmaya başlanmış

%100 geri dönüştürülebilir ve doğada biyolojik olarak parçalanabilen bir polimer türüdür. Polilaktik asitin kompozit takviyesinde kullanılması alanında yapılmış çok az sayıda çalışma vardır. Sadece, jüt dokusuz yüzey takviyeli ve suni selüloz lif karışımı olarak iki araştırmaya rastlanmıştır. Çalışmada bu polimerin kullanılmasının nedeni ise örgü preformda doğal lifin de kullanılmasıyla %100 doğal ve doğada biyolojik olarak çözünebilir bir kompozit üretmektir.

Son olarak elde edilen kompozitlerin mekaniksel özelliklerini tayin etmek amacıyla çekme mukavemeti, bası mukavemeti ve darbe mukavemeti testleri yapılmıştır.

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **MATERYAL ve METOT**

#### **3.1 Materyal**

Kompozit takviyesinde kullanılacak örme preformlar Erteks Triko Örme Tekstil ve Makine Sanayi'nde üretilmiştir.

Kompozit takviyesi örgü kumaşların üretiminde kullanılan ipliklerin cinsi, numaraları, örgü yapısı, kodları ve ayrıca kompozit üretiminde kullanılan reçine türü Tablo 3.1'de verilmiştir (keten iplikler ağartılmış formda alınmıştır).

Örgü preformların üretilmesinde kullanılan ipliklerin kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir (ipliklerin kopma mukavemeti ve uzamasının belirlenmesi sırasıyla ASTM-D 2256-02 ve ASTM-D 861-07 standartlarına göre her bir hammaddeden 10'ar adet test yapılarak gerçekleştirilmiştir). Kopma mukavemeti ve kopma uzaması testinin ayrıntılı sonuçları ise Ek 1'de verilmiştir. Tablo 3.2.'de ayrıca, çalışmada kullanılan ipliklerin spesifik mukavemetleri de verilmiştir. Böylelikle ipliklerin mukavemet değerleri, numaralarından (kalınlıklarından) bağımsız bir şekilde ifade edilmiştir.

Tablo 3.1 Çalışmada üretilen örme kumaş numuneleri ve kompozitlerin kodlanması

KOMPOZİT NUMUNE KODU	ÖRGÜ YAPISI	ÖRGÜ İPLİK NUMARASI	YATIRIM İPLİĞİ CİNSİ	YATIRIM İPLİĞİ NUMARASI	REÇİNE
F1 (Keten)	Tek askılı spacer	49,56 tex * 2	Katlı bükülü keten iplik	49,56 tex * 9	Epoksi
F2 (Keten)	Tek askılı spacer	49,56 tex * 2	Katlı bükülü keten iplik	49,56 tex * 9	Vinilester
F3 (Keten)	Çift askılı spacer	49,56 tex * 2	Katlı bükülü keten iplik	49,56 tex * 9	Epoksi
C1 (Pamuk)	Tek askılı spacer	49,7 tex* 2	Katlı bükülü pamuk iplik	49,7 tex * 4	Epoksi
C2 (Pamuk)	Tek askılı spacer	49,7 tex * 2	Pamuk fitil	1123,60 tex	Epoksi
C3 (Pamuk)	Tek askılı spacer	49,7 tex * 2	Katlı bükülü pamuk iplik	49,7 tex * 4	Vinilester
C4 (Pamuk)	Çift askılı spacer	49,7 tex * 2	Katlı bükülü pamuk iplik	49,7 tex * 4	Epoksi
C5 (Pamuk)	Tek askılı spacer	49,7 tex * 2	Katlı bükülü pamuk iplik	49,7 tex * 4	Polilaktik asit
P1 (Polyester)	Tek askılı spacer	17,8 tex * 3	Katlı bükülü polyester iplik	17,8 tex * 14	Epoksi
P2 (Polyester)	Çift askılı spacer	17,8 tex * 3	Katlı bükülü polyester iplik	17,8 tex * 14	Epoksi
G1 (Cam)	Tek askılı spacer	68 tex * 1	Cam iplik	68tex*1	Epoksi
G2 (Cam)	Çift askılı spacer	68 tex * 1	Cam iplik	68tex*1	Epoksi

Tablo 3.2 Çalışmada kullanılan ipliklerin ortalama kopma mukavemetleri

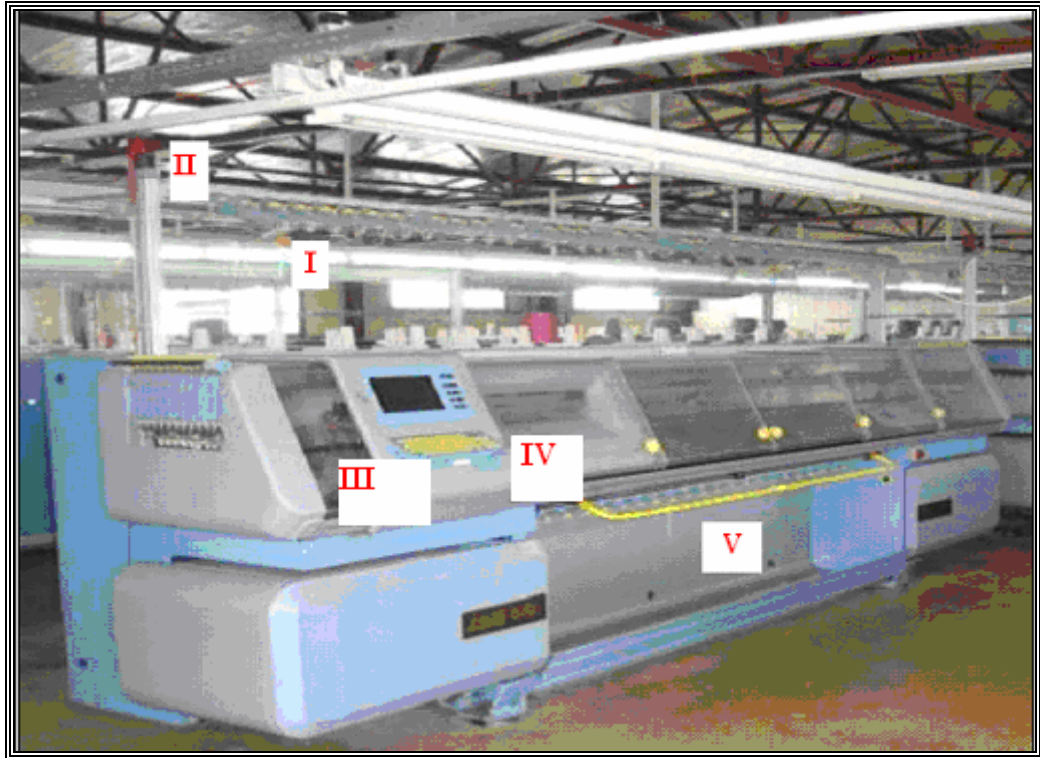
İplik Türü	Ortalama Kopma Mukavemeti (KgF)	Spesifik Mukavemet (KgF/tex)	Ortalama Kopma Mukavemeti Uzaması (%)
Cam	8,46680	0,124	2,2650
Keten	1,45530	0,029	3,0970
Pamuk	0,86378	0,017	8,7135
Polyester	0,67676	0,039	41,8335

### 3.1.1 Örne Preformların Üretimi

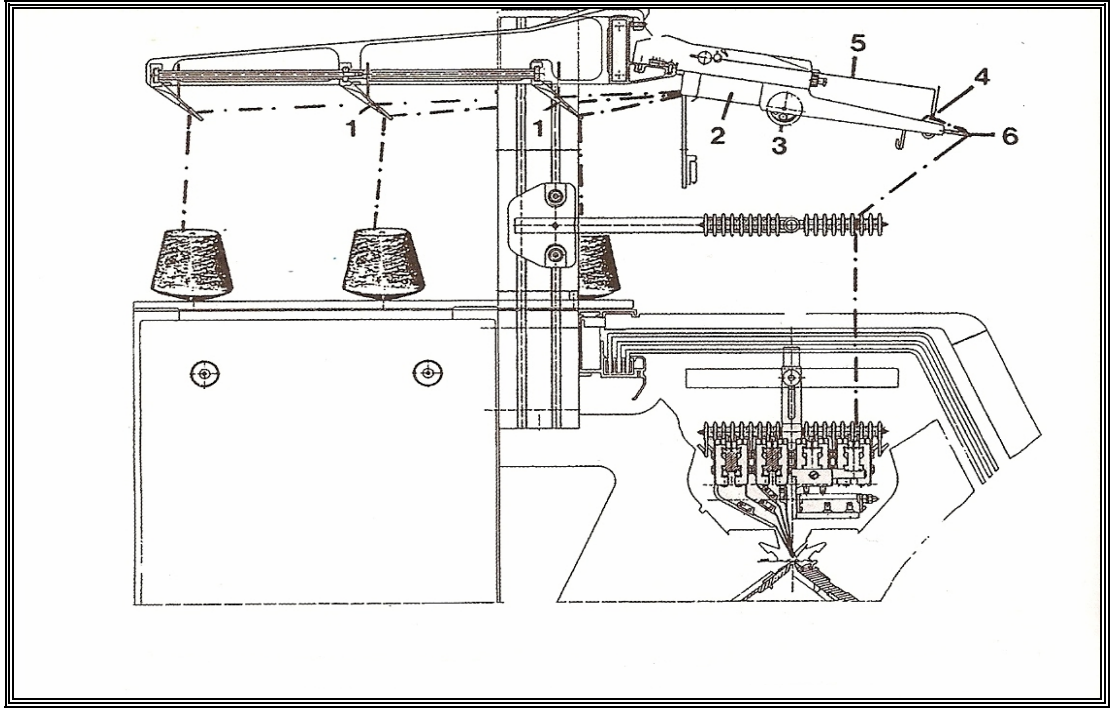
#### 3.1.1.1 Örne Makinesi Özellikleri

Örne preformların üretimi, Stoll marka CMS 440 (7E) ve CMS 430.6 (5E) tipi elektronik düz örne makinelerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de Stoll marka CMS 440 tipi bir elektronik düz örne makinesinin fotoğrafı görülmektedir. Bu fotoğrafta I numaralı kısım iplik besleme bölgesini, II numaralı kısım uyarı lambalarını, III numaralı kısım kontrol panelini, IV kam sistemlerini taşıyan kafayı, V numaralı kısım ise doku çekim bölgesini göstermektedir.

Şekil 3.2’de ise aynı makineye ait iplik yolu şematik olarak gösterilmiştir. İplik yolu üzerinde iplik öncelikle (1) ile gösterilen kılavuz gözlerden geçer, daha sonra yay yüklü frenlerden (3) ve düğüm yoklayıcılardan oluşan ünitelerden (2) geçen iplik, diğer bir kılavuz aracılığıyla (4) gergi kolları (5) üzerinden iplik kılavuzuyla örne bölgesine iğnelere sevk edilmektedir.



Şekil 3.1 Stoll marka CMS 440 elektronik düz örne makinesinin fotoğrafı



Şekil 3.2 Stoll marka CMS 440 elektronik düz örme makinesinde iplik akışının şematik olarak gösterimi (Candan, 2000)

### 3.1.1.2 Makine Ayar Parametreleri

Örme preformların, elektronik düz örme makinesinde üretimi sırasında kesintisiz ve seri bir üretim sağlanabilmesi için makine üzerinde makine hızı, iplik gerginliği ve sıklık kam ayarı parametrelerinde değişiklikler yapılmıştır ve sorunsuz üretimin gerçekleştirildiği ayarlar Tablo 3.3’de verilmiştir. Doku çekim ayarı ise, makinede, tüm kumaş numunelerinin örülmesi sırasında sabit tutulmuştur.

Tablo 3.3 Kompozit kumaş takviyesi örgü kumaşın üretim parametreleri

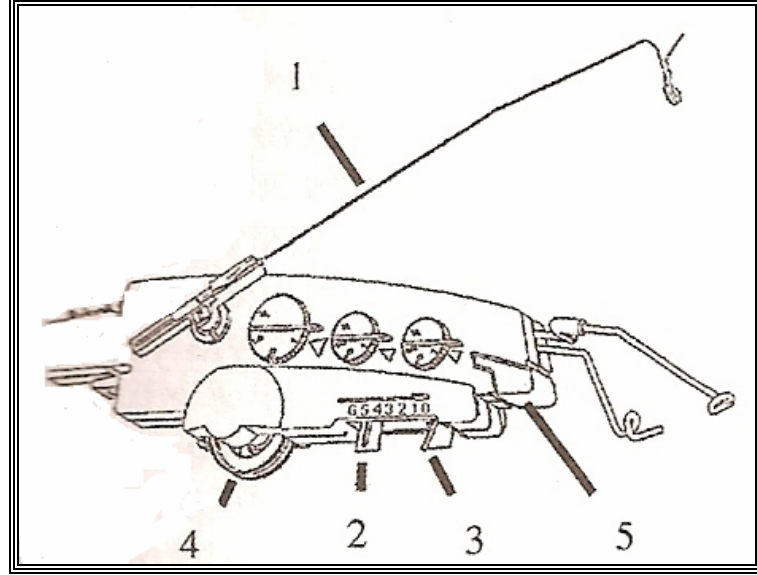
Kod	Makine Tipi	Makine inceliği	Makine Hızı (mdak)		İplik gerginliği (CN)		Sıklık Kam Ayarı	
			Örgü İpliği	Yatırım İpliği	Örgü İpliği	Yatırım İpliği	Örgü	Askı
F1	CMS 440	7 E	0,75	0,40	1,5	11,0	11,6	9,6
F2	CMS 440	7 E	0,75	0,40	1,5	11,0	11,6	9,6
F3	CMS 440	7 E	0,75	0,40	3,5	8,0	11,8	9,8
C1	CMS 440	7 E	0,75	0,40	1,0	5,5	11,3	9,3
C2	CMS 440	7 E	0,75	0,40	1,0	12,5	11,3	9,3
C3	CMS 440	7 E	0,75	0,40	1,0	5,5	11,3	9,3
C4	CMS 440	7E	0,75	0,40	2,5	7,0	11,8	9,8
C5	CMS 440	7 E	0,75	0,40	1,0	12,5	11,3	9,3
P1	CMS 440	7 E	0,75	0,40	2,5	6,5	11,0	9,0
P2	CMS 440	7 E	0,75	0,40	3,0	6,5	11,8	9,8
G1	CMS 430.6	5E	0,55	0,25	4,5	8,0	13,4	10,4
G2	CMS 430.6	5E	0,55	0,35	5,5	3,5	12,8	11,2

Makine hızı, örücü kam sistemlerini taşıyan kafanın yatak üzerinde dakikada kat ettiği yoldur (Şekil 3.5). Örne preformların elektronik düz örme makinesinde üretimi sırasında kafa hızı, direkt olarak bilgisayarlı kontrol ünitesinden ayarlanması sağlanmıştır.

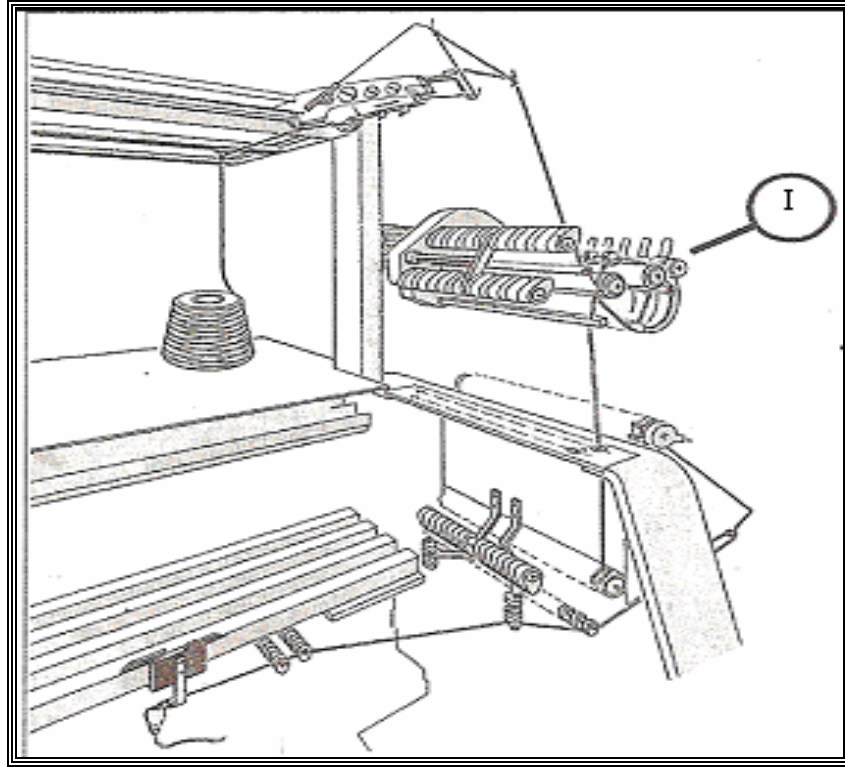
CMS tipi makinelerde iplik kontrol ünitesi gergi kolu (1), büyük ve küçük düğüm yakalayıcı (2, 3) ve yay yüklü gergiden (4) oluşur (bkz Şekil 3.3). İplik özelliklerine uygun olarak gerekli ayarlar ünite üzerinde her bir elemana ait ayar düğmelerinden yapılabilmektedir. Aynı makinelerde, kullanılacak ipliğin kalitesine ve tipine uygun olarak iplik yolu üzerine ilave sistemler yerleştirilebilmektedir. Buna göre Şekil 3.4’de gösterilen (I) yolu, çalışması güç olan iplikler için tavsiye edilmektedir. (I) yolunu izleyen iplik, iplik kontrol ünitesinden sonra sürtünmeli iplik sisteminden geçirilerek yanal gergilere aktarılır. Sürtünmeli iplik sistemi, iplik üzerindeki gerginliğin örme işleminin her aşamada aynı olmasını sağlayan bir mekanizmadır. İpliğin sürtünme makaraları üzerindeki dolanma açısı değiştirilerek farklı iplik gerginlik değerlerine ulaşmak mümkündür (Candan, 2000). Çalışmada, kumaş numunelerinin örülmesi sırasında iplik gerginlik ayar değişimleri Şekil 3.3’deki



kontrol ünitesinden yapılmıştır. Dolayısıyla iplik gerginlik ölçümleri bu ünite çıkışında alınmıştır.

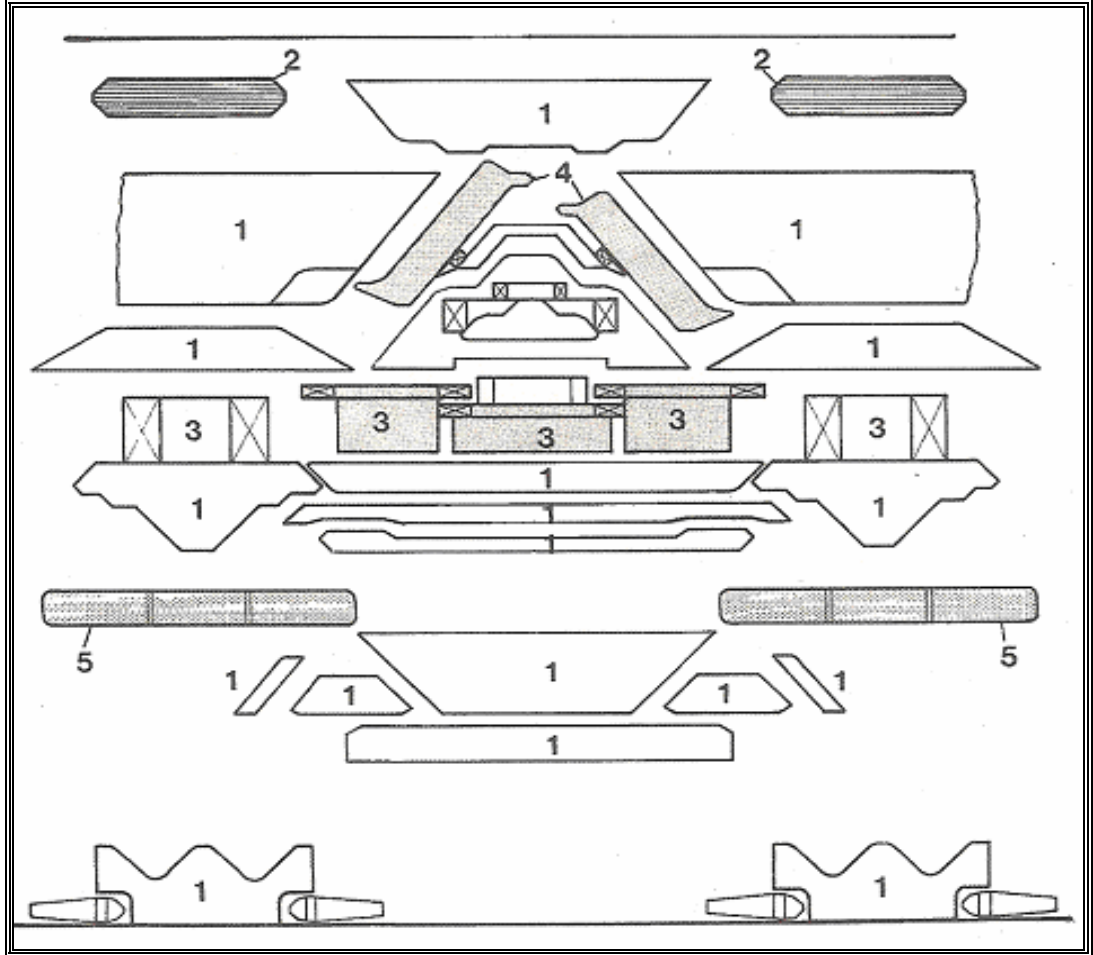


Şekil 3.3 Stoll marka CMS 440 ve 430.6 makinelerinde iplik kontrol ünitesi (Candan, 2000)



Şekil 3.4 Stoll marka CMS 440 ve 430.6 makinelerinde sürtünmeli iplik besleme sistemi (Candan, 2000)

Bu çalışmada örme preformların üretimi sırasında iplik gerginliğinin değiştirilmesi, Şekil 3.3'de gösterilen iplik kontrol ünitesi ve sürtümlü iplik besleme sisteminden yapılmıştır. Ayrıca örme sırasında örgü ipliği gerginliği değerleri ise Schmidt Tensionmeter cihazı ile ölçülmüştür.

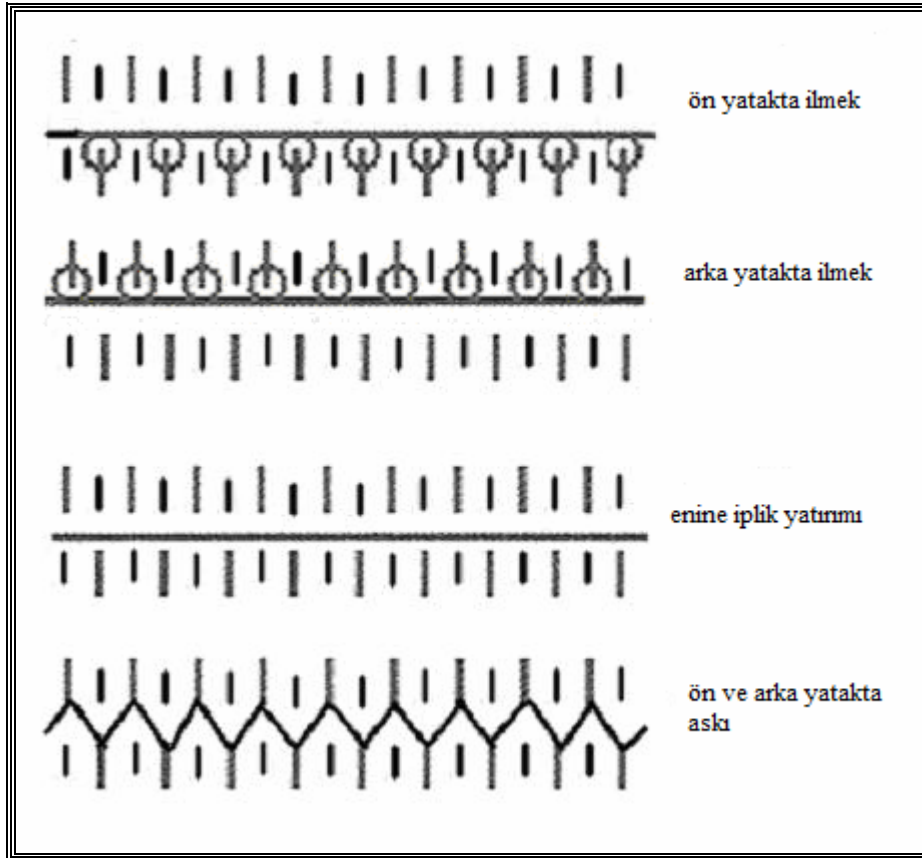


Şekil 3.5 Stoll marka örme makinelerinde örme sistemi (Candan, 2000)

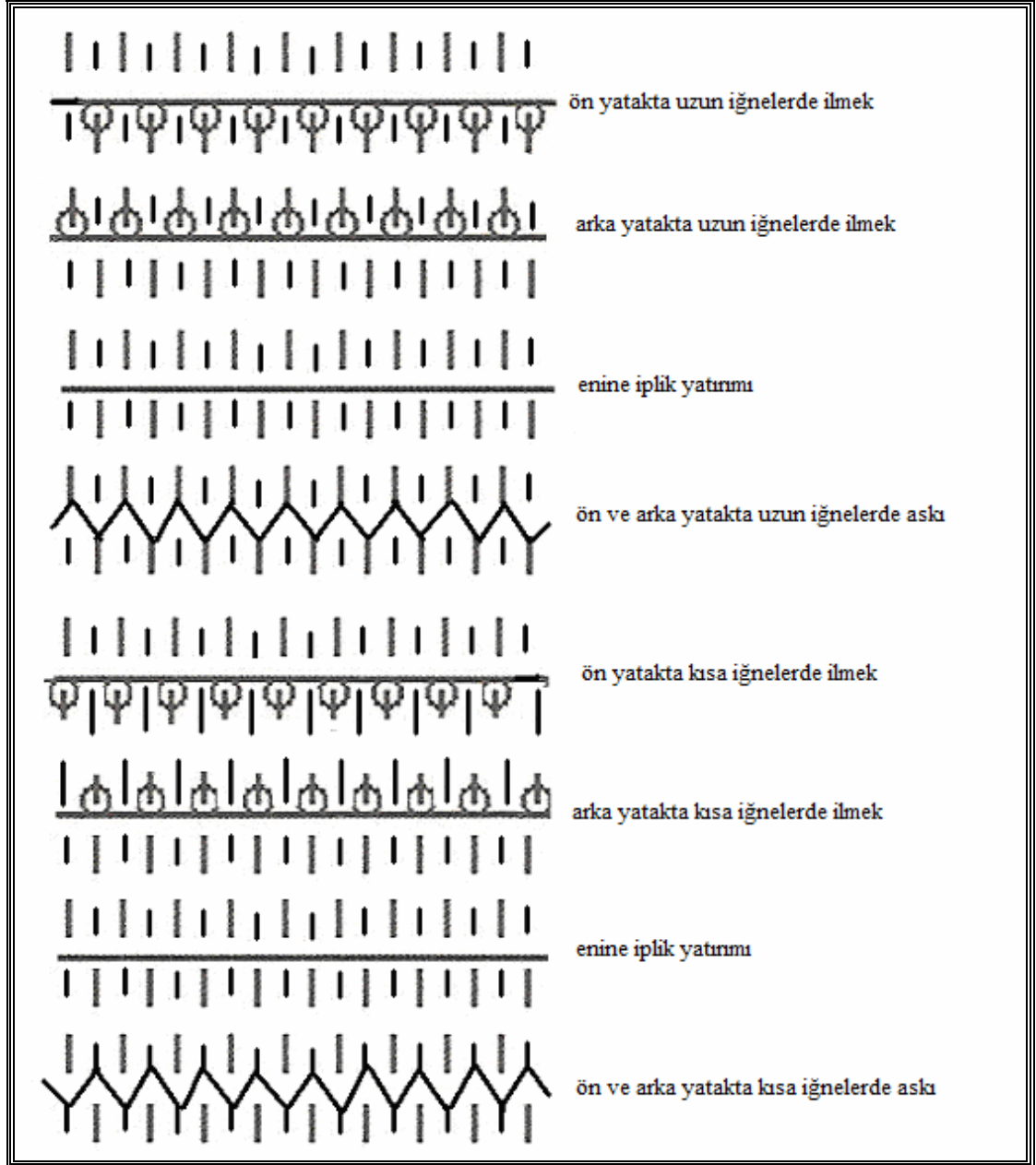
Örme sistemlerini taşıyan kafanın en önemli görevi örme elemanlarının (iğne, platin, baskı platin vs.) kendilerine ait kam yollarını izlemesini sağlamaktır. Stoll makinelerinde kullanılan bir örme sisteminin şematik görünüşü Şekil 3.5'de verilmiştir. 1 numaralı kamlar, kam yolunu tamamlamak üzere kullanılan hareketsiz kamlardır. 2 numaralı kamlar seviyeleme kamlarıdır ve herhangi bir iğne kam yoluna uygun hareket etmediği zaman makineyi durduran bir mikroşalter ile donatılmıştır. 3 numaralı baskı kamları ise, iğneleri ayaklarından iğne yatağına doğru bastırarak işlem dışı bırakmak için düzenlenmiş hareketli kamlardır. 4 numaralı kamlar, geniş

ve gelişte örülen ilmek iplik uzunluğunu belirleyen iğnenin ilmek aşırma konumuna iniş miktarını ayarlamak üzere kullanılan hareketli kamlardır. Elektromanyetik iğne seçim alanları ise 5 numaralı kısımlardır. Örme preformların Stoll marka elektronik düz örme makinesinde üretimi sırasında sıklık kam ayarının değişimi, direkt olarak bilgisayarlı kontrol ünitesinden yapılmıştır.

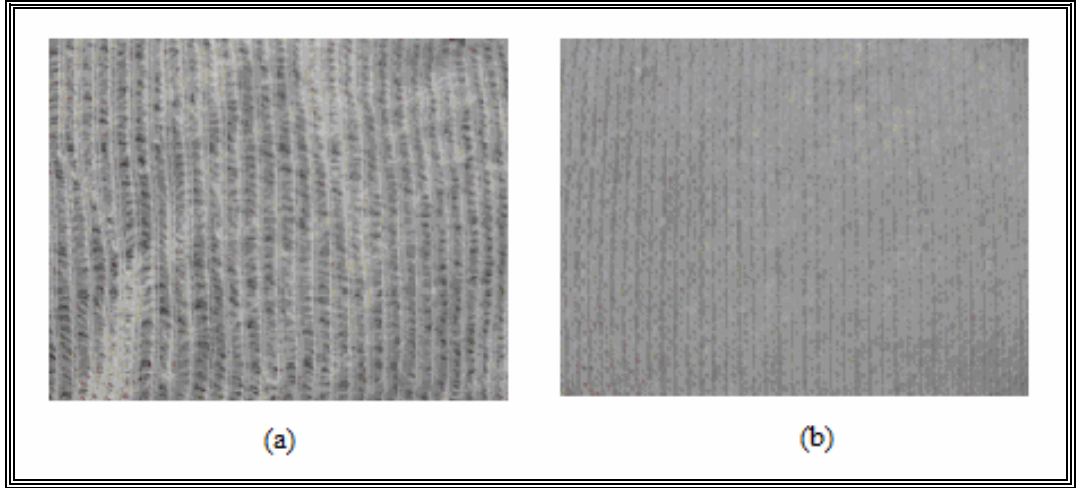
Kompozit preformlarda belirtilen örgü raporları, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Şekil 3.9 - Şekil 3.12’de üretilen kompozit preformların fotoğrafları görülmektedir.



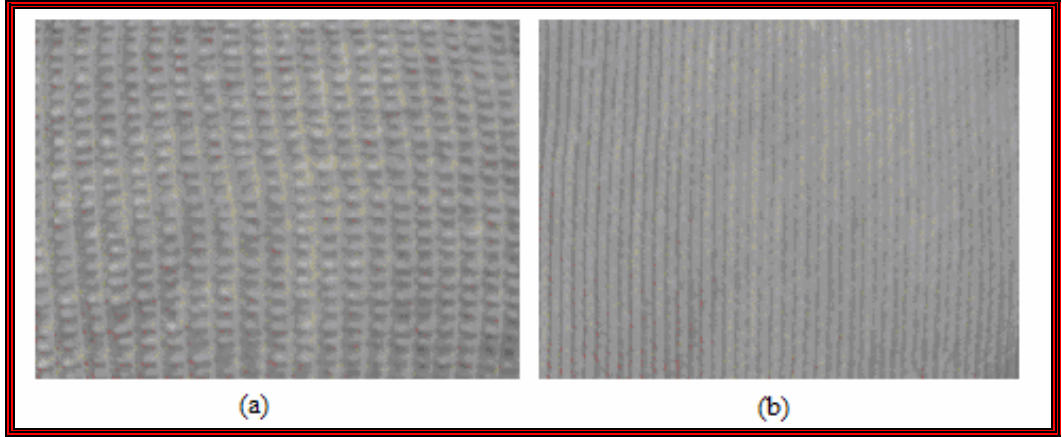
Şekil 3.6 Tek askılı spacer örme kumaş raporu



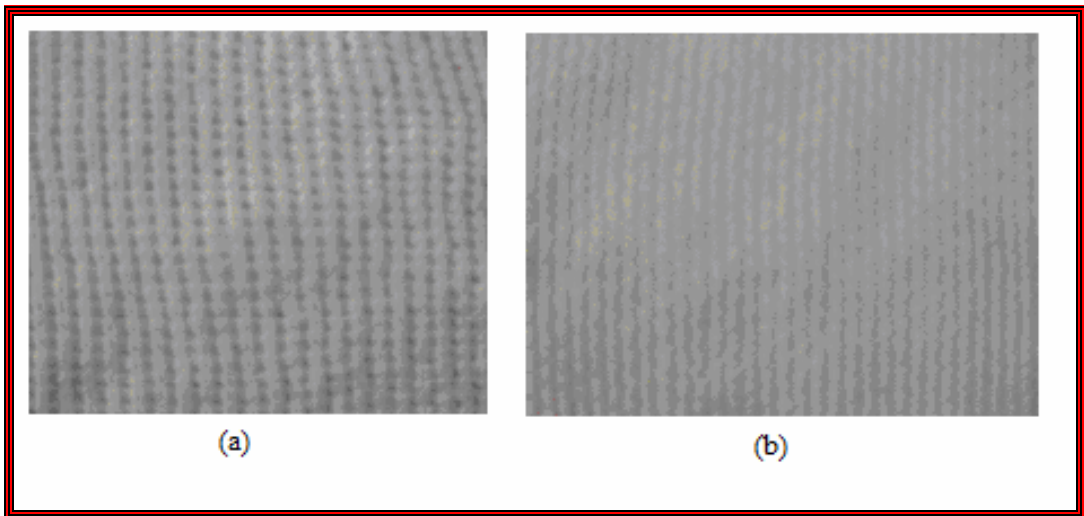
Şekil 3.7 Çift askılı spacer örme kumaş raporu



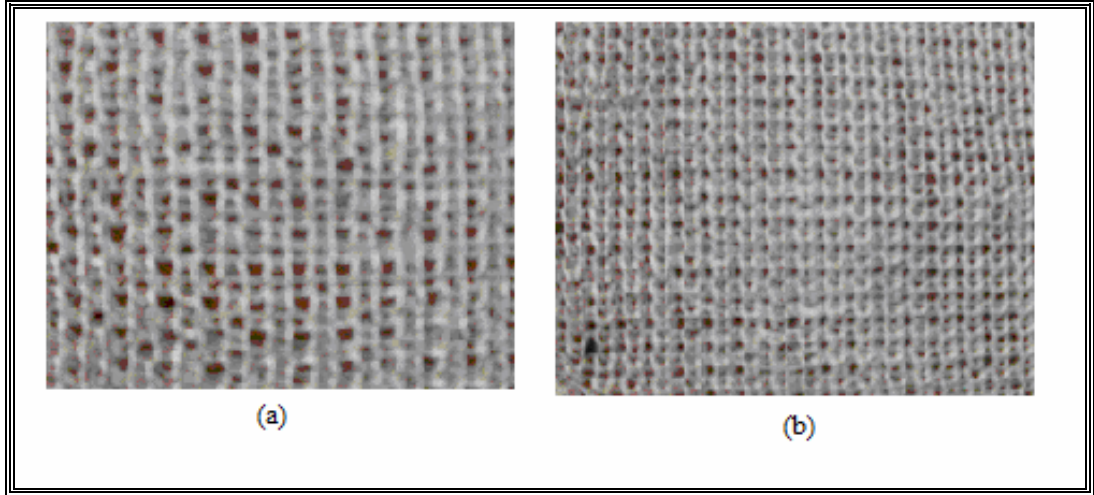
Şekil 3.8 Keten spacer örgü kumaş preformlar (a) Enine iplik yatırılmış tek askılı spacer kumaş  
(b) enine iplik yatırılmış çift askılı spacer kumaş



Şekil 3.9 Pamuk spacer örgü kumaş preformlar (a) enine lif yatırılmış tek askılı spacer kumaş  
(b) enine iplik yatırılmış çift askılı spacer kumaş



Şekil 3.10 Polyester spacer örgü kumaş preformlar (a) enine iplik yatırılmış tek askılı spacer kumaş  
(b) enine iplik yatırılmış çift askılı spacer kumaş



Şekil 3.11 Cam spacer örgü kumaş preformlar (a) enine iplik yatırılmış tek askılı spacer kumaş (b) enine iplik yatırılmış çift askılı spacer kumaş

### 3.1.2 Termoset Kompozitlerin Üretimi

Örülen kumaşlar, İzmir’de faaliyet gösteren İzoreel Kompozit İzole Malzemeler Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi’nde, elle serme yöntemine göre ve matris elemanı olarak epoksi ve vinilester reçine kullanılarak kompozit plaka haline getirilmiştir. Epoksi ve vinilester reçineler ile kompozit üretim prosesi aynıdır. Öncelikle reçine hazırlanır, daha sonra oluşacak kompozitin yapışmaması ve presten sonra rahatça çıkarılabilmesi için, tavaya ayırıcı sürülür ve folyo serilir. İlk kumaş katı folyonun üzerine serilir ve üzerine epoksi/vinilester reçine fırça yardımıyla homojen bir şekilde yedirilir. Daha sonra ikinci kumaş katı serilir ve aynı şekilde reçine ile yedirildikten sonra aynı işlem üçüncü ve dördüncü kumaş katlarına da uygulanır. Böylelikle 4 kat kumaş kullanılmıştır. Reçineleme işlemi bittikten sonra, en üst kumaş katının üzerine son olarak bir folyo daha kapatıldıktan sonra, tavadaki boş kısımlara 4mm’lik kalınlıklar koyulur. Üzerine sac plakalar yerleştirilen ve üzeri tamamen kapanmış olan tava, 120°C’de, 3 saat süreyle 250 kPa basınçta pres içinde bekletilir ve daha sonra sertleşmiş halde cihazdan çıkartılır.

Tablo 3.4 Kompozitlerde kullanılan reçineler ve kompozitlerin lif ağırlık oranları

KOD	YATIRIM İPLİĞİ CİNSİ	REÇİNE	KOMPOZİTİN LİF AĞIRLIK DAĞILIMI (%)
F1	Katlı bükülü keten iplik	Epoksi	48,00
F2	Katlı bükülü keten iplik	Vinilester	50,00
F3	Katlı bükülü keten iplik	Epoksi	52,00
C1	Katlı bükülü pamuk iplik	Epoksi	37,30
C2	Pamuk fitil	Epoksi	42,25
C3	Katlı bükülü pamuk iplik	Vinilester	50,00
C4	Katlı bükülü pamuk iplik	Epoksi	51,80
C5	Katlı bükülü pamuk iplik	Polilaktik asit	50,35
P1	Katlı bükülü polyester iplik	Epoksi	32,40
P2	Katlı bükülü polyester iplik	Epoksi	39,39
G1	Cam iplik	Epoksi	55,00
G2	Cam iplik	Epoksi	60,00

### 3.1.3 %100 Doğal ve Doğada Biyolojik Olarak Parçalanabilir Termoplastik Kompozitlerin Üretimi

Polilaktik asit reçine, film formunda, İngiltere’de faaliyet gösteren A&O FilmPac Ltd’den temin edilmiştir. Firmadan reçinenin özellikleri hakkında bilgi alındıktan sonra, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde basınçlı kalıplama cihazında bu reçine ile %100 pamuk ipliğiyle üretilen spacer örgü preformlu termoplastik kompozit üretimine ilişkin uygun sıcaklığı saptamak amacıyla denemeler yapılmıştır. Yapılan denemelerde 180°C sıcaklığın termoplastik polilaktik asit polimerin erimesi için en uygun sıcaklık olduğu bulunmuştur. Basınçlı preste, 5 tonluk basınç altında, sac kalıpların içine, tek kat kumaş, 2’şer kat polimerin arasına yerleştirilip (sandviç şeklinde) 30 dakika preslenmiştir. Makineden çıkarılan kompozit, sac kalıplardan çıkarılmadan üzerine ağırlıklar koyulup 30 dakika soğuyup sertleşmeye bırakılmıştır.

### 3.2 Metot

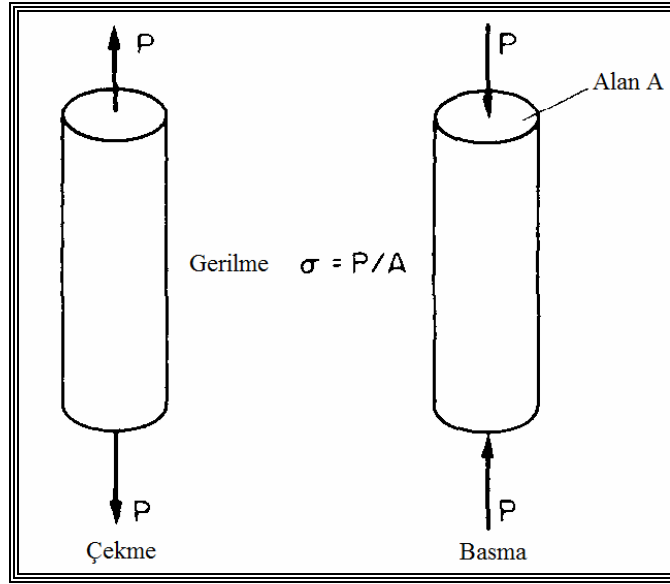
Hazırlanan tabakalı örme kumaş takviyeli kompozitler, mekaniksel özelliklerinin tayin edilmesi amacıyla çekme, bası ve darbe mukavemeti testlerine tabi tutulmuştur.



Testlerin tamamı Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Mekanik ve Kompozit Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.1 Çekme Mukavemeti Testleri

Eğer bir materyal eksenini boyunca direkt olarak çekmeye maruz kalırsa üzerinde bir gerilme oluşur, eksenini boyunca basılırsa da üzerinde bir bası kuvveti oluşur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Çekme ve basma kuvvetleri

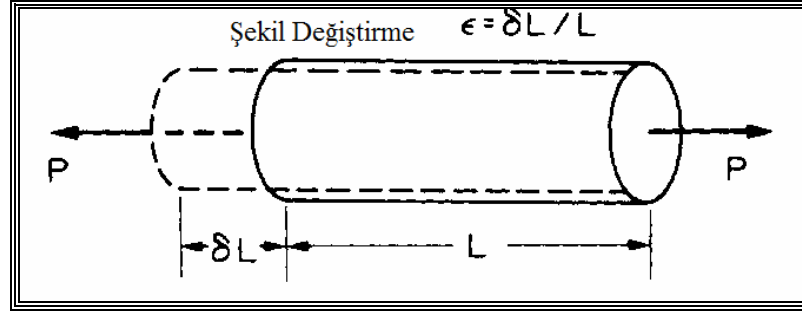
Materyale uygulanan kuvvetten yola çıkarak gerilme (3.1)'deki gibi bulunur:

$$\text{Gerilme}(\sigma) = \frac{\text{yük}}{\text{alan}} = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Gerilme, uygulanan kuvvete bağlı olarak çekme veya bası kuvveti olabilir. Bir materyal, kuvvete maruz kaldığında doğal olarak boyunda bir değişim meydana gelecektir. Eğer materyalin ilk boyu  $L$  ise ve boyunda  $\delta L$  'lik kadar bir değişim meydana geliyorsa (Şekil 3.13), o zaman oluşan şekil değiştirme (3.2)'deki gibi hesaplanır.

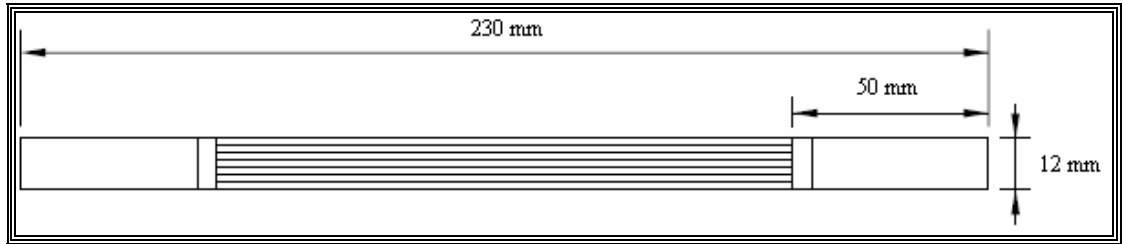
$$\text{Şekil Değişime} = \frac{\text{boydaki değişim}}{\text{ilk boy}} = \frac{\delta L}{L} \quad (3.2)$$



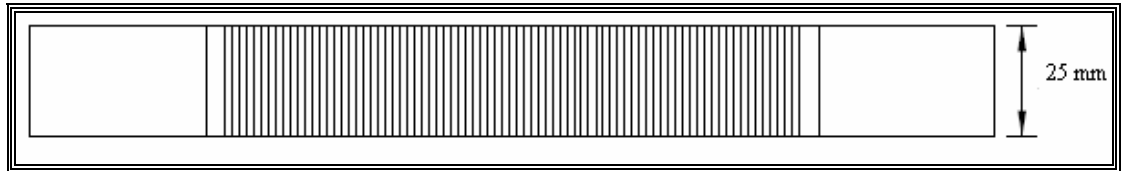


Şekil 3.13 Uygulanan kuvvet karşısında şekil değişirme

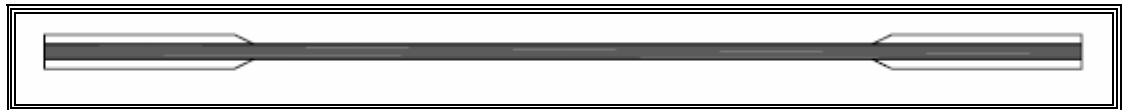
Çekme mukavemeti testleri, Instron 1114 çekme cihazında, ASTM D 3039-76 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Cihazın alt çenesi hareketli, üst çenesi sabittir. Cihazın çekme hızı 1mm/dak'ya ayarlanmıştır. Çekme numunelerinin boyutları Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.14 İlmek sırası yönünde (iplik yatırımı yönünde) çekme mukavemeti numunesi



Şekil 3.15 İlmek çubuğu yönünde (iplik yatırımına dik yönünde) çekme mukavemeti numunesi



Şekil 3.16 Çekme mukavemeti numunelerinin yandan görünüşü

Ayrıca kompozitin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönlerindeki elastisite modüllerini ( $E_1$  ve  $E_2$ ) ve Poisson oranlarını ( $\nu$ ) bulmak için, bu yönlerde 3'er adet çekme testi yapılmıştır (elastisite modülü, çoğu mühendislik materyali için bası ve çekme mukavemetleri için aynı kabul edilir). Bu amaçla üzerine strain gauge

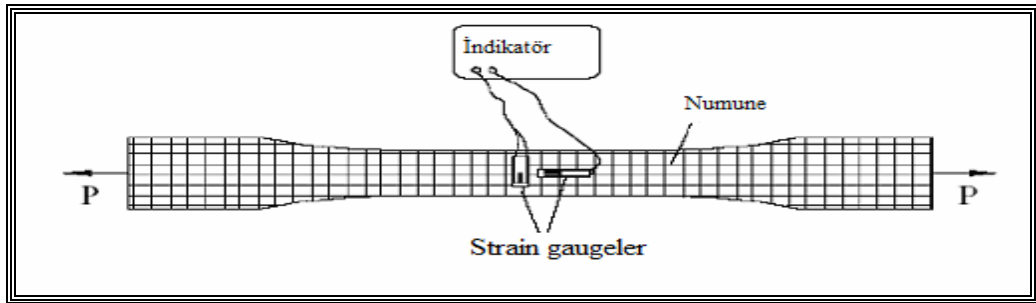
tutturulan kompozit numuneler çekme mukavemeti cihazına yerleştirilerek, üzerine kademeli olarak yükleme yapılmıştır. Her kademe yükleme için  $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_2$  indikatör tarafından ölçülmüştür. Çekme mukavemeti cihazından okunan yük (P), indikatörden okunan yer değiştirme ( $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_2$ ) değerleri kullanılarak  $E_1$ ,  $E_2$  ve  $\nu$  aşağıdaki formüllerden hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{\Delta P}{A} = \frac{P_i - P_{i-1}}{A} \quad (3.3)$$

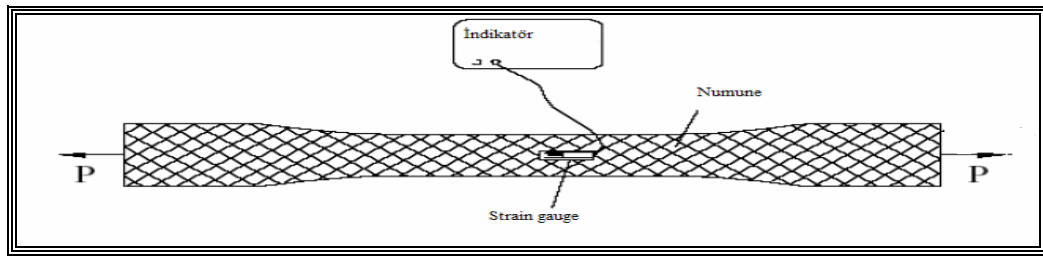
$$E_1 = \frac{\sigma}{\Delta \varepsilon_1} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{1_i} - \varepsilon_{1_{i-1}}} \quad (3.4)$$

$$\nu = -\frac{\Delta \varepsilon_2}{\Delta \varepsilon_1} \quad (3.5)$$

Strain gauge, ilmek sırası yönündeki çekme numunesine  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  yönlerinde olmak üzere ikişer adet yapıştırılırken, ilmek çubuğu yönündeki çekme numunesine  $90^\circ$  yönünde bir adet yapıştırılması yeterlidir (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).



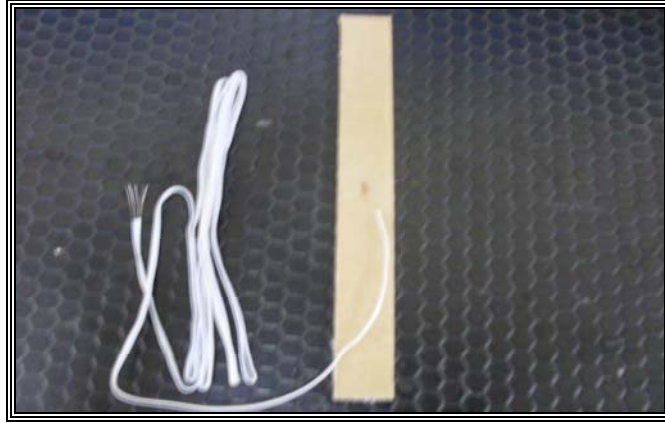
Şekil 3.17 Üzerine strain gauge yerleştirilmiş ilmek sırası yönündeki çekme numunesi (Çalışkan, 2005)



Şekil 3.18 Üzerine strain gauge yerleştirilmiş ilmek çubuğu yönündeki çekme numunesi (Çalışkan, 2005)

Çekme numunesinin orta noktasına gelecek şekilde tutturulan strain gauge'in iyice yapışması için, üzerine 1 dakika boyunca parmak ile basınç uygulanır. Daha sonra 2 adet terminal yapıştırılır. Terminaller, yükten dolayı strain gauge'lerin kopmasını engellerler. Daha sonra strain gauge'in telleri terminal üzerine sıcak lehimle tutturulur. Son olarak, kablunun uçları terminalin ucundaki strain gauge telleri ile lehimlenir. Bir başka deyişle, terminalin üzerinde strain gauge'in telleri (uçları) ile kablunun uçları birleşmiş olur. Şekil 3.19 ve 3.20'de üzerine strain gauge yapıştırılmış ilmek çubuğu ( $90^\circ$ ) yönünde çekme numuneleri, Şekil 3.21 ve 3.22'de üzerine strain gauge yapıştırılmış ilmek sırası ( $0^\circ$ ) yönünde çekme numuneleri gösterilmiştir.

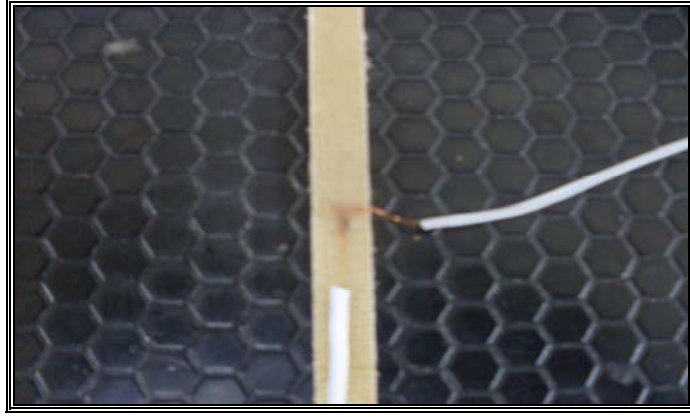
Her bir spacer kumaş takviyeli kompozitin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönlerindeki çekme mukavemetlerini bulmak için 5'er adet çekme mukavemeti testi yapılmıştır.



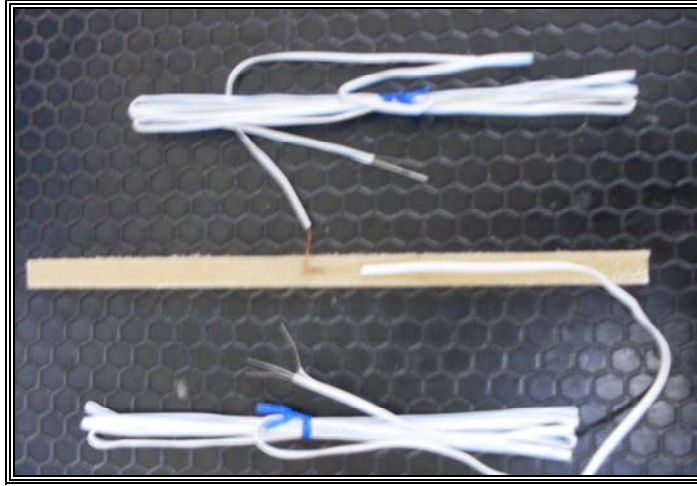
Şekil 3.19 Strain gauge yapıştırılmış ilmek çubuğu ( $90^\circ$ ) yönünde çekme numunesi



Şekil 3.20 Strain gauge yapıştırılmış ilmek çubuğu ( $90^\circ$ ) yönünde çekme numunesi



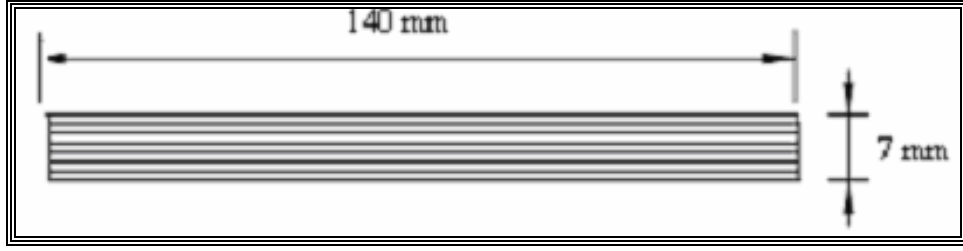
Şekil 3.21 Strain gauge yapıştırılmış ilmek sırası (0°) yönünde çekme numunesi



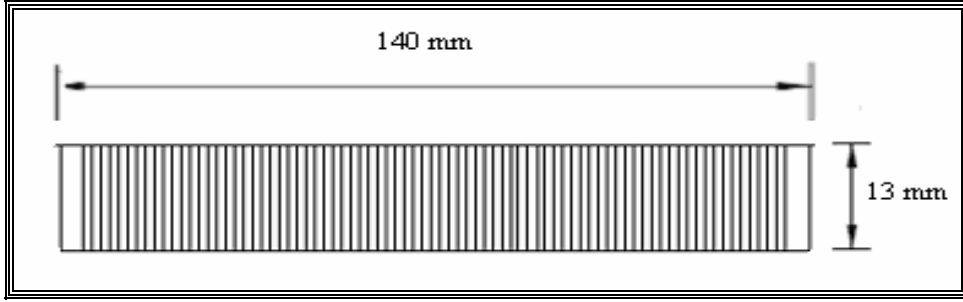
Şekil 3.22 Strain gauge yapıştırılmış ilmek sırası (0°) yönünde çekme numunesi

### ***3.2.2 Bası Mukavemeti Testleri***

Bası mukavemeti testleri, Instron 1114 çekme cihazında, ASTM D 3410 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Her bir spacer kumaş takviyeli kompozitin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönleri için 5'er adet bası mukavemeti testi yapılmıştır. Cihazın alt çenesi hareketli, üst çenesi sabittir. Cihazın bası hızı 1mm/dak'ya ayarlanmıştır.

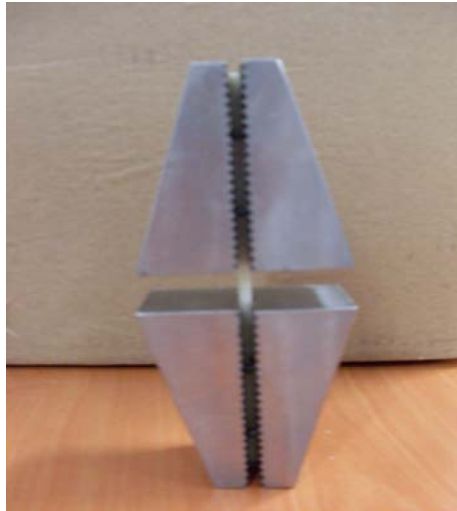


Şekil 3.23 (a) İlmek sırası yönünde (iplik yatırımı yönünde) bası mukavemeti numunesi

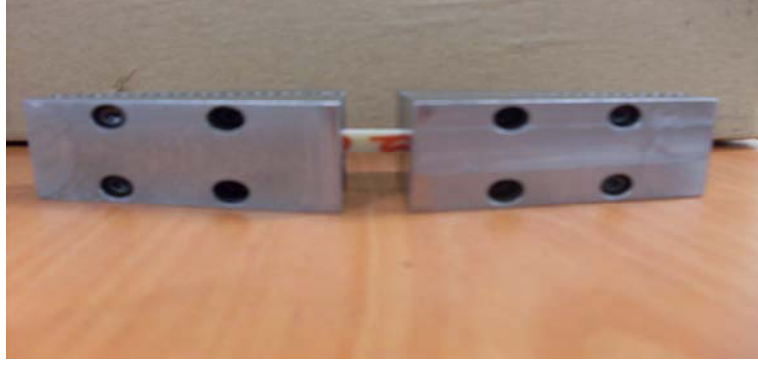


Şekil 3.23 (b) İlmek çubuğu yönünde (iplik yatırımına dik yönünde) çekme mukavemeti numunesi

Bası mukavemeti için hazırlanan bası numunelerinin boyutları Şekil 3.23 (a) ve (b)'de verilmiştir. IITRI bası aparatına yerleştirilmiş bası numunesinin fotoğrafları Şekil 3.24 (a), (b), (c) ve (d)'de verilmiştir, Şekil 3.25'de ise çekme cihazına yerleştirilmiş IITRI bası aparatı görülmektedir.



Şekil 3.24 (a) Bası numunesinin çenelere bağlanması (önden görünüş)



Şekil 3.24 (b) Bası numunesinin çenelere bağlanması (yandan görünüş)



Şekil 3.24 (c) IITRI bası aparatına yerleştirilmiş bası numunesi (önden görünüş)



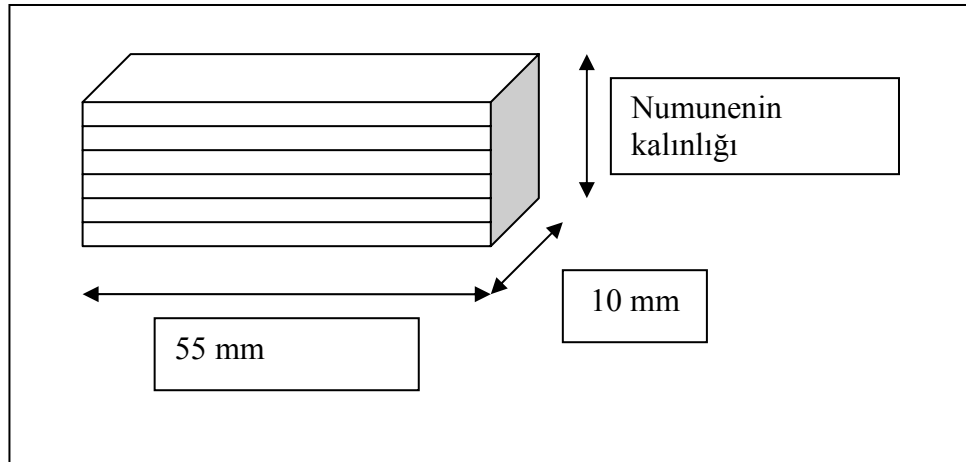
Şekil 3.24 (d) IITRI bası aparatına yerleştirilmiş bası numunesi (üstten görünüş)



Şekil 3.25 Çekme cihazına yerleştirilmiş  
IITRI bası aparatı

### 3.2.3 Darbe Mukavemeti Testleri

Darbe mukavemeti testleri ASTM D-5942-96 standardına göre, 4 J'luk çekiç ile, numune desteklenerek Charpy test cihazında gerçekleştirilmiştir. Charpy darbe mukavemeti için hazırlanan deney numunesinin boyutu Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26 Charpy testi için numune boyutları

Spacer kumaş takviyeli kompozitlerin darbe mukavemetlerini tespit etmek için kompozitin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönlerinde 5'er adet test yapılmıştır.

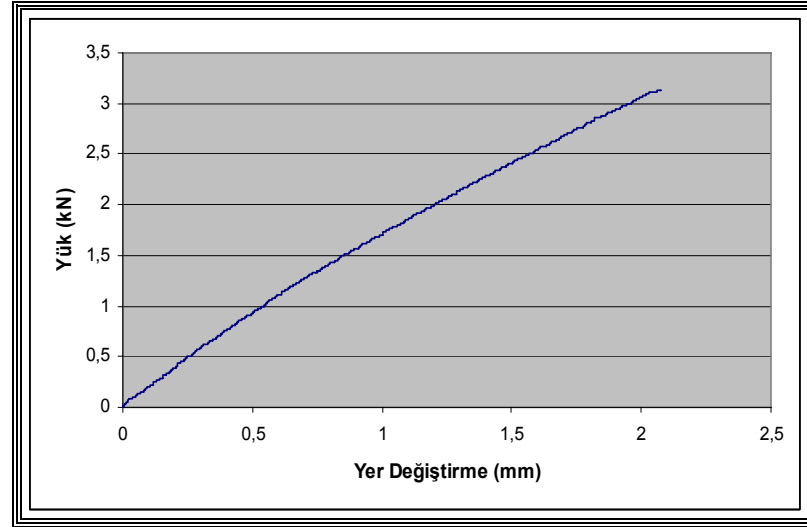
## BÖLÜM DÖRT

### DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Çalışmada üretilen örme kumaş takviyeli kompozit plakaların Bölüm 3’de açıklanan tekrarlı olarak yapılmış çekme, bası ve darbe mukavemeti testi sonuçları Ek 2, Ek 3, Ek 4 ve Ek 5’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bölüm 4.1, Bölüm 4.2 ve Bölüm 4.3’de her bir teste ait sonuçlar ayrı ayrı incelenmiştir.

#### 4.1 Çekme Mukavemeti Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bölüm 3’de de belirtildiği gibi, materyalin mekaniksel özelliklerini anlamak için bazı testlerin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu standart testlerden bir tanesi de, çekme mukavemeti testidir. Boydaki değişim, seçilen bir çene aralığında yükleme operasyonu ile kaydedilir. Elde edilen veriler yük-yer değiştirme verileridir. Şekil 4.1’de herhangi bir materyalin çekme mukavemeti testine ait yük-yer değiştirme grafiği görülmektedir.

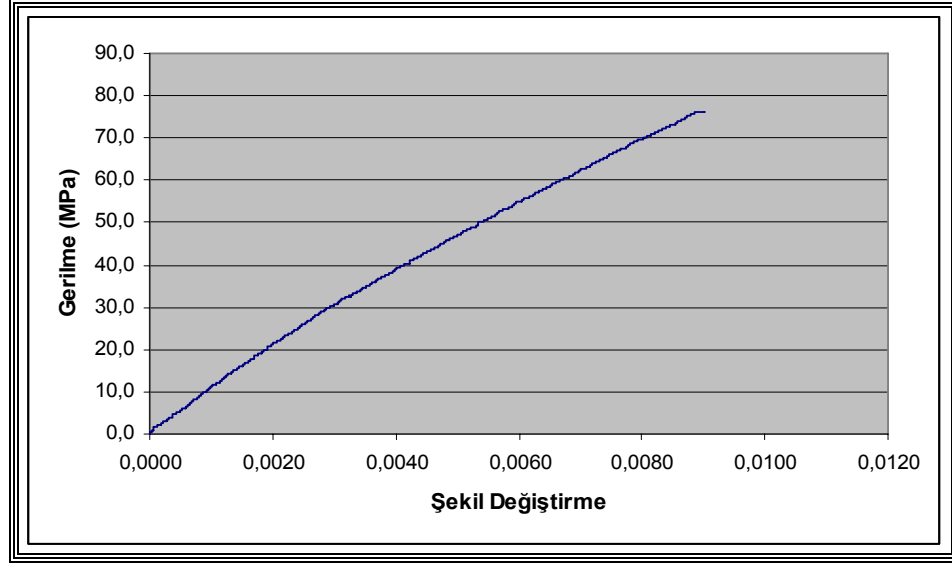


Şekil 4.1 Herhangi bir kompozit materyale ait yük-yer değiştirme grafiği

Yük-yer değiştirme grafiğinden gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma - \epsilon$ ) grafiğini elde edebilmek için (3.3) ve (3.4)’deki formüller kullanılarak yük, alana bölünerek



gerilme bulunur; yer değiştirme ise ilk boya bölünerek Şekil değiştirme bulunur ve Şekil 4.2’de gösterilen grafik elde edilir.



Şekil 4.2 Yük-yer değiştirme grafiğinden elde edilen gerilme-Şekil değiştirme grafiği

Bu tez çalışmasında, materyalin elastisite modülü ve Poisson oranını bulabilmek için materyal üzerine strain gauge takılarak, materyal deformasyona uğramayacak Şekilde bir çekme kuvvetine maruz bırakılmıştır. Bu prosedür ayrıntılı olarak Bölüm 1.5.’de anlatılmıştır. Bu sırada cihazdan okunan kuvvet ve Şekil değiştirme değerleri kaydedilerek (4.1) ve (4.2) formüllerinden elastisite modülleri ve Poisson oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Ek 2’de verilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları ise Tablo 4.4’de görülmektedir.

Çalışmada üretilen kompozit tiplerinin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki elastisite modülleri,  $E_c$  ve  $E_w$ , ve Poisson oranları,  $\nu$ , arasında önemli bir farklılığın olup olmadığını araştırmak amacıyla, kompozitlerin Ek 2’de verilen çekme mukavemeti sonuçları kullanılarak tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Tek yönlü varyans analizlerinin sonuçları Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kompozitlerin ilmek sırası yönündeki elastisite modülleri için varyans analizi tablosu

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
<b>Kompozit tipi</b>	11	423386472	38489679	60,69	0,000
<b>Hata</b>	23	14587506	634239		
<b>Toplam</b>	34	437973978			

DF: Serbestlik derecesi (Degrees of Freedom)

SS: Kareler Toplamı (Sum of Squares)

MS: Ortalama Kare (Mean Square) = (SS/DF)

F: F İstatistiği

P: P değeri

Tablo 4.2 Kompozitlerin ilmek çubuğu yönündeki elastisite modülleri için varyans analizi tablosu

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
<b>Kompozit tipi</b>	11	970683846	88243986	11,71	0,000
<b>Hata</b>	23	173360714	7537422		
<b>Toplam</b>	34	1144044561			

Tablo 4.3 Kompozitlerin Poisson oranları için varyans analizi tablosu

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
<b>Kompozit tipi</b>	11	0,15273	0,01388	3,01	0,012
<b>Hata</b>	23	0,10618	0,00462		
<b>Toplam</b>	34	0,25891			

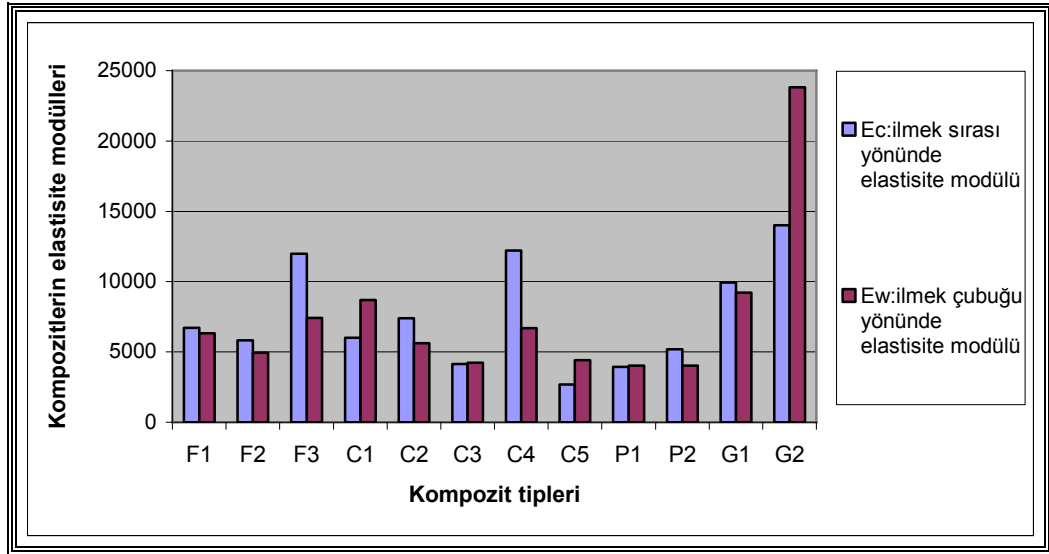
Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'deki  $P = 0,000$  değeri  $\alpha = 0,05$ 'den küçük olduğu için kompozit tiplerinin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki elastisite modülleri,  $E_c$  ve  $E_w$ , ve Poisson oranları,  $\nu$ , arasında önemli bir farklılığın olduğu söylenebilir. Kompozit tiplerinin elastisite modülleri ve Poisson oranlarının grafik gösterimi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Kompozitlerin elastisite modülleri ve Poisson oranları

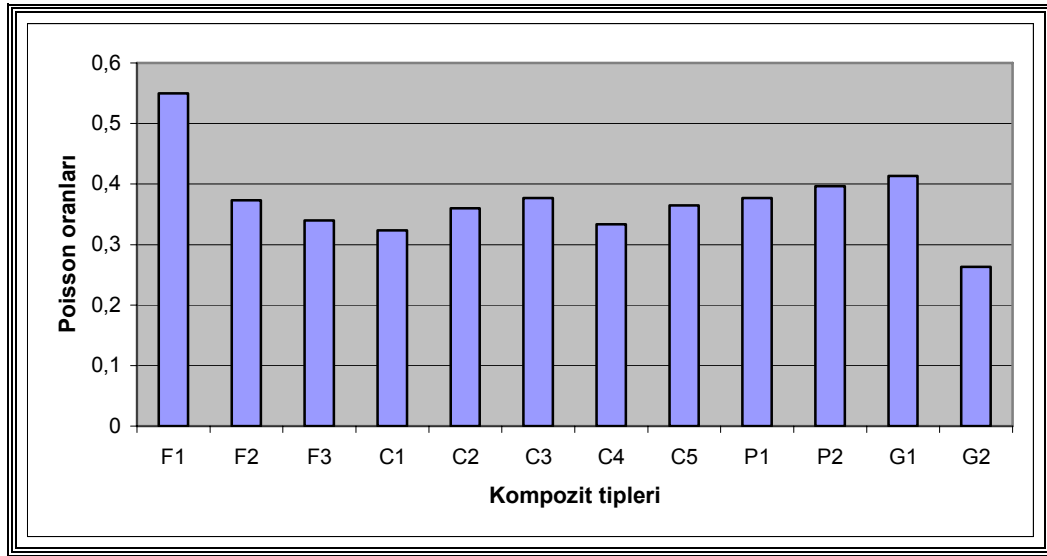
Kompozit Plaka Kodu	$E_c$ (MPa)	$\nu$	$E_w$ (MPa)
F1	6701,121	0,550	6316,271
F2	5816,928	0,373	4941,506
F3	11991,670	0,340	7405,020
C1	5994,695	0,323	8694,022
C2	7404,299	0,360	5626,875
C3	4147,318	0,376	4235,424
C4	12211,840	0,333	6685,790
C5	2682,417	0,365	4407,118
PES 1	3935,939	0,376	4036,896
PES 2	5189,538	0,396	4020,689
G1	9948,802	0,413	9208,773
G2	14018,330	0,263	23808,57

$E_c$ : ilmek sırası (iplik yatırım) yönünde elastisite modülü

$E_w$ : ilmek çubuğu (iplik yatırımına dik) yönünde elastisite modülü



Şekil 4.3 Kompozitlerin elastisite modülleri

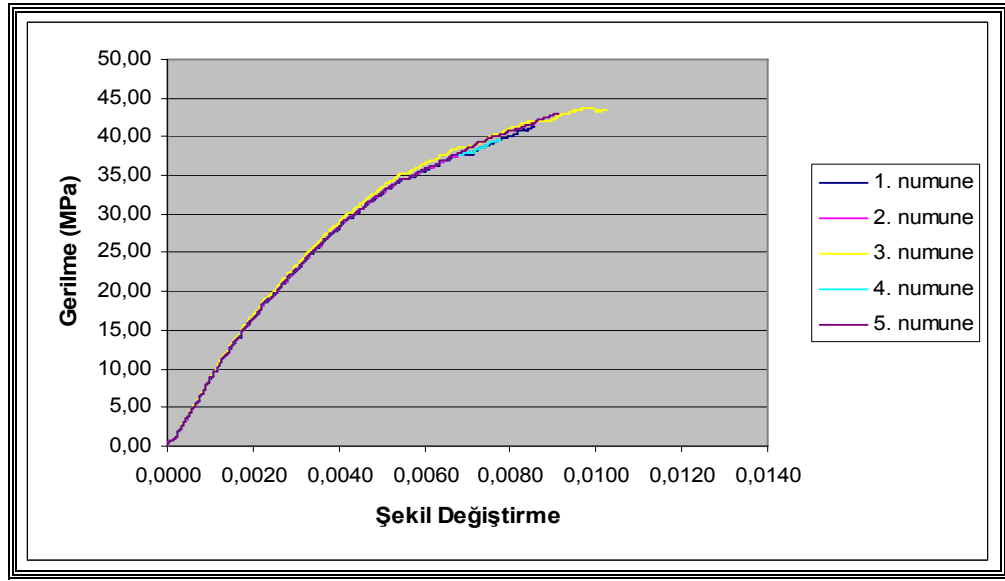


Şekil 4.4 Kompozitlerin Poisson oranları

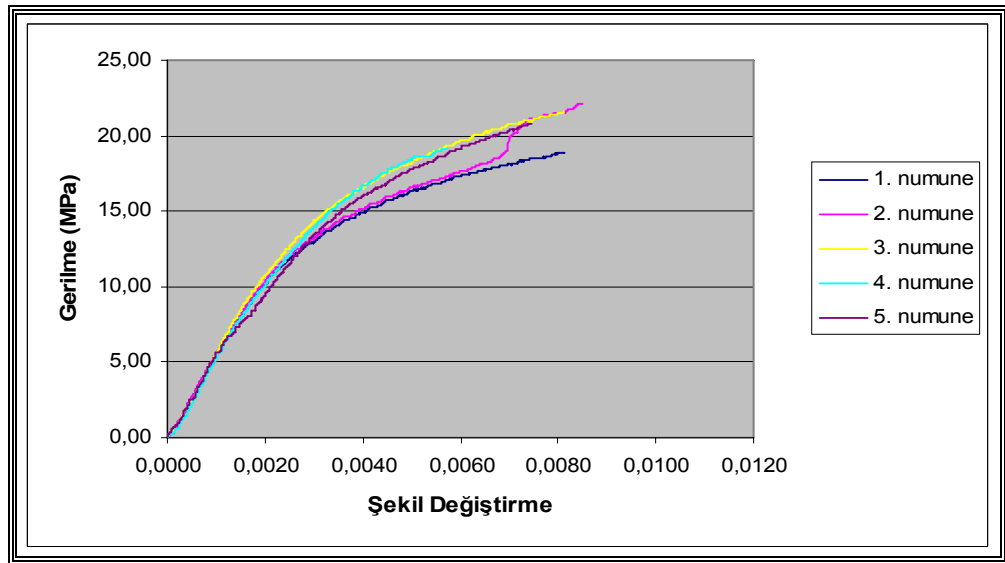
Bir kompozit materyale çekme kuvveti uygulandığında elastik limitten sonra plastik deformasyon başlar. Grafik, yer değiştirme alanında daha fazla yer kaplamaya başlar (Hearn, 2000). Uygulanan çekme kuvveti karşısında materyal bir süre sonra kopar. Dolayısıyla materyalin çekme mukavemetini bulmak için strain gauge kullanmadan, materyali hasara uğrattıncaya kadar çekme yükü uygulanarak çekme mukavemeti testi yapılmıştır. Çekme mukavemeti cihazı, deney sırasında uygulanan yük karşısında materyalin yer değiştirmesini kaydetmektedir. Bu değerlerden, (4.1) ve (4.2)'deki formüller kullanılarak gerilme-şekil değiştirme grafikleri (Şekil 4.5 – Şekil 4.26) elde edilmiştir. Ayrıca kompozit materyallerin çekme mukavemetleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler ayrıntılı olarak Ek-3'de verilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları ve standart sapmaları ise Tablo 4.5'de verilmiştir.

Şekil 4.5'den Şekil 4.28'e kadar, sırasıyla F1, F2, F3, C1, C2, C3, C4, C5, P1, P2, G1, G2 kodlu kompozit materyallerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Bir kompozit materyalden 5 adet numune alarak, ilmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi yapılmıştır. Bu 5 deneyden elde edilen gerilme şekil değiştirme grafikleri üst üste çakıştırılarak, 5 numune arasındaki farkların daha rahat görülmesi amaçlanmıştır. Daha sonra aynı işlem, aynı kompozitin ilmek çubuğu yönündeki çekme mukavemeti deneyi için yapılmıştır.

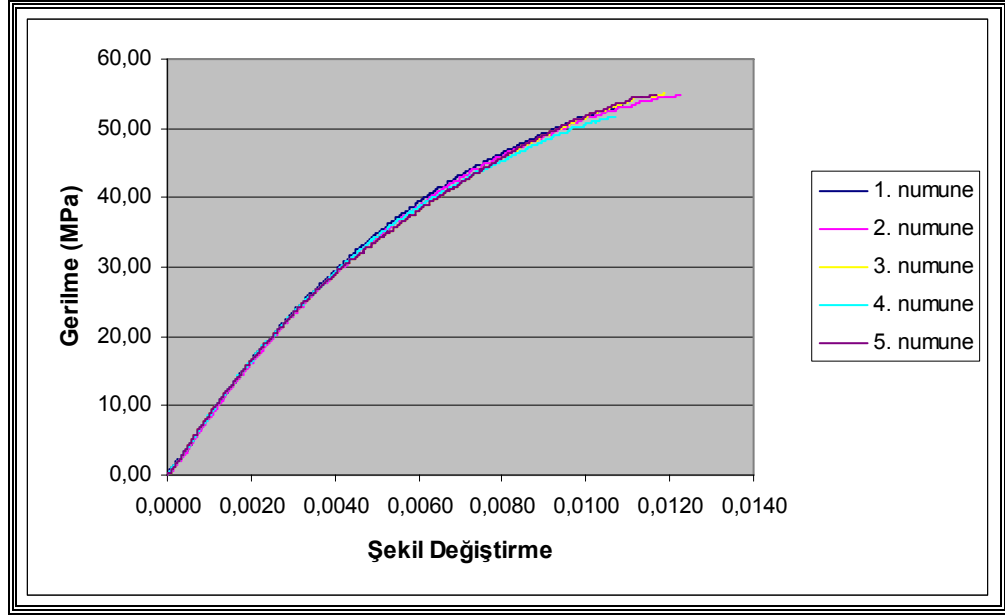
Elde edilen grafiklerden görülmektedir ki; bu tez çalışmasında üretilen tüm kompozit materyallerin çekme mukavemeti numunelerinin grafikleri üst üste çakıştırıldığında çok iyi bir uyum göstermektedir. Bu durum bir kompozit plakanın kendi içinde homojen olduğunun, her yerindeki mukavemetinin birbirine çok yakın olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca Tablo 4.5'e bakıldığında bir kompozit materyale ait çekme mukavemeti değerleri arasında standart sapmaların çok düşük olduğu görülmektedir.



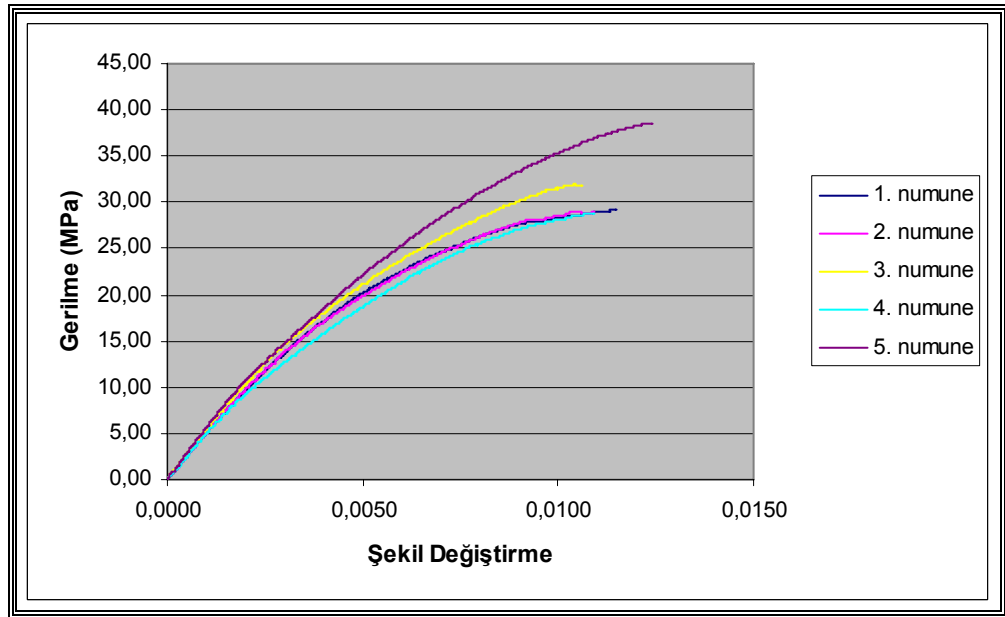
Şekil 4.5 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-F1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



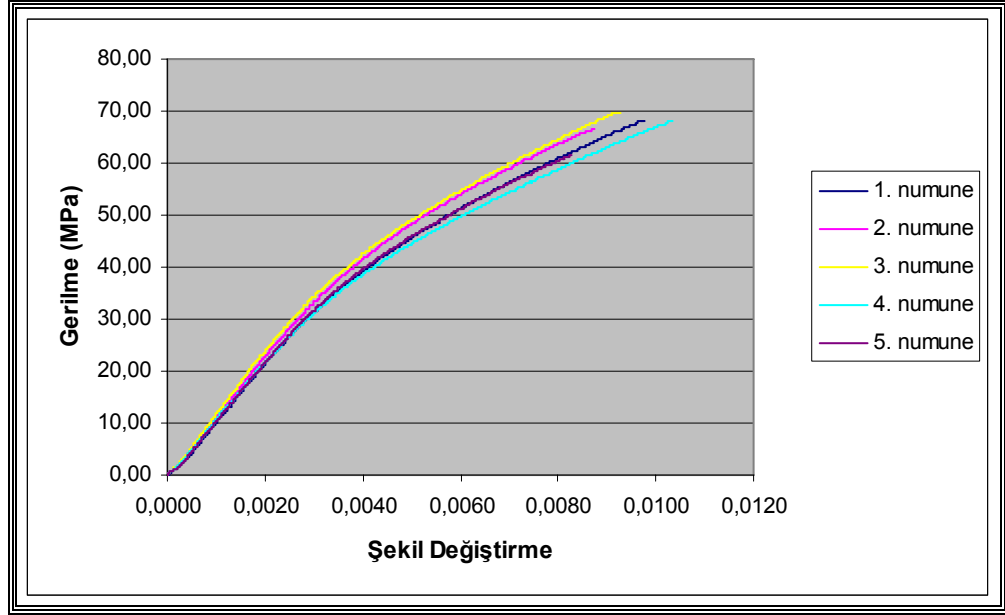
Şekil 4.6 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-F1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



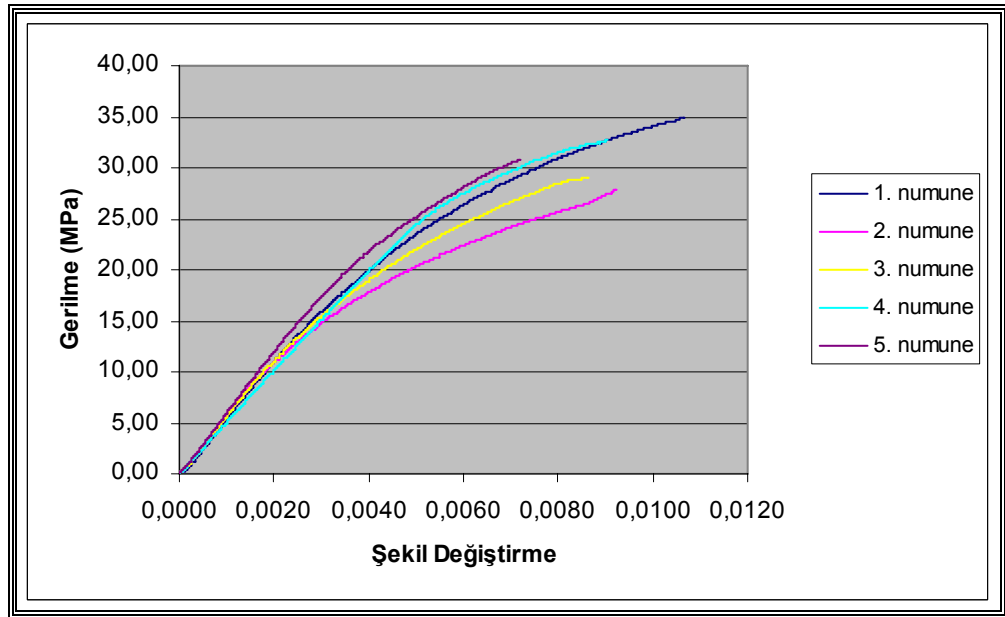
Şekil 4.7 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-F2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



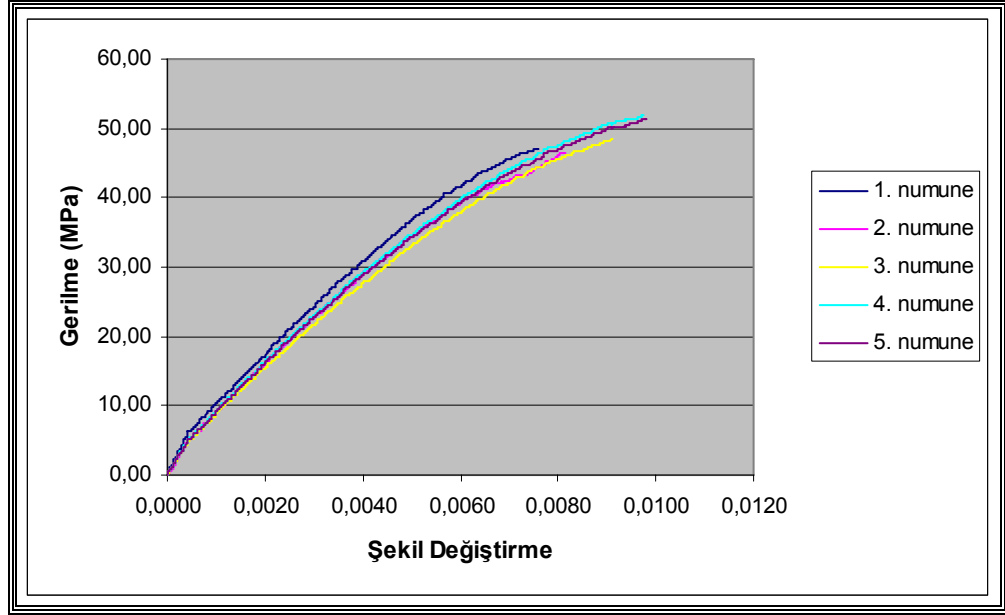
Şekil 4.8 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-F2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



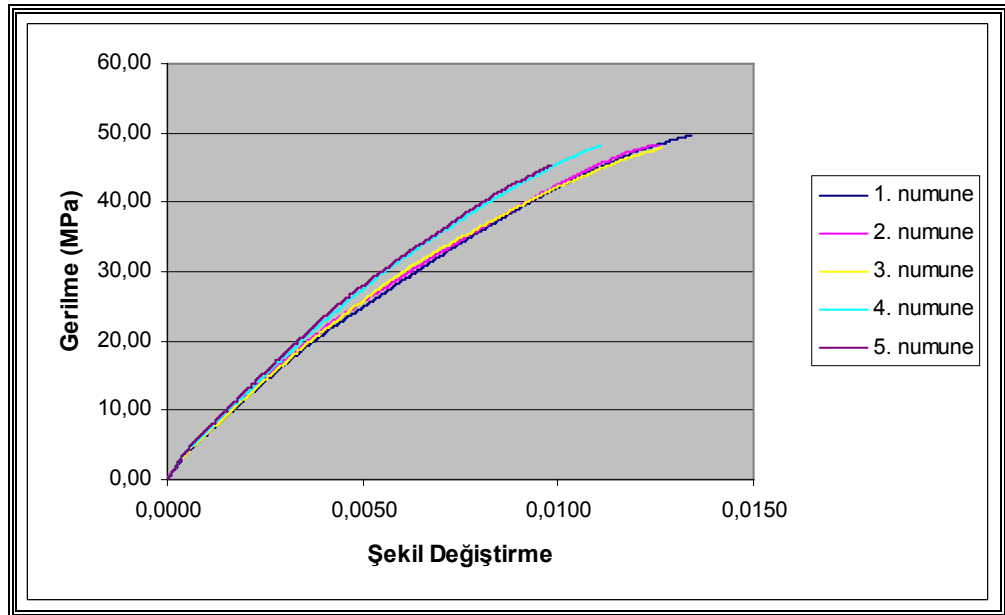
Şekil 4.9 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-F3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.10 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-F3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

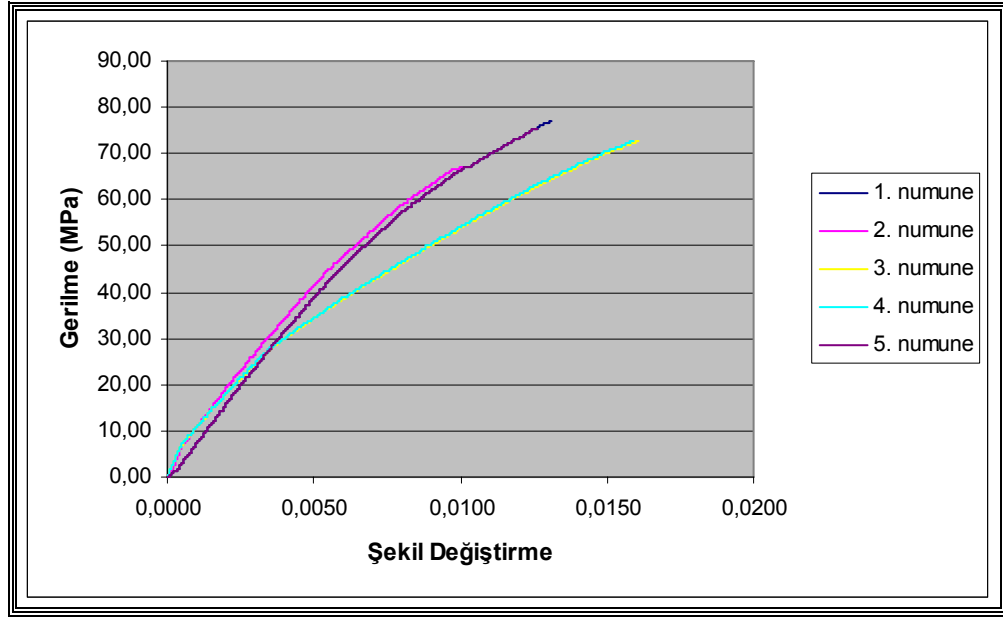


Şekil 4.11 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-C1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği

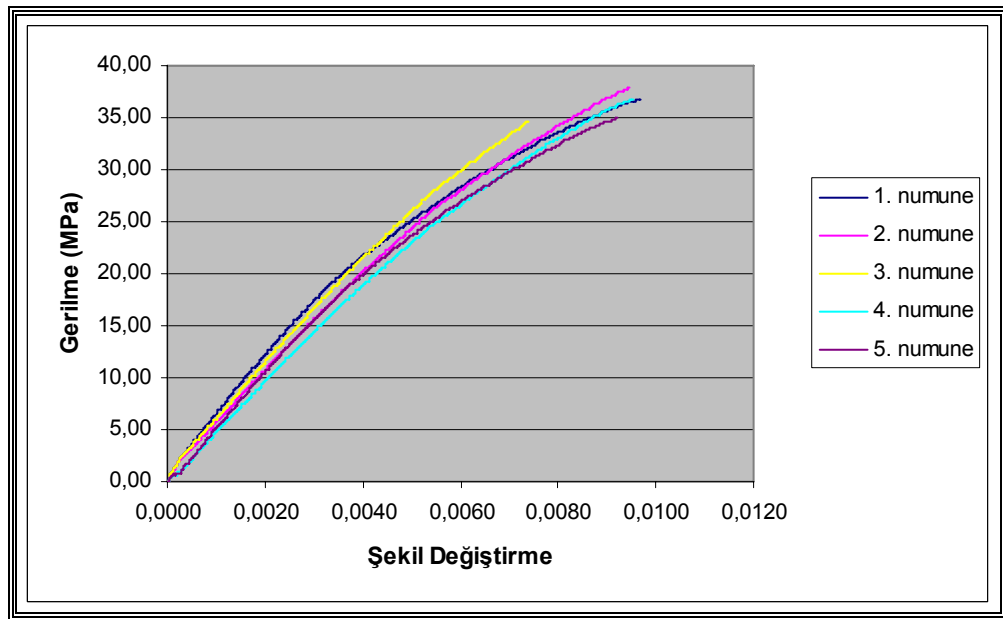


Şekil 4.12 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-C1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği

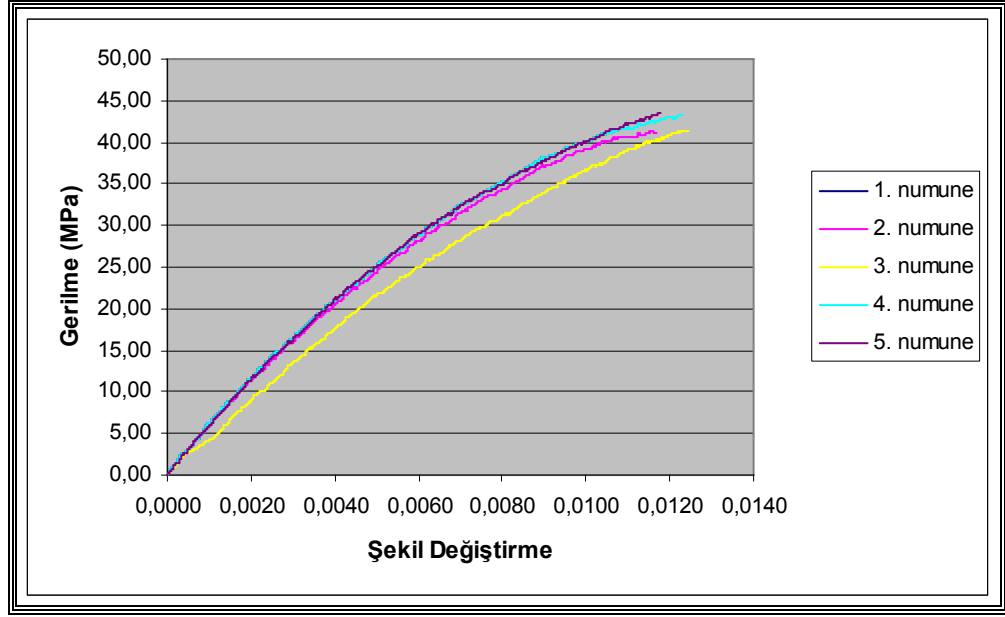




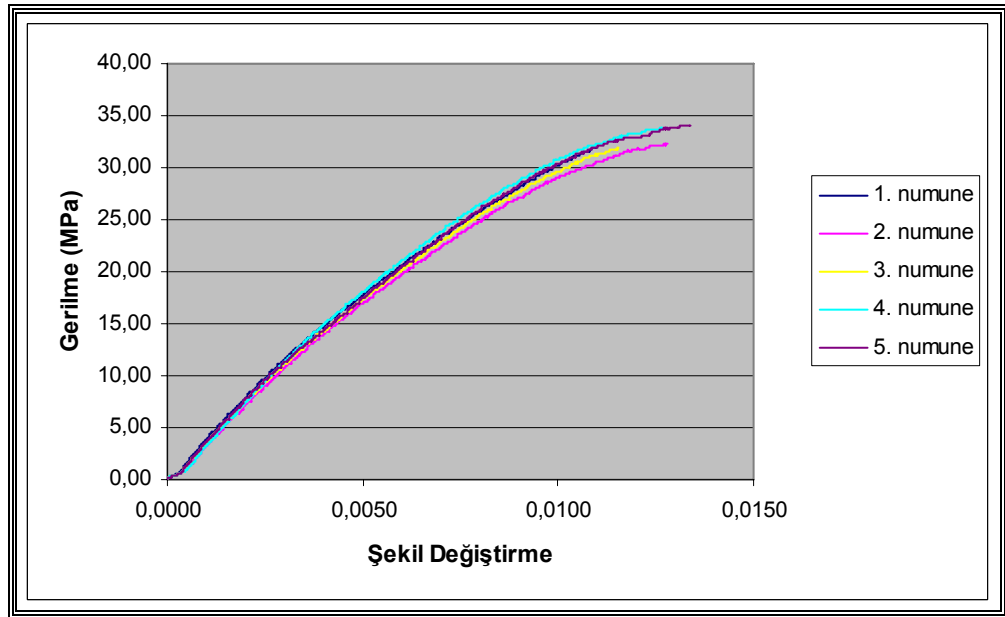
Şekil 4.13 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-C2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



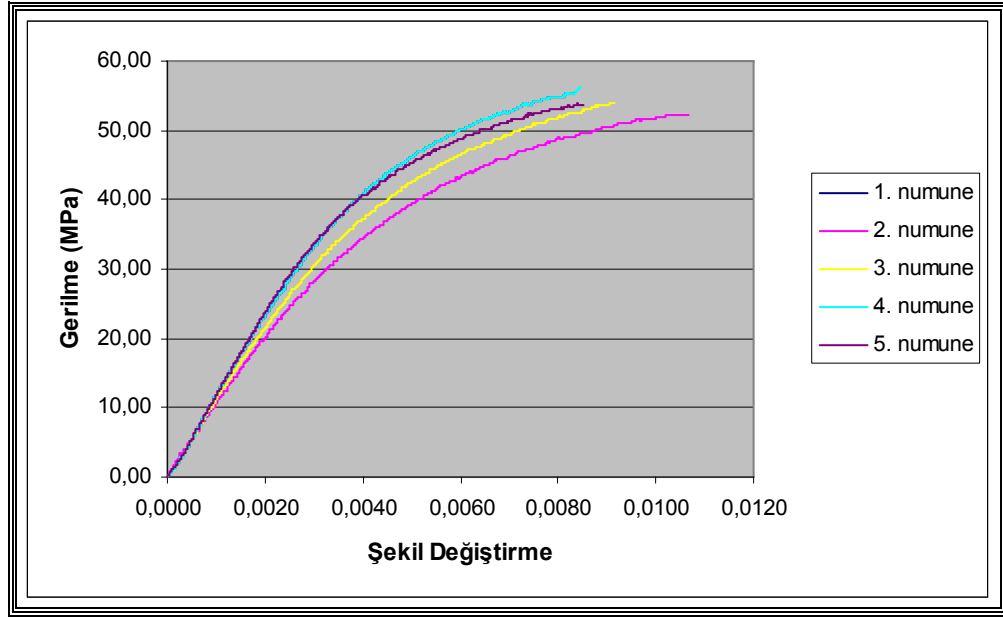
Şekil 4.14 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-C2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



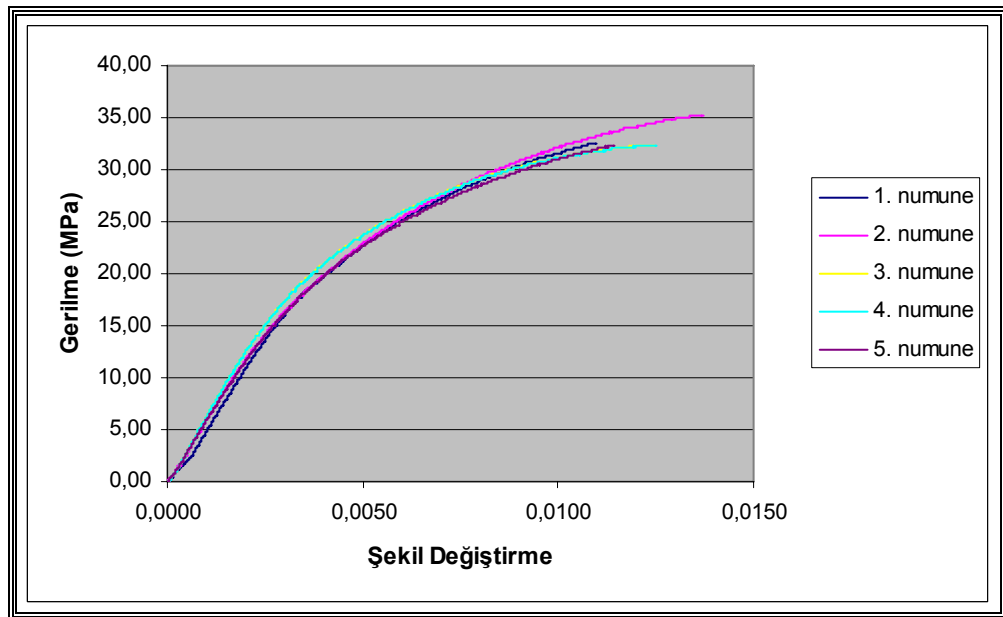
Şekil 4.15 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-C3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



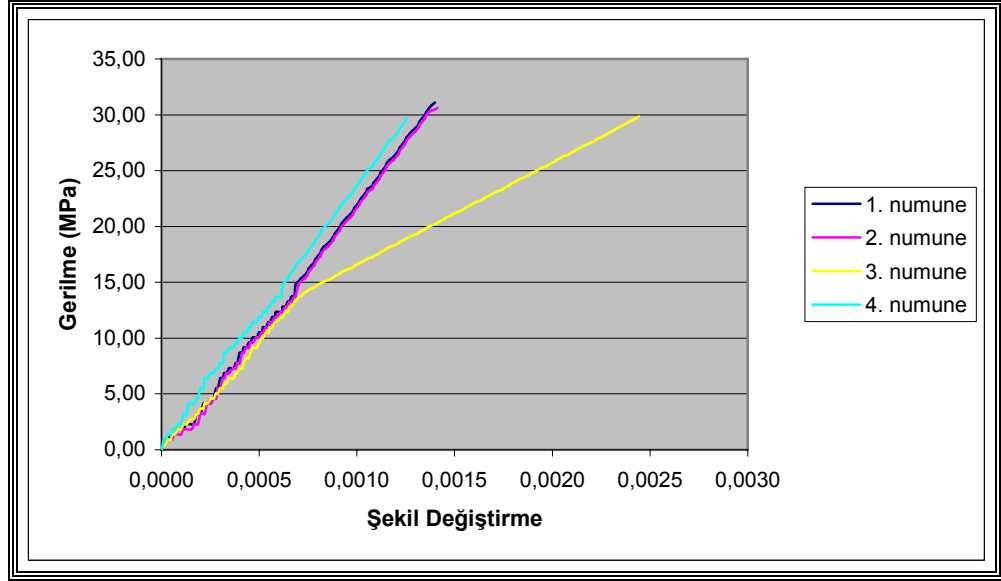
Şekil 4.16 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-C3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



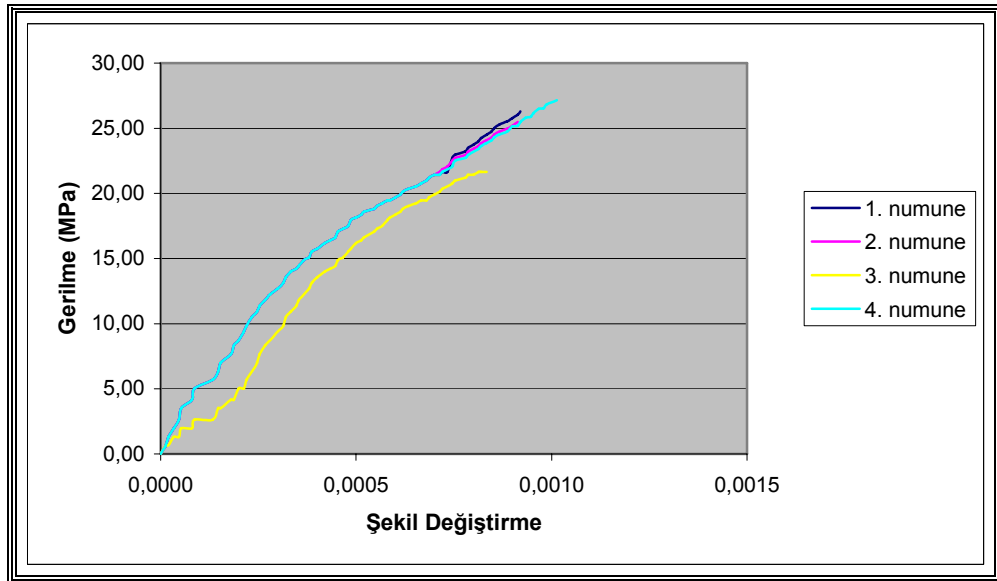
Şekil 4.17 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-C4 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



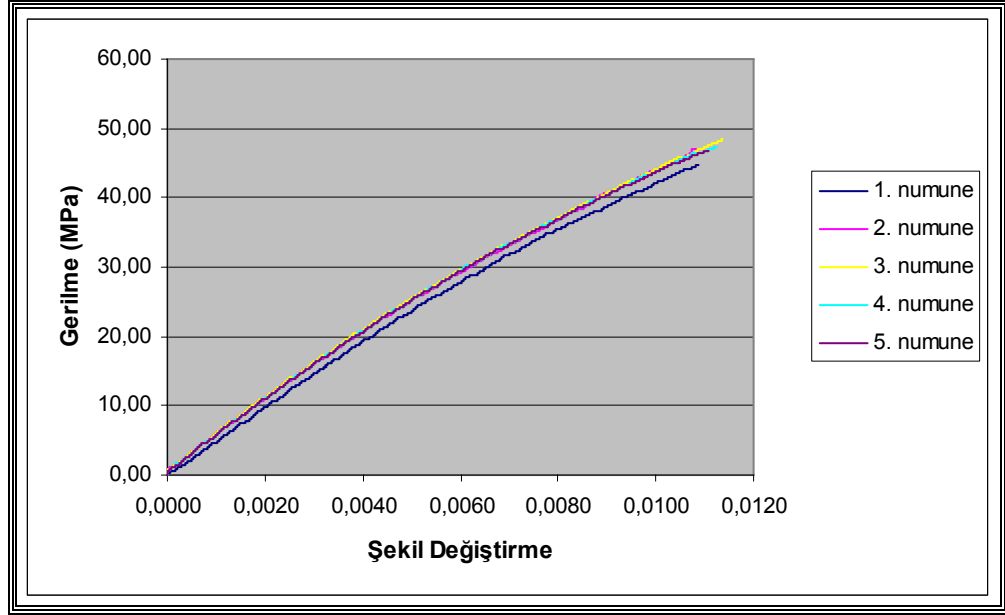
Şekil 4.18 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-C4 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



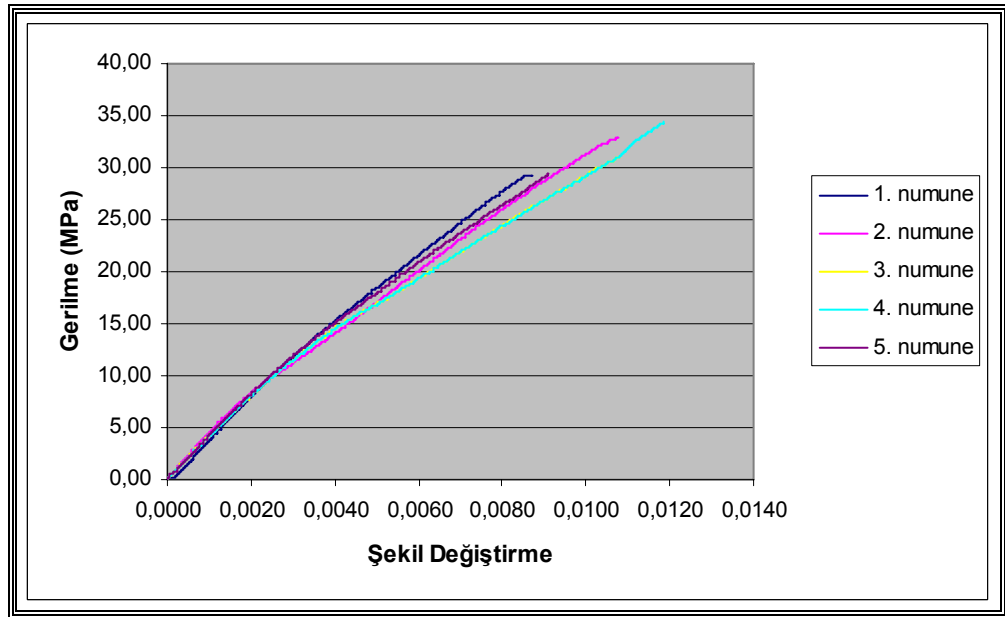
Şekil 4.19 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-C5 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



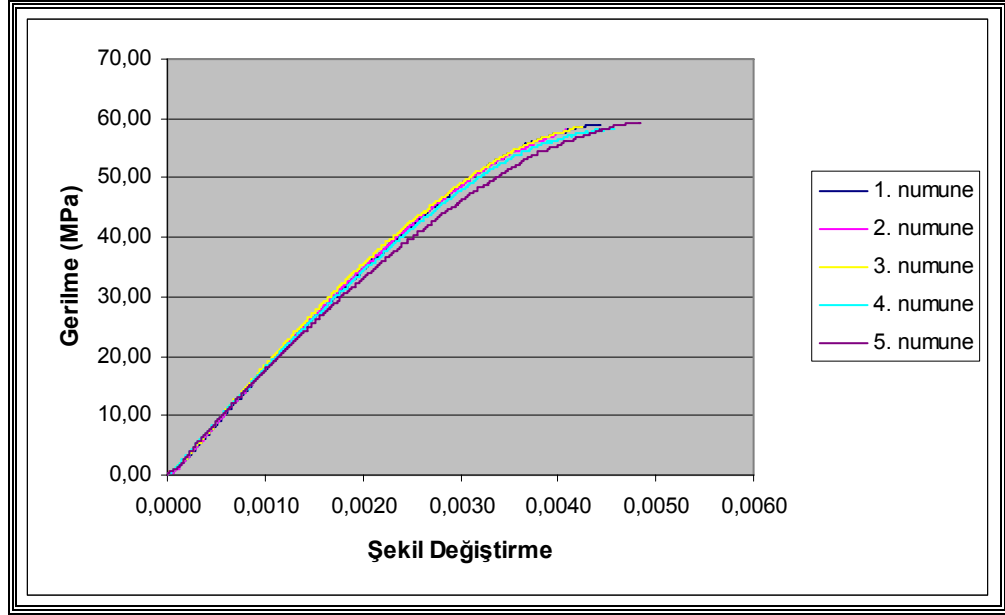
Şekil 4.20 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-C5 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



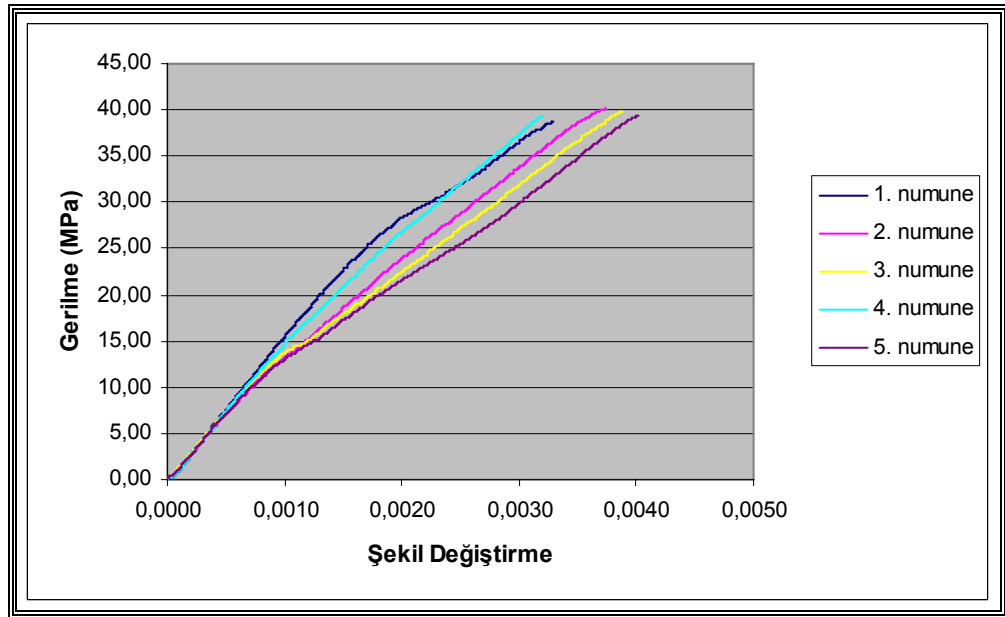
Şekil 4.21 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-P1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



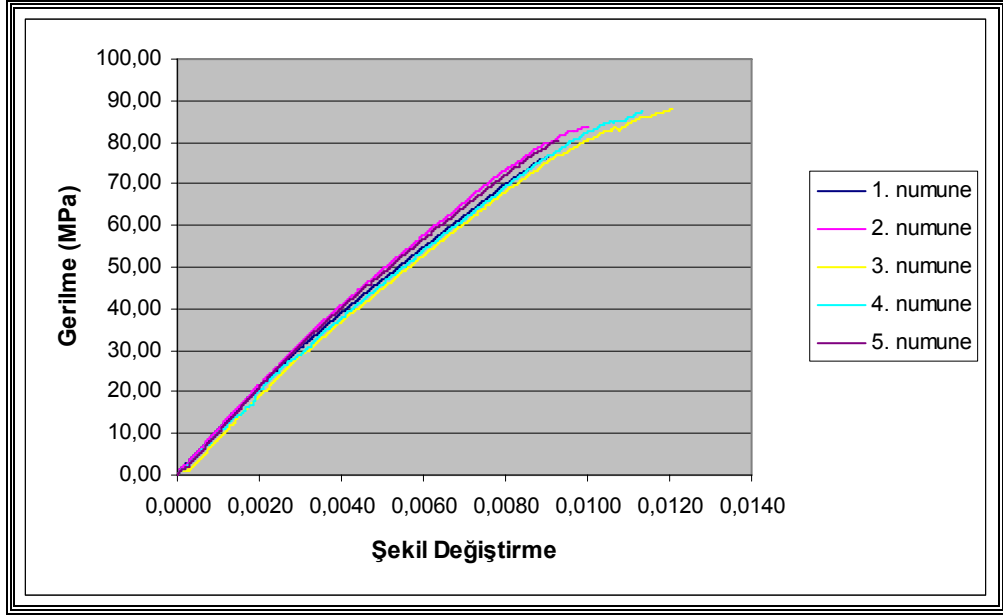
Şekil 4.22 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-P1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



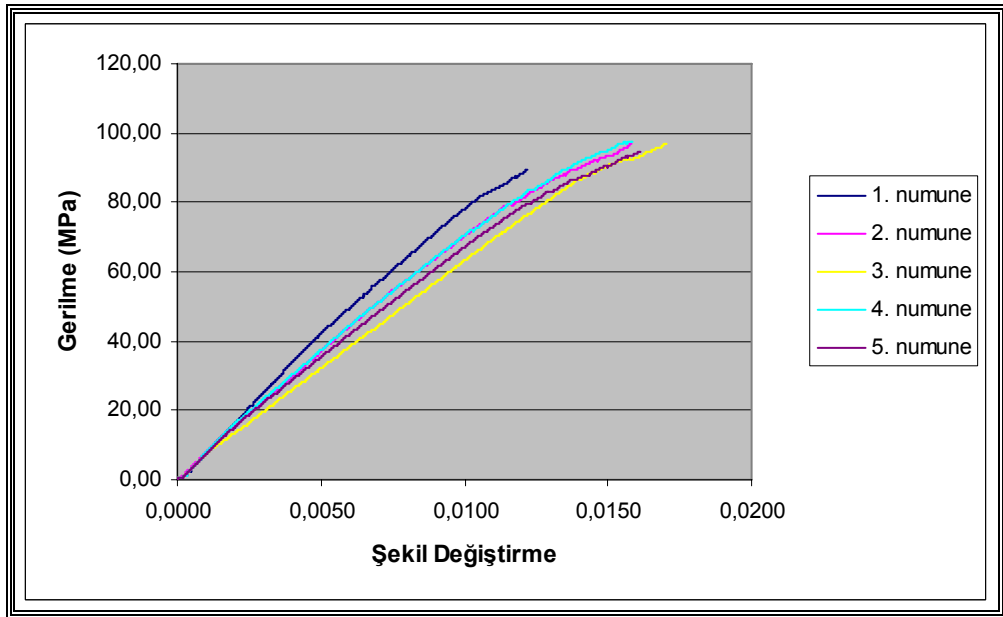
Şekil 4.23 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-P2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



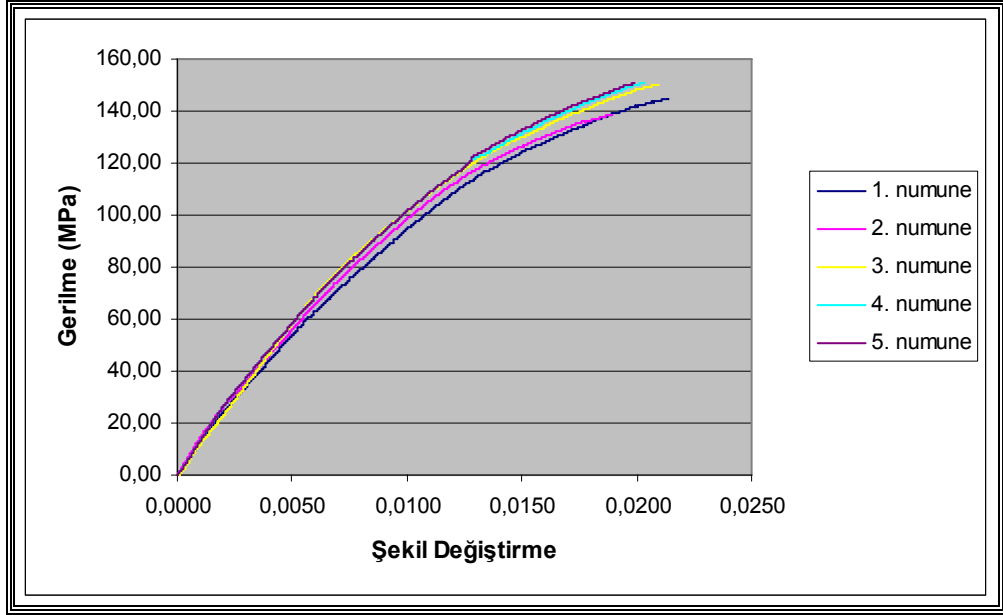
Şekil 4.24 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-P2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



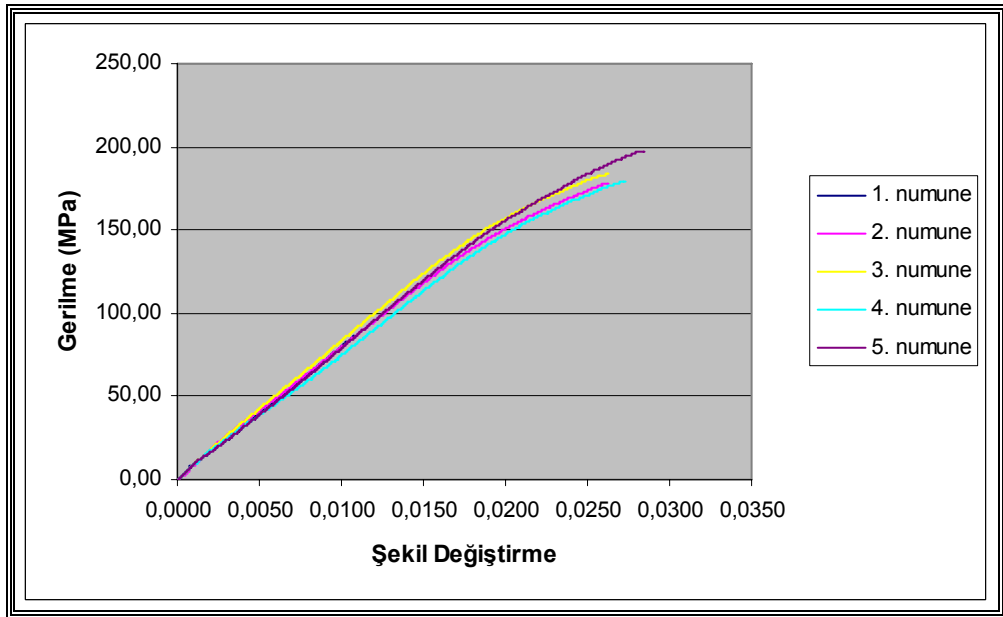
Şekil 4.25 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-G1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.26 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-G1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.27 İlmek sırası yönünde çekme mukavemeti deneyi-G2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.28 İlmek çubuğu yönünde çekme mukavemeti deneyi-G2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Tablo 4.5 Kompozitlerin çekme mukavemetleri

<b>Kompozit Plaka Kodu</b>	<b>İmek Sırası Yönünde Çekme Mukavemeti Ortalama Değerleri (MPa)</b>	<b>Standart Sapma (%)</b>	<b>İmek Çubuğu Yönünde Çekme Mukavemeti Ortalama Değerleri (MPa)</b>	<b>Standart Sapma (%)</b>
F1	41,454	2,451	20,963	1,262
F2	54,697	1,336	31,507	4,154
F3	66,752	3,185	31,515	2,760
C1	48,997	2,437	47,893	1,624
C2	73,407	2,537	36,160	1,405
C3	42,405	0,975	33,326	1,185
C4	54,326	1,497	33,276	1,307
C5	30,311	0,672	25,106	2,400
P1	46,978	1,229	31,388	2,263
P2	58,696	0,529	39,546	0,533
G1	82,915	4,686	94,941	3,433
G2	146,960	5,209	187,850	10,067

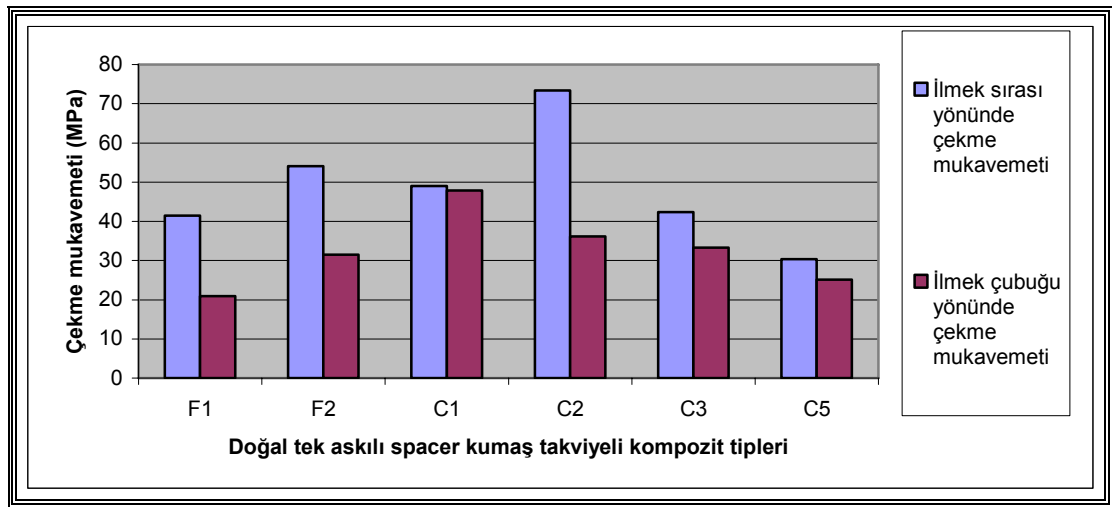
Çalışmada üretilen kompozit tiplerinin çekme mukavemetleri arasında önemli bir farklılığın olup olmadığını araştırmak amacıyla, kompozitlerin Ek 3’de verilen çekme mukavemeti sonuçları kullanılarak tek yönlü varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.6 Kompozitlerin çekme mukavemetleri için varyans analizi tablosu

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Kompozit tipi	23	174511,2	7587,4	741,76	0,000
Hata	94	961,5	10,2		
Toplam	117	175472,7			

Tablo 4.6'daki  $P = 0,000$  değeri  $\alpha = 0.05$ 'den küçük olduğu için, kompozit tiplerinin çekme mukavemeti değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu söylenebilir.

Keten ve pamuk tek askılı örme kumaş takviyeli kompozit tiplerinin (F1, F2, C1, C2, C3) çekme mukavemetleri (Şekil 4.29) kendi aralarında karşılaştırıldığında; tüm bu kompozit tipleri içinde ilmek sırası yönündeki çekme mukavemetlerinin, ilmek çubuğu yönündeki çekme mukavemetlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bölüm 2.1 ve 2.2'deki literatür araştırmasından da görüldüğü gibi, aslında örme kumaş takviyeli kompozitlerde ilmek sırası yöndeki çekme mukavemetinin ilmek çubuğu yönünden çok daha düşük olduğu görülmektedir. Örme kumaş takviyeli kompozitlerin bu dezavantajının önüne geçebilmek için, ilmek sırası yönünde iplik yatırımı yapılarak bu yönde mukavemet artırılmaktadır. Bölüm 2.3'de de belirtildiği gibi, bu çalışmada enine yönde iplik takviyesinin yapılmasının nedeni de, örme kumaş takviyeli kompozitin enine yöndeki mukavemetini artırmaktır. Buradaki sonuçtan görülmektedir ki, çalışmada bu amaca ulaşılmıştır.



Şekil 4.29 Doğal tek askılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetlerinin

karşılaştırılması

Keten ve pamuk tek askılı örme kumaş takviyeli kompozit tiplerinin (F1, F2, C1, C2, C3) ilmek sırası yönündeki çekme mukavemetleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, en yüksek mukavemete sahip kompozitin C2 (pamuk, tek askılı spacer, fitil yatırımı, epoksi reçine) olduğu görülmektedir. Daha sonra F2 (keten, tek askılı spacer, iplik yatırımı, vinilester), C1 (pamuk, tek askılı spacer, iplik yatırımı, epoksi reçine), C3 (pamuk, tek askılı spacer, fitil yatırımı, vinilester reçine), F1 (keten, tek askılı spacer, iplik yatırımı, epoksi reçine) ve C5 (pamuk, tek askılı spacer, fitil yatırımı, polilaktik asit reçine) gelmektedir. C2 tip kompozitte enine yönde fitil yatırımı yapılmıştır. Ancak F2, C1, C3 ve F1’de ise enine yönde iplik yatırımı yapılmıştır. Bölüm 2.1’de belirtildiği gibi, cam takviyeli kompozitler haricinde, preform kumaşlarda enine yöndeki fitil yatırımları iplik yatırımlarına nazaran daha yüksek mukavemet sonuçları vermektedir. Aslında fitil, iplikten çok daha az mukavemetli bir yapıdır. Oluşan kompozitin daha mukavemetli olmasının nedeni ise, ipliğin bükülü ve kapalı yapısı nedeniyle reçineyi daha zor emmesi, fitilin ise çok daha az bükümlü olması nedeniyle reçineyi daha çok emmesidir.

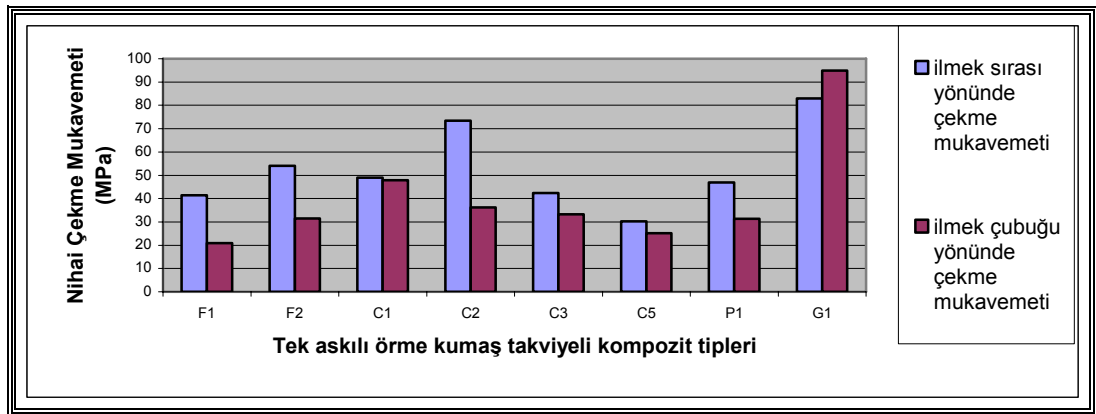
Diğer yandan tek askılı keten kompozitler kendi aralarında karşılaştırıldığında, vinilester ile üretilmiş keten kompozitin, yani F2’nin, epoksi ile üretilmiş keten kompozite göre ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönünde daha mukavemetli olduğu görülmektedir. Bu sonuç vinilesterin keten ile daha iyi uyum sağladığının bir göstergesidir. Ayrıca vinilesterin epoksiden daha ucuz olduğu ve maliyetin önemli olduğu sektörlerde vinilesterin tercih edildiği düşünülürse, iyi bir sonuç elde edildiği söylenebilir.

Pamuk tek askılı kompozitler kendi aralarında ilmek sırası yönünde karşılaştırıldığında ise, yukarıda da belirtildiği gibi enine fitil yatırımı epoksi ile üretilmiş C2 kodlu kompozit, diğerlerinden daha yüksek bir değer sergilemiştir. Vinilester ile üretilmiş C3 kodlu kompozitin, epoksi ile üretilen C1 ve C2’ye göre mukavemet değerinin daha düşük olduğunu görülmektedir. Bu da, epoksinin pamuk ile vinilesterden daha iyi birleştiğinin bir göstergesidir. Pamuk tek askılı kompozitler kendi aralarında ilmek çubuğu yönünde karşılaştırıldığında ise C1’in, C2 ve C3’e göre mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da, örgü kumaşa enine

iplik yatırımının kompozitte ilmek çubuğu yönündeki mukavemette fitilden daha fazla katkı sağladığını göstermektedir.

Çalışmada test edilen tek askılı doğal örme kumaş takviyeli kompozitlerin, ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki çekme mukavemetleri Carvalho ve arkadaşlarının (2007) çalıştığı jüt düz örgü ve bezayağı dokuma kumaş takviyeli kompozitlerden, Pohtan ve arkadaşlarının, çalıştığı sisal bezayağı ve dimi dokuma kumaş takviyeli kompozitlerden, Foulk ve arkadaşlarının (2006) çalıştığı keten/pamuk dimi dokuma kumaş takviyeli kompozitlerden daha yüksek çıkmıştır. Ancak bulunan değerler, Goutianos ve arkadaşlarının (2006) çalıştığı keten atkı yönünde çift iplik yatırımlı bezayağı dokuma kumaş takviyeli kompozitten daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni Goutianos ve arkadaşlarının (2006) 570 tex keten iplik kullanması ve dokuma kumaşın örme kumaştan yüksek olan mukavemetini enine yönde çift iplik yatırım yaparak daha da artırmasıdır.

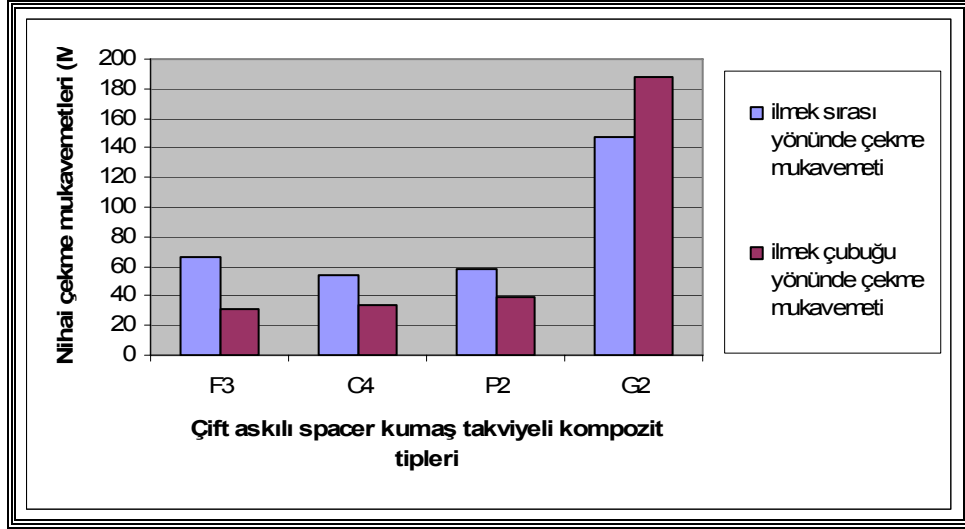
Bu çalışmada amaçlanan, tamamen doğada biyolojik olarak parçalanabilen polilaktik asit reçine ile üretilen, iplik yatırımlı pamuk spacer örgü preformlu kompozitin (C5) çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde ise, özellikle vinilester ile oluşturulmuş pamuk fitil yatırımlı kompozit (C3) ile karşılaştırıldığında çok bariz bir farklılık olmadığı görülebilir. Üstelik, doğal reçinede tek kat örgü kumaş kullanılmışken, diğer kompozit (C3) ise dört kat kumaş preformla vinilester ile üretilmiştir. Dolayısıyla çok yüksek mekaniksel özelliklerin istenmediği ve çevresel faktörlerin önemli olduğu alanlarda, doğada tamamen çözünebilen C5 kodlu pamuk/polilaktik asit kompozitin uygun olabileceği söylenebilir.



Şekil 4.30 Tek askılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

Tüm tek askılı örme kumaş takviyeli kompozitler karşılaştırıldığında, ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki çekme mukavemetleri açısından en yüksek değerlere cam örgü kumaş takviyeli kompozitin sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.30). Bunun nedeni, cam liflerinin keten, pamuk ve polyestere göre çok daha mukavemetli olmasıdır. Burada dikkat çeken bir diğer nokta, cam tek askılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin diğerlerinden farklı olarak ilmek çubuğu yönündeki mukavemetlerinin ilmek sırası yönündeki mukavemetinden daha fazla olmasıdır. Bunun nedeni de, çalışmadaki cam kompozitte, fitil takviyesinin ancak tek kat olarak yapılabilmesidir. Çift kat yatırım denendiğinde, iki yatak arasında daha yoğun lif birikimi olduğundan, bir sonraki askı bağlantılarının oluşumu için iğneler yükseldiğinde, iğne başlarına biriken liflerin sıkışması probleminin oluştuğu izlenmiştir. Dolayısıyla askı bağlantıları gerçekleştirilememiştir. Zorunlu olarak cam fitil tek kat olarak yatırılarak preform sorunsuz olarak örülebilmiştir. Dolayısıyla enine yönde yatırılan 68 tex bükümsüz cam fitilin inceliği, diğer kompozitlerde yatırım yapılan ipliklerden daha düşük olduğundan cam kompozitin ilmek sırası yönündeki mukavemetini çubuk yönünden daha fazla yapmaya yetmemiştir.

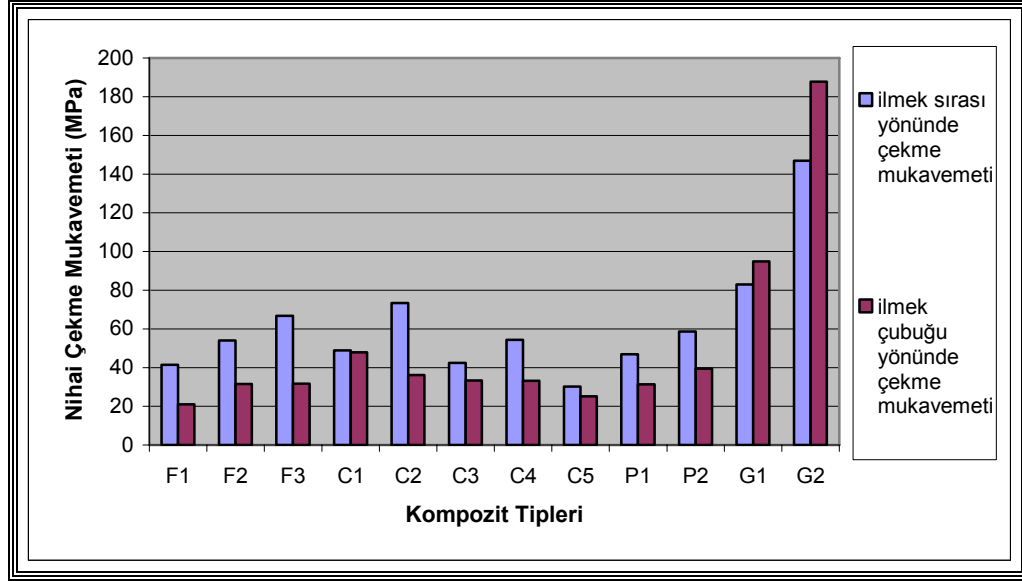
Cam tek askılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin çekme mukavemeti değerleri Bölüm 2’de ayrıntıları verilen Dev ve arkadaşlarının (2005) ilmek sırası yönünde tek ve çift iplik takviyeli rib örgü kumaşlardan çok daha yüksek çıktığı görülmektedir. Diğer yandan bulunan mukavemet değerleri Leong ve arkadaşlarının (1998) 6, 8 ve 12 kat cam Milano rib kumaştan ürettiği kompozitlerden ilmek çubuğu yönünde düşük ancak ilmek sırası yönünde yüksektir. Aynı şekilde Khondker ve arkadaşlarının (2001 a) 12 kat ve 16 kat cam düz örgü kumaştan ve 6 kat Milano rib kumaştan ürettiği kompozitlerden ilmek çubuğu yönünde düşük, ancak ilmek sırası yönünde yüksektir. Bunun nedeni, bu çalışmalarda üretilen kompozitlerin lif ağırlık oranlarının ve kumaş katı sayısının bu çalışmadakinden daha fazla olmasıdır. Ancak buna rağmen ilmek sırasındaki çekme mukavemetinin yüksek çıkması, bu yöndeki cam fitil yatırımının pozitif etkisinin bir göstergesidir.



Şekil 4.31 Çift askılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

Çift askılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, cam takviyeli kompozitin, pamuk, keten ve polyester kompozitlerden oldukça yüksek değerlere sahip olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4.31). Çift askılı cam örme kumaş takviyeli kompozitin ilmek çubuğu yönündeki mukavemeti, tek askılıda olduğu gibi, ilmek sırası yönündeki çekme mukavemetinden daha yüksek çıkmıştır. Pamuk ve keten çift askılı örme kumaş takviyeli doğal kompozitler birbirleriyle karşılaştırıldığında ise ketenin çekme mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Diğer yandan çalışmada üretilen çift askılı cam örme kumaş takviyeli kompozitin bulunan çekme mukavemeti değerlerinin, Dev ve arkadaşlarının (2005), Leong ve arkadaşlarının (1998), Khondker ve arkadaşlarının (2001 a) ürettiği cam örme kompozitlerden ilmek sırası ve çubuğu yönünde, bu çalışmalarda çok daha fazla kat örme kumaş kullanılmasına rağmen, çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.32 Kompozitlerin çekme mukavemetleri

Tek ve çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetleri bir arada karşılaştırıldığında, tüm çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlerin tek askılılara göre daha yüksek çekme mukavemeti değerleri verdiği görülmektedir (Şekil 4.32). Pamuk kompozit haricinde keten, polyester ve cam kompozitlerin hepsinde çift askının hem sıra hem çubuk yönünde pozitif etkisi olmuştur. Pamukta ise sadece sıra yönündeki çekme mukavemetinde bir artış izlenmiştir.

Özellikle cam kompozite her iki yönde de çok belirgin bir artış göze çarpmaktadır. Alpyıldız ve arkadaşlarının, Selanik türevi örgü ile oluşturulan kompozitte, uzun iğnelerde önce ön, sonra arka yatakta yapılan askının sadece ilmek sırası yönünde çekme mukavemetini artırdığı tespit edilmişti (Alpyıldız, İçten, Karakuzu ve Kurbak, 2009). Bu durum, çubuk doğrultusundaki yüklemenin ilmek başlarına nazaran askı ipliklerinin daha yüksek açı yaptıkları dolayısıyla da ilmek kollarına göre daha çabuk kırılmalarına bağlanmıştır. Bu çalışmadaki çift askılı spacer yapıda, askı yatırımlarının her iki yatakta da yapılması ve bu yatırımların değişimli olarak birbirine ters yönde kenetlenmesinin yapıyı oldukça rijit ve mukavim hale getirdiği düşünülebilir. Ayrıca sıra yönünde de, her iki yatakta değişimli olarak yapılan atlamaların, aynı şekilde sıra yönünde tek askılı spacer kumaşa göre mukavemeti oldukça artırıcı etkiye neden olmuştur.

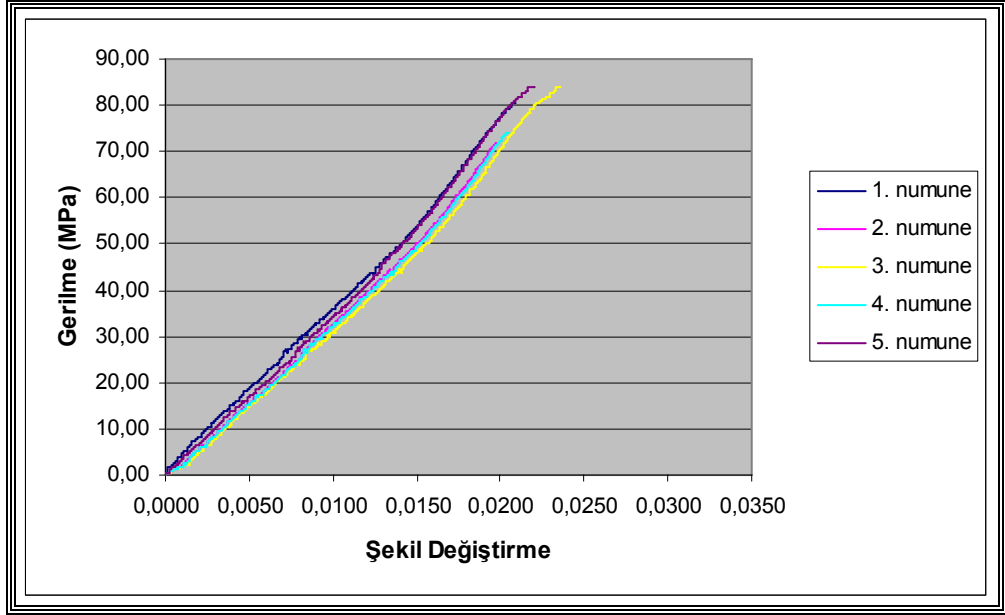
## 4.2 Bası Mukavemeti Testi Sonuçları

Bu tez çalışmasında üretilen kompozit materyallerin bası mukavemetini bulmak için, materyali hasara uğrattıncaya kadar bası yükü uygulanarak bası mukavemeti testi yapılmıştır. Bası mukavemeti testi sırasında cihaz, uygulanan yük karşısında materyalin yer değiştirmesini kaydetmektedir. Bu değerlerden, (4.1) ve (4.2)'deki formüller kullanılarak gerilme-şekil değiştirme grafikleri (Şekil 4.33– Şekil 4.56) elde edilmiştir. Ayrıca kompozit materyallerin bası mukavemetleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler ayrıntılı olarak Ek 4'de; bu değerlerin ortalamaları ve standart sapmaları ise Tablo 4.8'de verilmiştir.

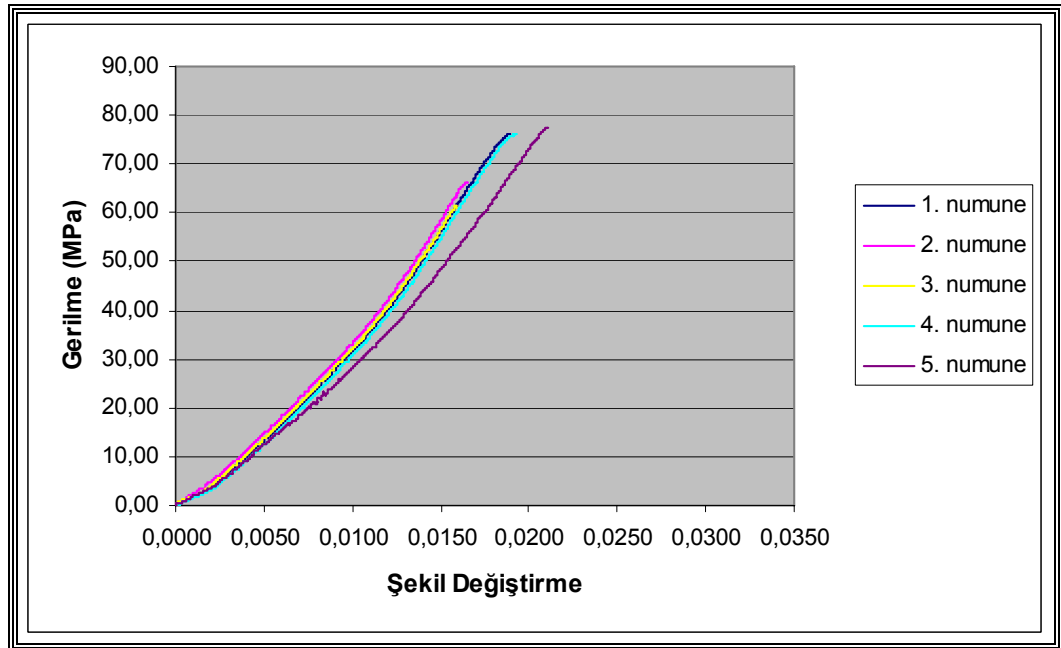
Şekil 4.33'den Şekil 4.56'ya kadar, sırasıyla F1, F2, F3, C1, C2, C3, C4, C5, P1, P2, G1, G2 kodlu kompozit materyallerin bası mukavemeti testleri için gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Bir kompozit materyalden 5 adet numune alarak, ilmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi yapılmıştır. Bu 5 deneyden elde edilen gerilme şekil değiştirme grafikleri üst üste çakıştırılarak, 5 numune arasındaki farkların daha rahat görülmesi amaçlanmıştır. Daha sonra aynı işlem, aynı kompozitin ilmek çubuğu yönündeki bası mukavemeti deneyi için de yapılmıştır.

Elde edilen grafiklerden, çalışmada üretilen tüm kompozit materyallerin bası mukavemeti numunelerinin grafikleri üst üste çakıştırıldığında iyi bir uyum içinde olduğu, ancak çekme mukavemeti grafiklerinde olduğu kadar mükemmel bir uyum olmadığı görülmektedir. Ancak Tablo 4.8'e bakıldığında numunelerin bası mukavemetleri arasındaki standart sapmanın yine de oldukça düşük olduğu görülmektedir.

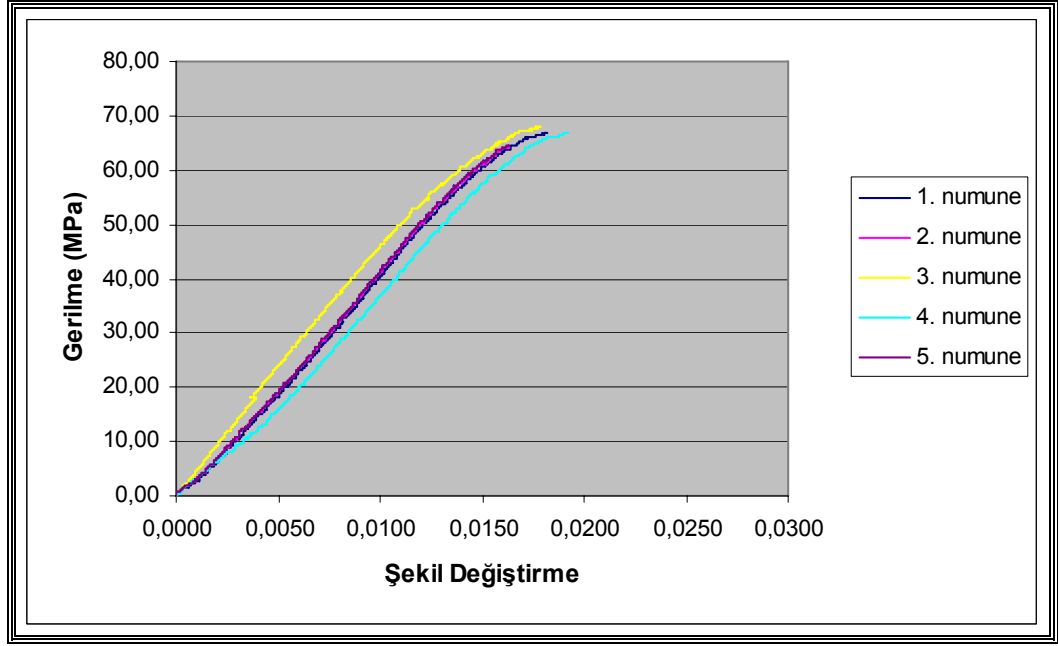




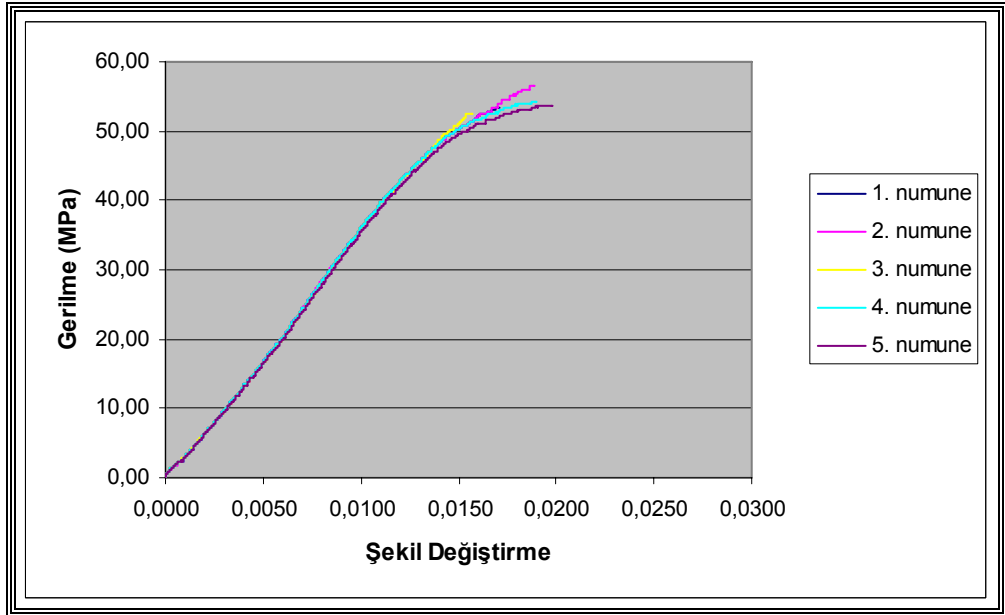
Şekil 4.33 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-F1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



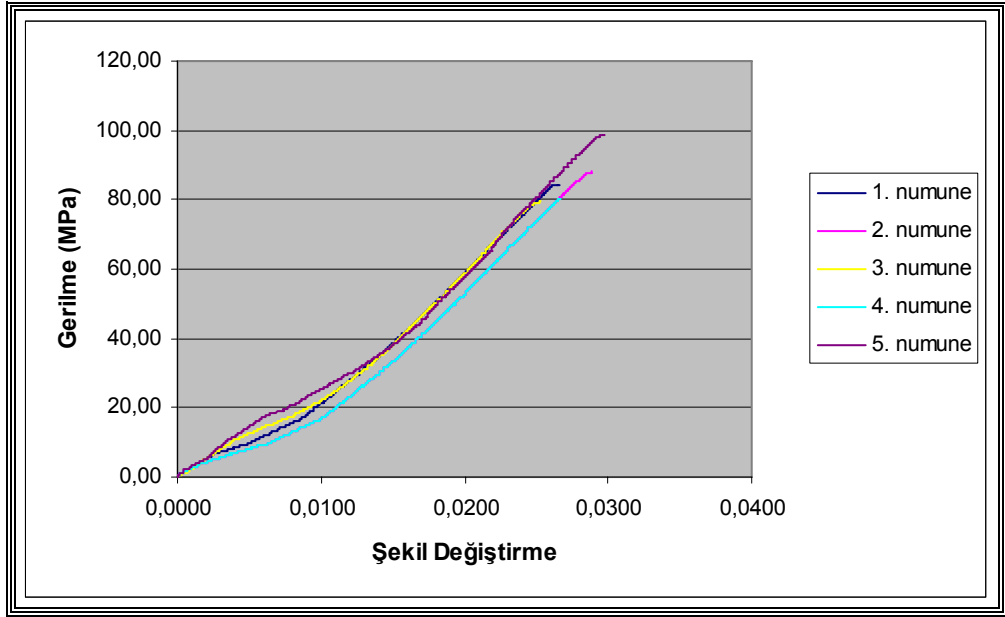
Şekil 4.34 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-F1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



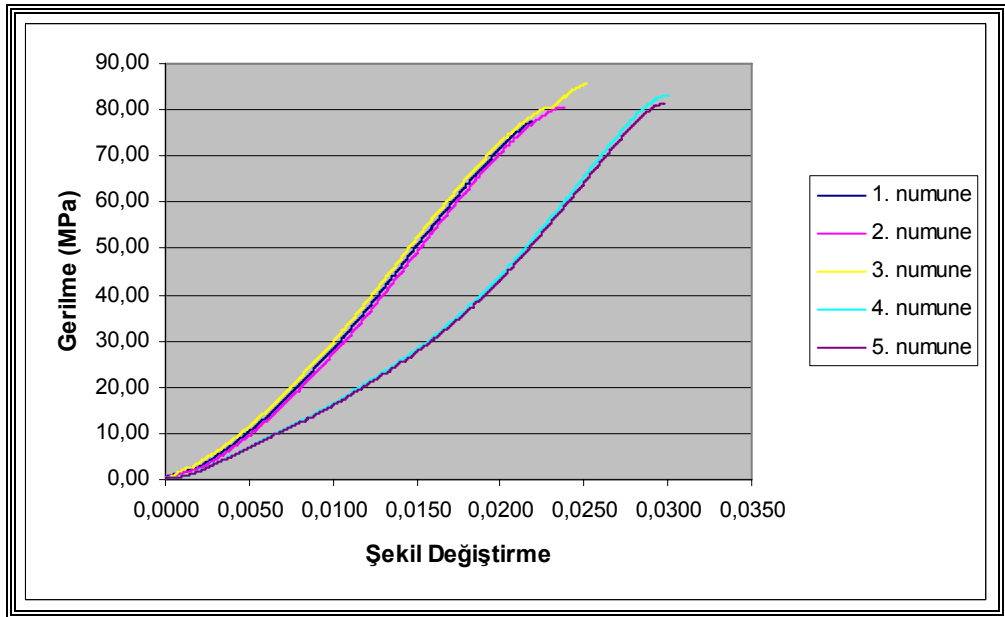
Şekil 4.35 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-F2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



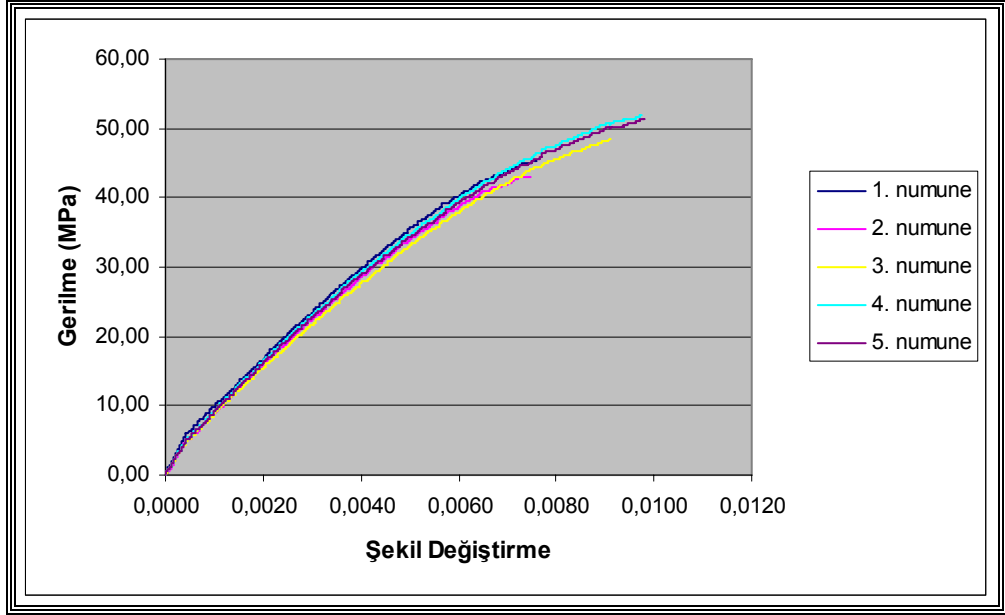
Şekil 4.36 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-F2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



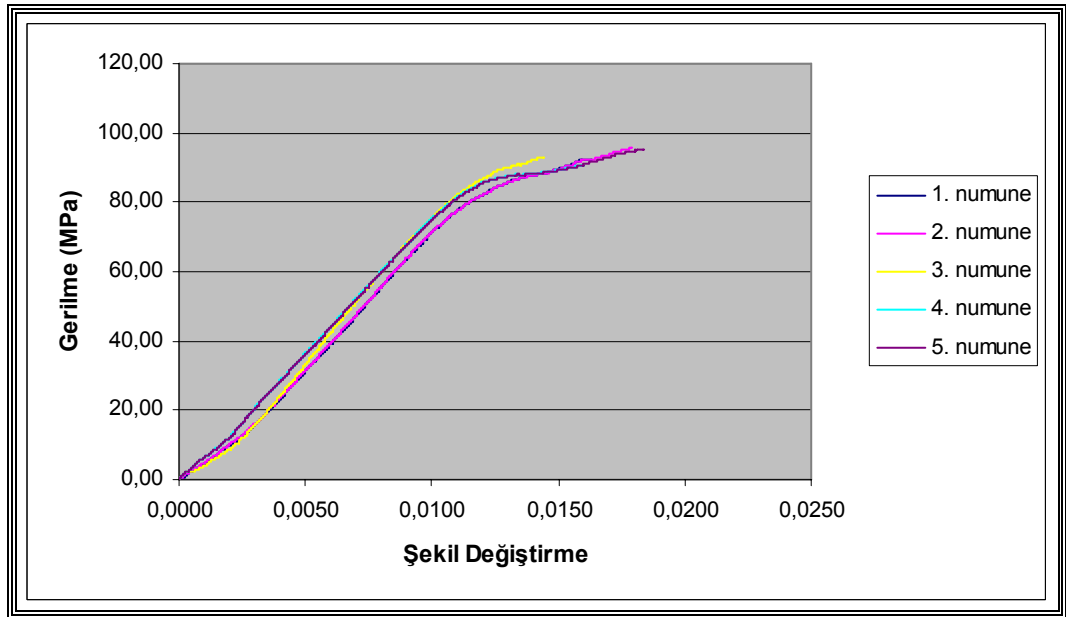
Şekil 4.37 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-F3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



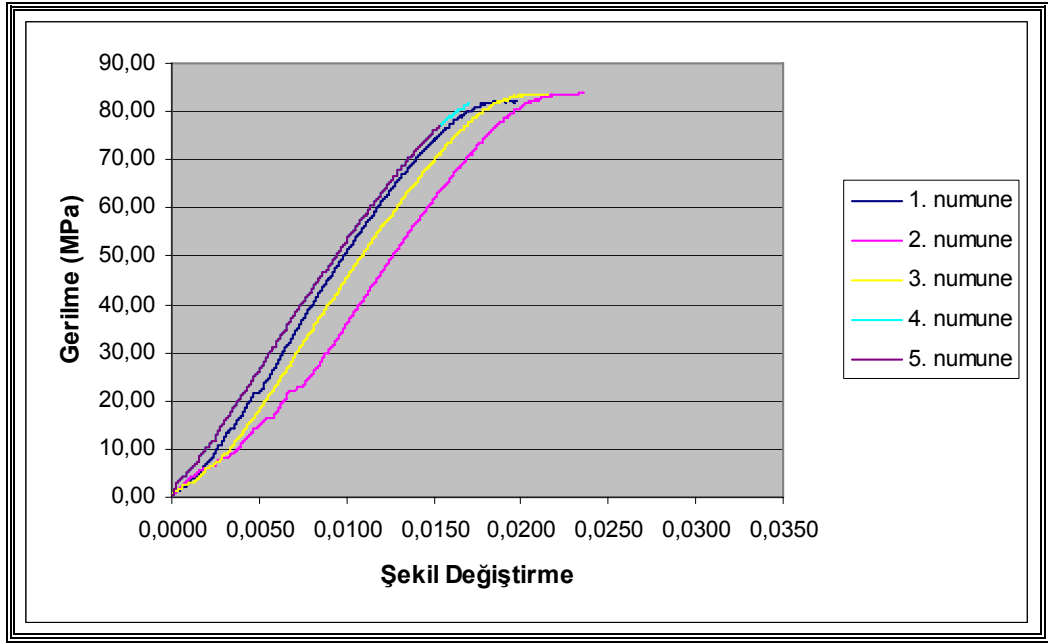
Şekil 4.38 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-F3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



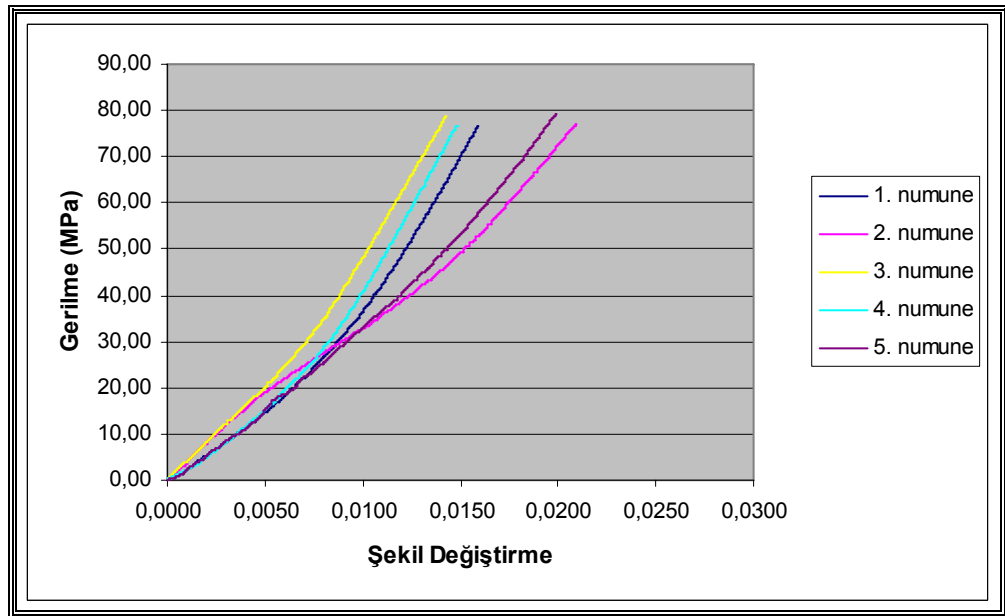
Şekil 4.39 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-C1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



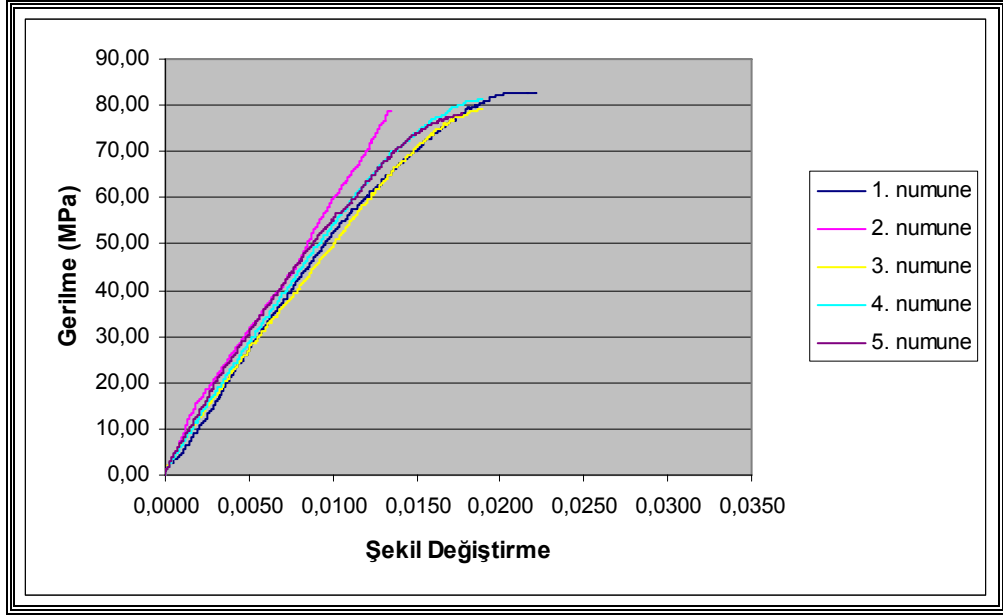
Şekil 4.40 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-C1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



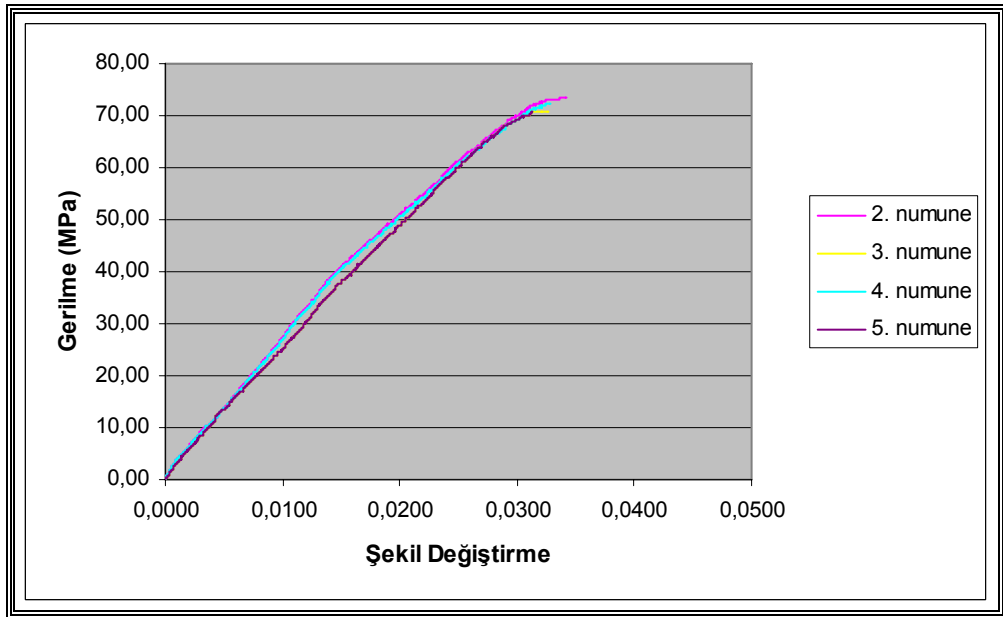
Şekil 4.41 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-C2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



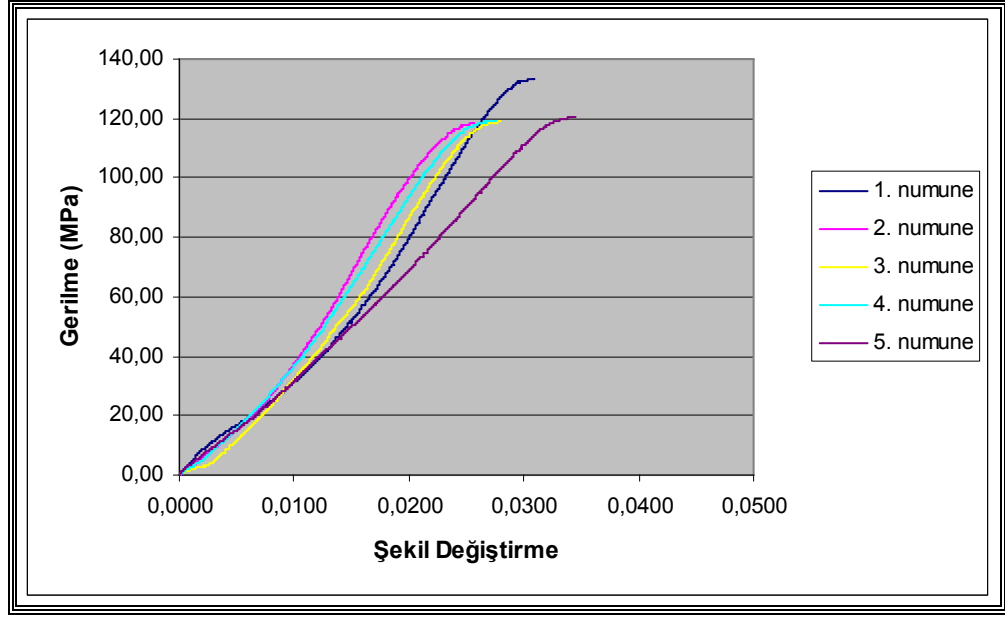
Şekil 4.42 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-C2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



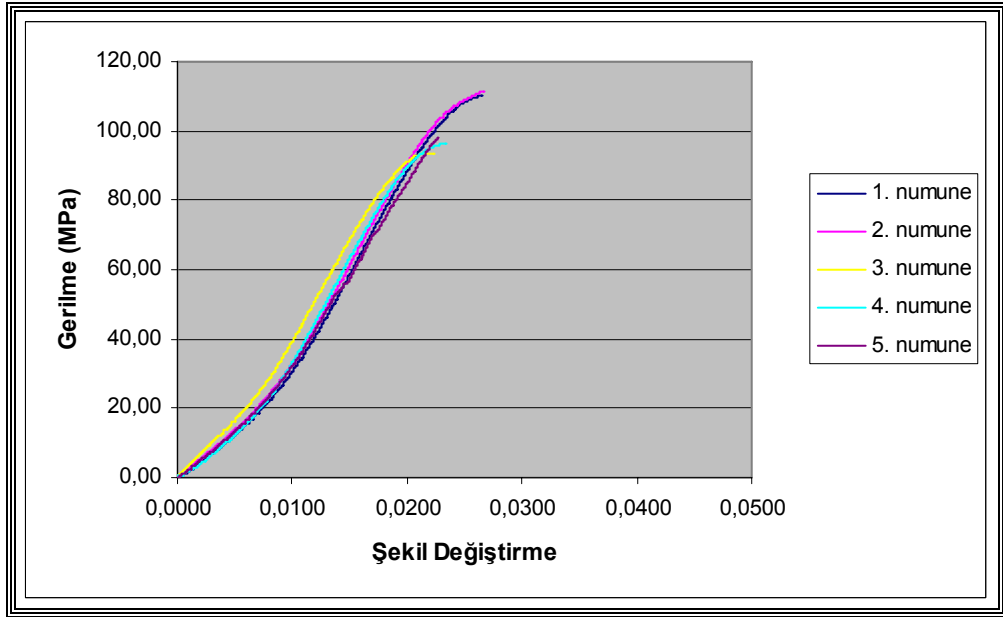
Şekil 4.43 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-C3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



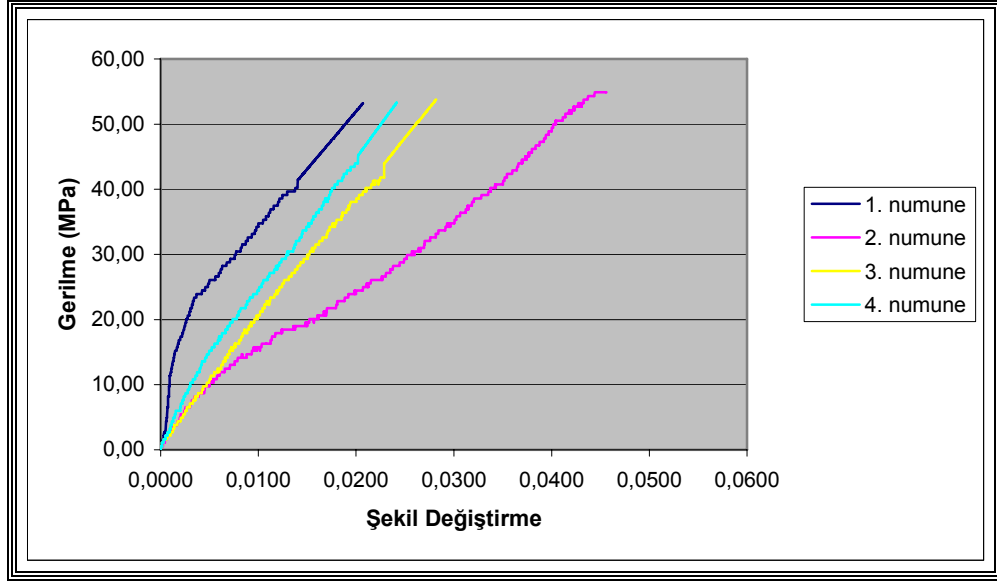
Şekil 4.44 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-C3 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



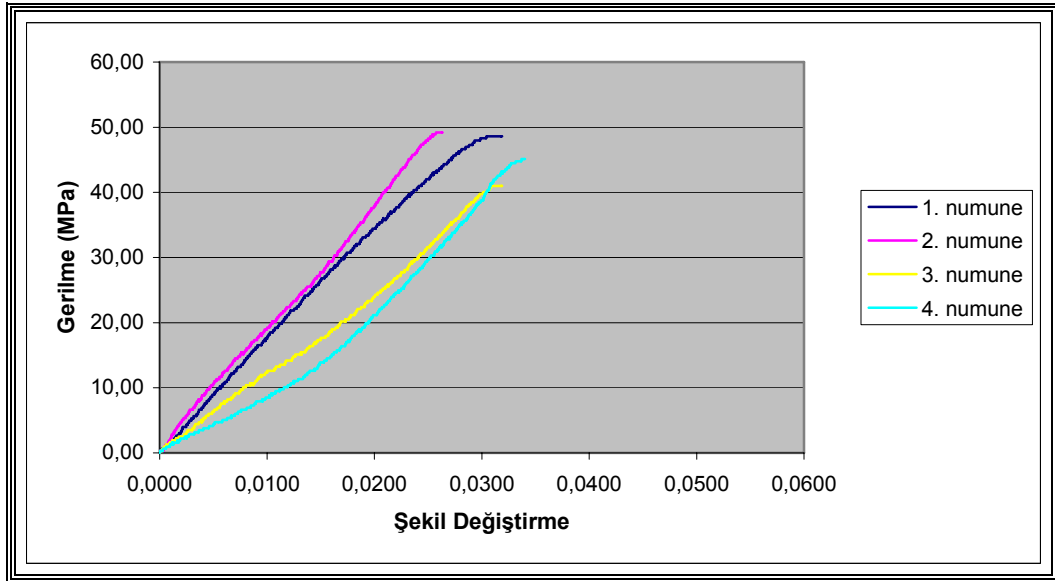
Şekil 4.45 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-C4 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.46 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-C4 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

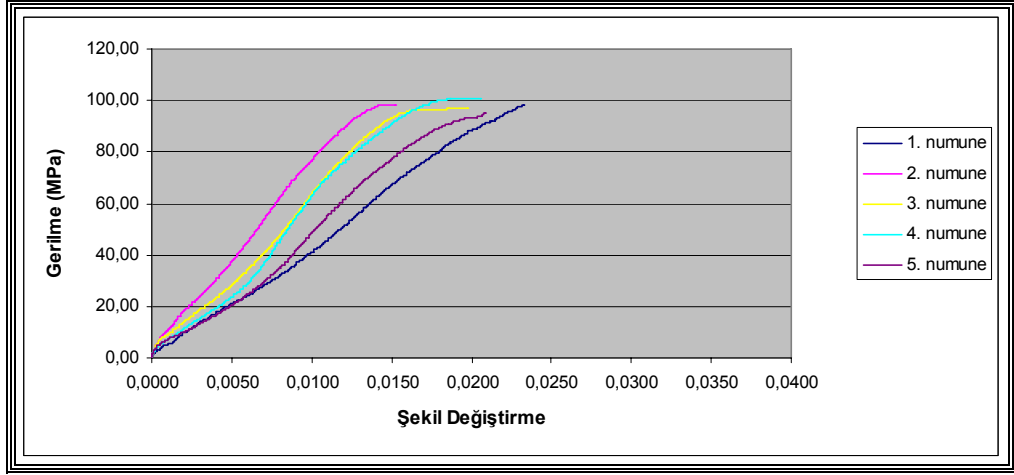


Şekil 4.47 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-C5 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

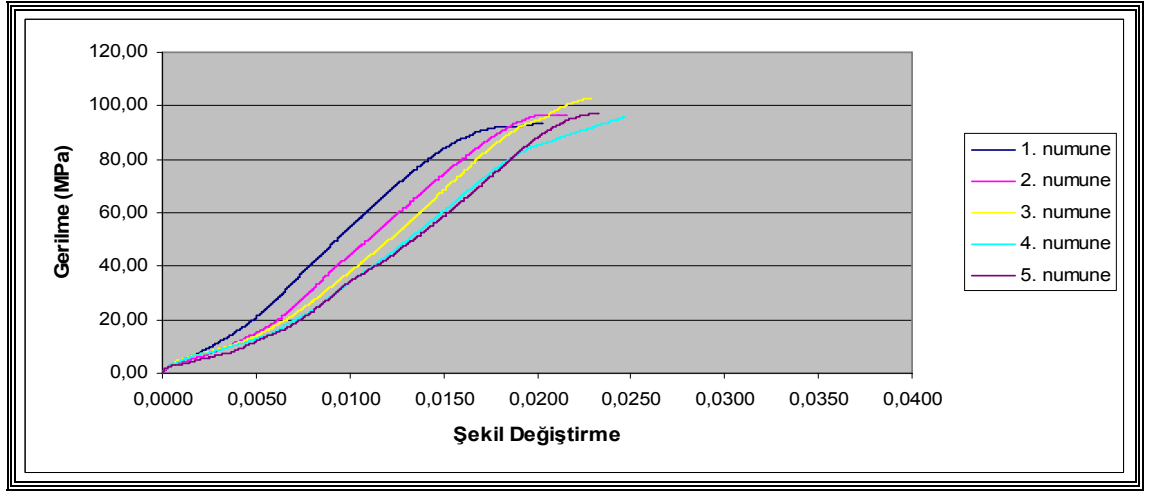


Şekil 4.48 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-C5 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

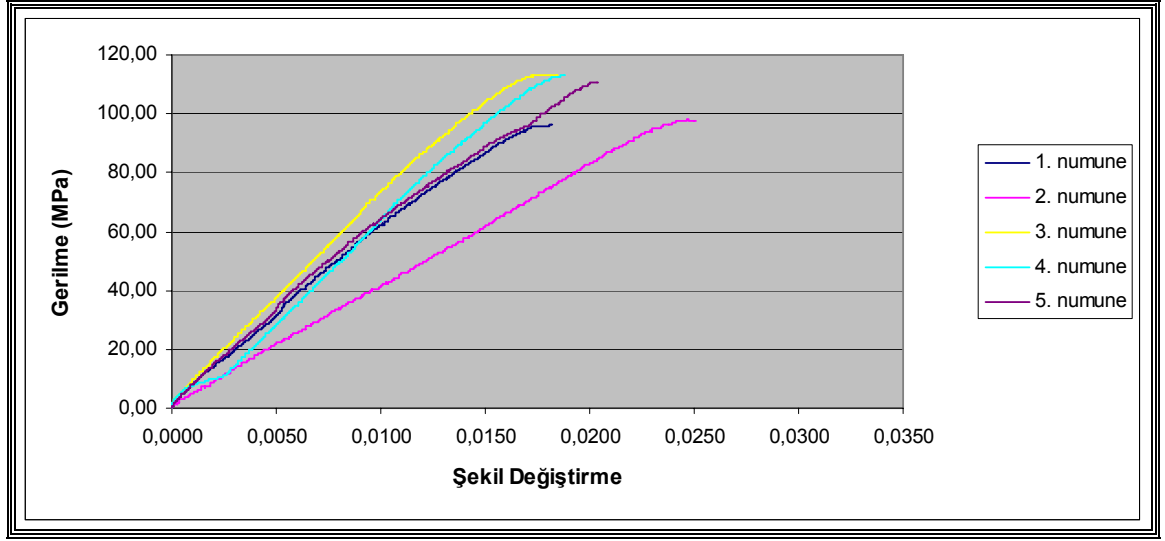




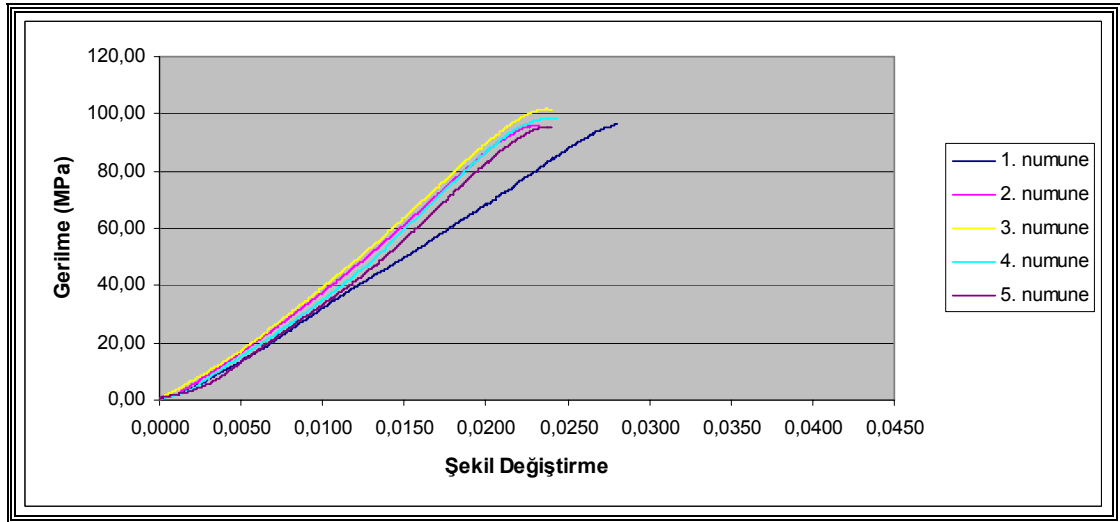
Şekil 4.49 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-P1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



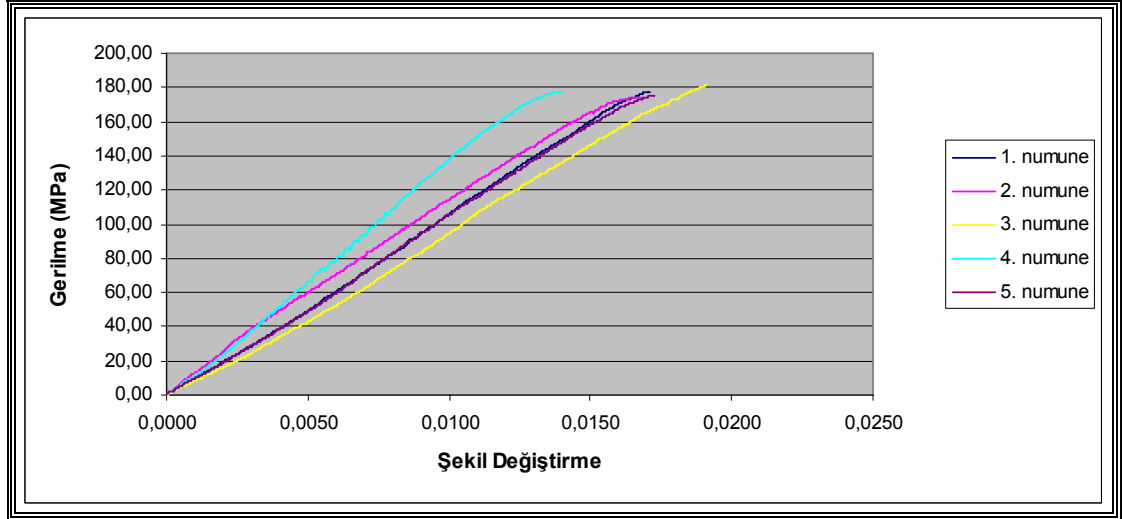
Şekil 4.50 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-P1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



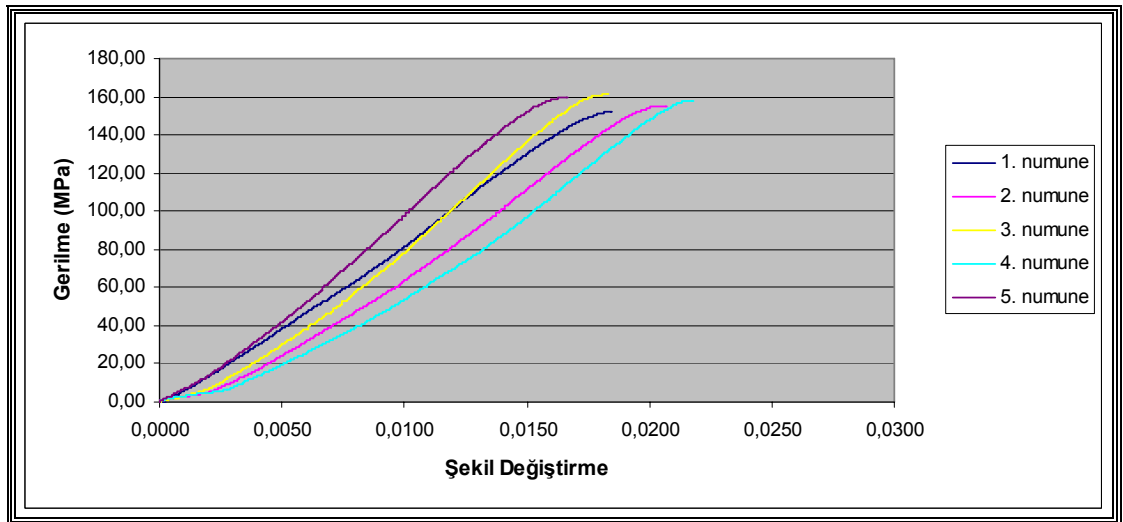
Şekil 4.51 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-P2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



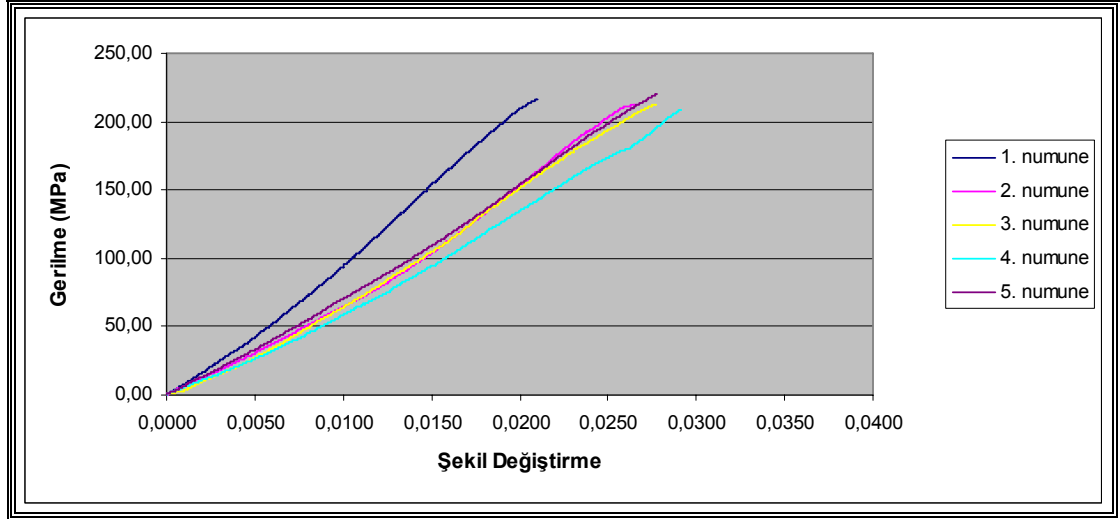
Şekil 4.52 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-P2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



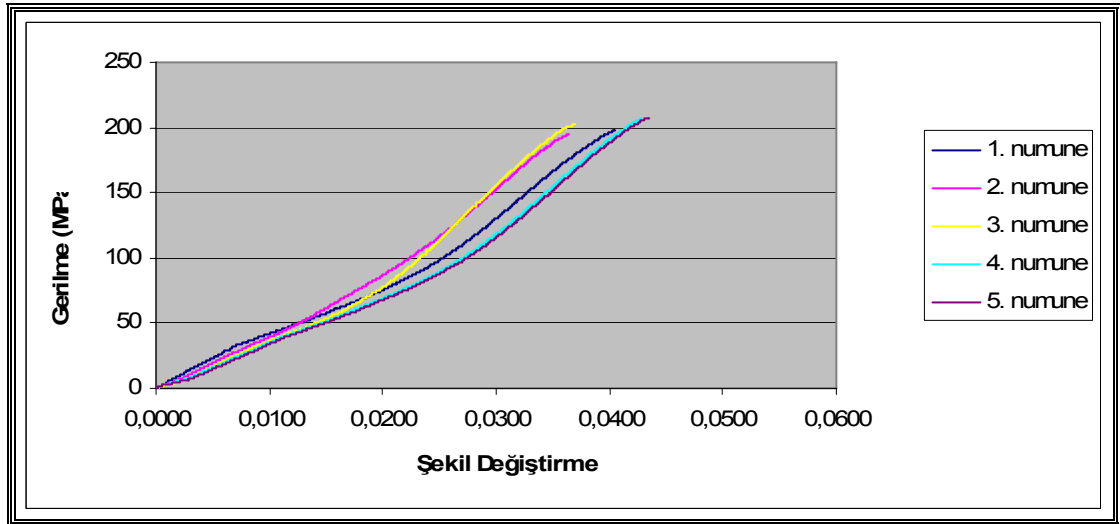
Şekil 4.53 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-G1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.54 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-G1 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.55 İlmek sırası yönünde bası mukavemeti deneyi-G2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.56 İlmek çubuğu yönünde bası mukavemeti deneyi-G2 kompozitine ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

Çalışmada üretilen kompozit tiplerinin bası mukavemetleri arasında önemli bir farklılığın olup olmadığını araştırmak amacıyla, kompozitlerin Ek-4'de verilen bası mukavemeti sonuçları kullanılarak tek yönlü varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.7 Kompozitlerin bası mukavemetleri için varyans analizi tablosu

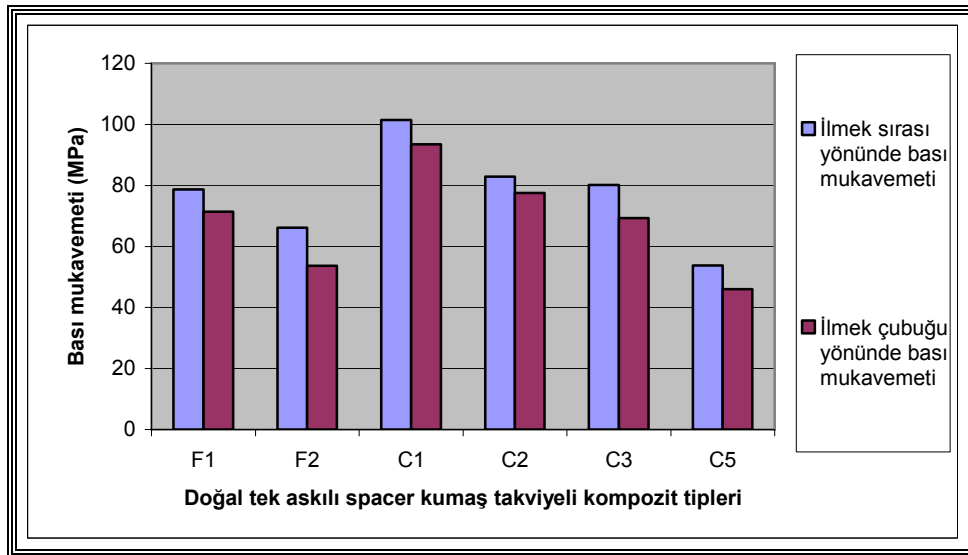
Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Kompozit tipi	23	220627,1	9592,5	483,41	0,000
Hata	94	1865,3	19,8		
Toplam	117	222492,4			

Tablo 4.7.'deki  $P = 0,000$  değeri  $\alpha = 0.05$ 'den küçük olduğu için, kompozit tiplerinin bası mukavemeti değerleri arasında önemli farklılık olduğu söylenebilir.

Tablo 4.8 Kompozitlerin bası mukavemetleri

<b>Kompozit Plaka Kodu</b>	<b>İlmeğe Sırası Yönünde Bası Mukavemeti Ortalama Değerleri (MPa)</b>	<b>Standart Sapma (%)</b>	<b>İlmeğe Çubuğu Yönünde Bası Mukavemeti Ortalama Değerleri (MPa)</b>	<b>Standart Sapma (%)</b>
F1	78,742	5,670	71,332	7,278
F2	66,140	1,598	53,644	1,765
F3	85,982	8,029	81,617	3,107
C1	101,488	5,300	93,459	2,102
C2	82,865	0,790	77,606	1,261
C3	80,148	2,091	69,229	5,955
C4	122,111	6,307	108,932	2,017
C5	53,792	0,761	45,991	3,780
P 1	97,811	2,151	97,229	3,550
P 2	106,387	8,340	97,612	2,645
G1	177,133	2,618	154,903	5,166
G2	214,041	3,972	201,334	5,363

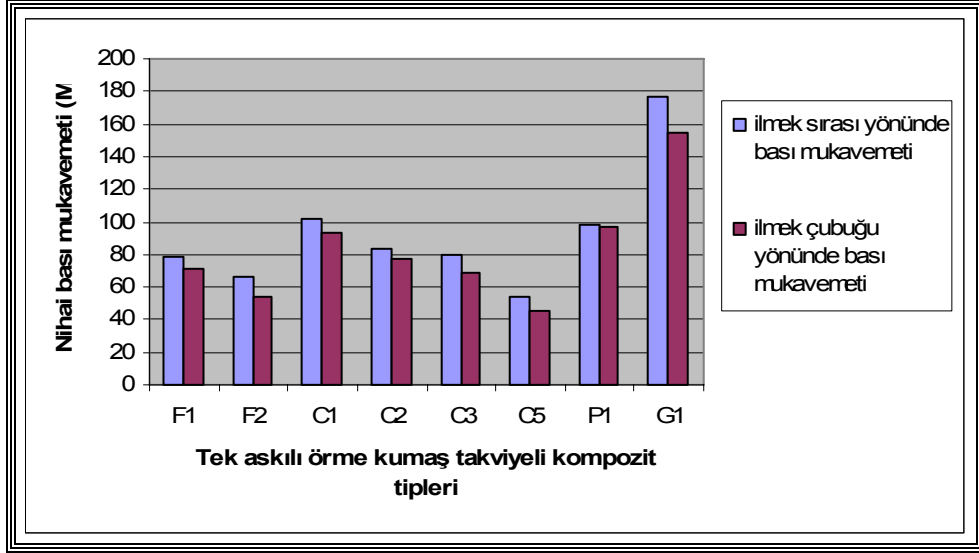
Doğal tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin bası mukavemetleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, pamuk kompozitlerin bası mukavemetlerinin keten kompozitlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.57). Diğer yandan, pamuk kompozitler kendi aralarında karşılaştırıldığında, aynı örgü preformlu (iplik yatırılmış, tek askılı spacer) epoksi reçine ile üretilen C1'in bası mukavemetinin, vinilester ile üretilen C3 kodlu kompozite göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı şekilde keten kompozitler de kendi aralarında karşılaştırıldığında, epoksi reçine ile üretilen F1 kodlu kompozitin (keten, tek askılı spacer, iplik yatırılmış, epoksi reçine) bası mukavemetinin, vinilester ile üretilen F2 kodlu kompozitten (keten, tek askılı spacer, iplik yatırılmış, vinilester kompozit) daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, epoksi reçinenin vinilesterden daha yüksek mukavemete sahip olmasıdır.



Şekil 4.57 Doğal tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin bası mukavemetleri

Bölüm 4.1'de, ilmek sırası yönünde fitil takviyeli C2 kodlu kompozitin çekme mukavemeti, ilmek sırası yönünde katlı bükülü iplik takviyeli C1 kodlu kompozitin çekme mukavemetinden daha fazla olduğu saptanmıştı. Ancak burada, durum bası mukavemeti söz konusu olduğunda, katlı bükülü iplik takviyesinin bası mukavemetine fitilden daha pozitif etkisi olduğu açıkça görülmektedir. Tek askılı spacer pamuk kompozitlerin (C1, C2, C3), bası mukavemetlerinin tek askılı spacer keten kompozitlere (F1, F2) nazaran daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Aslında

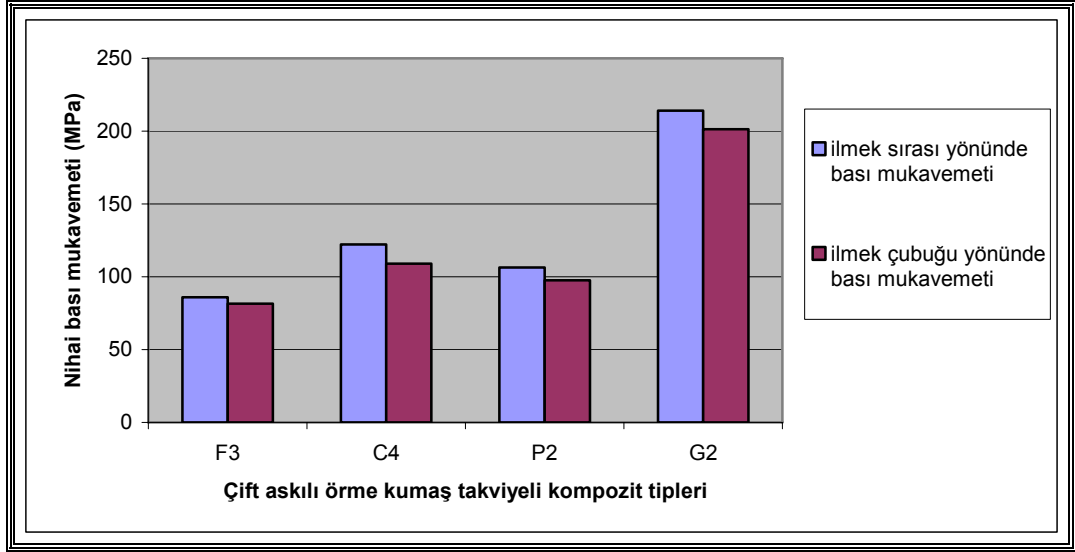
pamuk ipliğinin mukavemeti keten iplikten daha düşüktür. Buna rağmen kompozitinin bası mukavemetinin yüksek olmasının tek nedeni, epoksinin pamukla ketenden daha iyi bir birleşme göstermiş olmasıdır.



Şekil 4.58 Tek askılı spacer kumaş takviyeli örme kompozit tiplerinin bası mukavemetleri

Tüm tek askılı spacer kumaş takviyeli örme kompozit tiplerinin bası mukavemetleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, en yüksek değere G1 kodlu cam kompozitin (cam, tek askılı, iplik yatırımı, epoksi kompozit) sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Bölüm 4.1’de de belirtildiği gibi, cam lifinin mukavemetinin pamuk, keten ve polyester liflerine göre çok daha yüksek olmasıdır. Bölüm 4.1’de cam kompozitin çekme mukavemetinin ilmek çubuğu yönünde daha fazla olduğu saptanmıştı. Oysa ki, Şekil 4.58’de ilmek sırası yönündeki bası mukavemetinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bunun nedeni ise, örme kumaşın enine yönde yapılan cam fitil yatırımının bası mukavemeti açısından ilmek sırası yönündeki değeri ilmek çubuğu yönündeki değerine önüne geçirmeye yetmesidir.

Diğer yandan, P1 kodlu polyester kompozitin Şekil 4.30’da görüldüğü üzere çekme mukavemeti değeri, tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozitler içinde, diğerlerine göre oldukça düşük değerde iken; Şekil 4.58’de görüldüğü üzere, bası mukavemeti açısından 3. sırada gelmektedir.

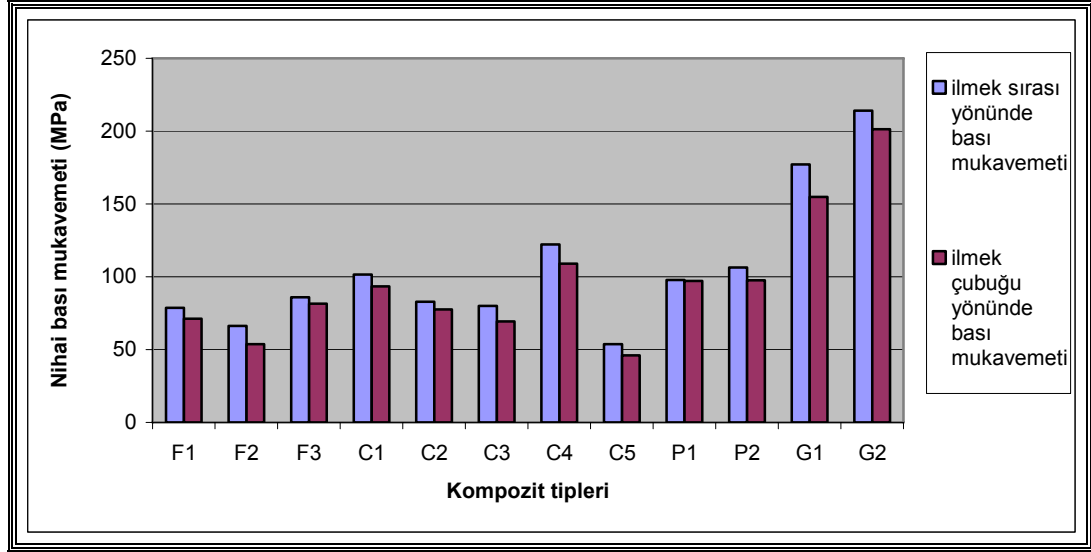


Şekil 4.59 Çift askılı spacer kumaş takviyeli örme kompozit tiplerinin bası mukavemetleri

Çift askılı spacer örme kumaş takviyeli kompozitler kendi aralarında karşılaştırıldığında, G2 kodlu cam kompozitin, ilmek sırası ve çubuğu yönlerinde en yüksek bası mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.59'daki G1 kodlu cam tek askılı spacer takviyeli kompozitte olduğu gibi, burada da G2'nin ilmek sırası yönündeki bası mukavemetinin ilmek çubuğu yönünden fazla çıkmıştır. Bölüm 4.1'de G2'nin çekme mukavemetinin ilmek çubuğu yönünde daha fazla olduğu saptanmıştır. Oysa ki burada durum tam tersidir. Bunun nedeni ise, örme kumaşın enine yönde yapılan cam fitil yatırımının bası mukavemeti açısından ilmek sırası yönündeki değeri ilmek çubuğu yönündeki değerin önüne geçirmeye yetmesidir. C4 kodlu pamuk çift askılı spacer örgü kompozitin bası mukavemeti de, camdaki kadar bariz olmasa da keten/epoksi ve polyester/epoksi kompozitlere göre daha iyi değerler vermiştir.

G2 kodlu cam çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitin ilmek sırası ve çubuğu yönündeki bası mukavemetlerinin, Bölüm 2.1'de sunulmuş olan literatürlerde verilen bası mukavemetleri değerlerinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, Liu ve arkadaşlarının, (Liu, Sun, Hu ve Gu, 2007) yaptığı atkı ve çözümlü ipliği takviyeli spacer preformlu kompozit ile yapılmış çalışmanın sonuçları ile aynı test yöntemi kullanılmadığından ve yazarlar lif hacim oranlarının çalışmada belirtmediğinden tam bir karşılaştırma yapılamamıştır.





Şekil 4.60 Kompozitlerin bası mukavemetleri

Tek ve çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlerin bası mukavemetleri bir arada karşılaştırıldığında, çift askılıların bası mukavemetlerinin tek askılılara nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, çift askılı spacer kumaşların kompozit takviyesinde tek askılı spacer kumaşlara nazaran mukavemet açısından daha önde olduğunu göstermektedir.

Tüm kompozitler için ilmek sırası yönünde ve ilmek çubuğu yönündeki bası mukavemetleri karşılaştırılması yapıldığında, ilmek sırası yönündeki bası mukavemetlerinin ilmek çubuğu yönündeki mukavemetlerden yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Bölüm 2.1 ve 2.2'deki literatür araştırmasına bakıldığında, örme kumaş takviyeli kompozitlerin bası mukavemetlerinin ilmek çubuğu yönünde daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan ilmek sırası yönündeki iplik yatırımının, ilmek sırası yönündeki bası mukavemetini ilmek çubuğu yönündekinden öne geçirdiği söylenebilir.

### 4.3 Darbe Mukavemeti Testi Sonuçları

Çalışmada üretilen kompozitlerin darbe mukavemeti sonuçları Ek 5’de, mukavemet sonuçlarının ortalama değerleri ise Tablo 4.9’da verilmiştir.

Ek 5’de verilen darbe mukavemeti sonuçları kullanılarak, çalışmada üretilen kompozit tiplerinin darbe mukavemetleri arasında önemli bir farklılığın olup olmadığını araştırmak amacıyla tek yönlü varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.9 Kompozitlerin darbe mukavemetleri için varyans analizi tablosu

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
<b>Kompozit tipi</b>	23	186608,8	8113,4	187,02	0,000
<b>Hata</b>	96	4164,8	43,4		
<b>Toplam</b>	119	190773,6			

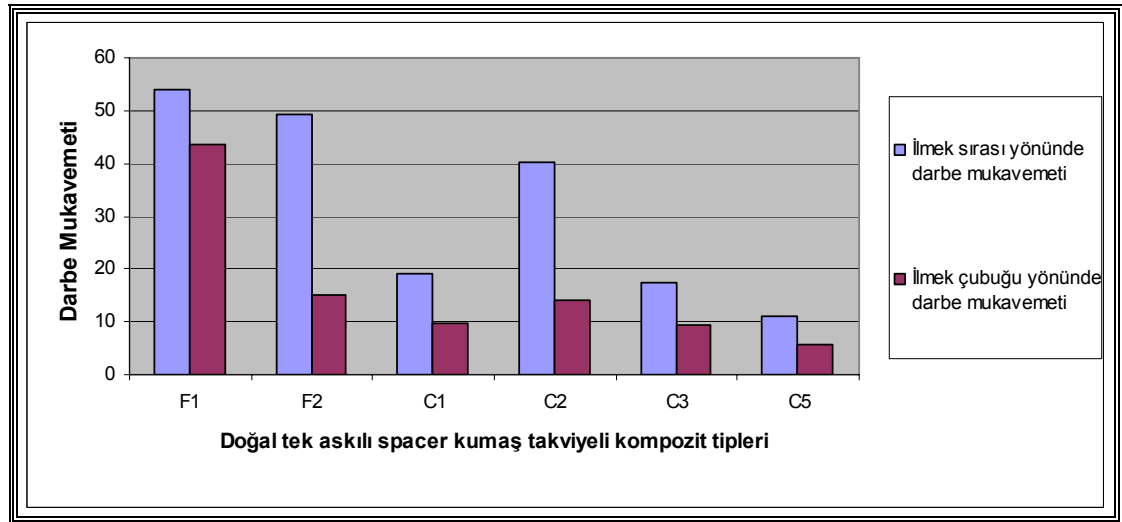
Tablo 4.9’deki  $P = 0,000$  değeri  $\alpha = 0.05$ ’den küçük olduğu için, kompozit tiplerinin darbe mukavemeti değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu söylenebilir.

Tablo 4.10 Kompozitlerin darbe mukavemetleri

<b>Kompozit Plaka Kodu</b>	<b>İlmeK Sırası Yönunde Darbe Mukavemeti Ortalama Değerleri (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Standart Sapma (%)</b>	<b>İlmeK Çubuğu Yönunde Darbe Mukavemeti Ortalama Değerleri (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Standart Sapma (%)</b>
F1	53,802	6,476	43,554	7,016
F2	49,226	2,038	15,206	3,638
F3	58,680	3,912	33,340	1,521
C1	19,258	5,552	9,610	1,131
C2	40,331	3,308	14,090	2,144
C3	17,267	2,413	9,302	1,574
C4	49,980	0,931	32,262	1,472
C5	11,180	0	5,589	0
P1	4,119	1,611	3,052	0
P2	21,021	3,198	7,0071	2,611
G1	130,504	10,275	82,423	5,436
G2	146,292	24,308	110,564	10,508

Şekil 4.61 incelendiğinde, doğal tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tipleri içerisinde en yüksek darbe mukavemetine keten kompozitlerin sahip olduğu görülmektedir.

Kompozitlerde darbe mukavemeti söz konusu olduğunda, aynı hammaddeden üretilmiş kompozitlerde lif ağırlık oranı yüksek olan kompozitlerin daha yüksek darbe mukavemetine sahip olduğu bilinmektedir. Ancak epoksi reçine ile üretilmiş ve lif ağırlık oranı 0,48 olan F1 kodlu kompozitin darbe mukavemetinin vinilester ile üretilmiş ve lif ağırlık oranı 0,50 olan F2 kodlu kompozite nazaran daha darbe mukavemeti daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, epoksi reçinenin vinilestere nazaran daha yüksek mukavemete sahip olmasıdır.



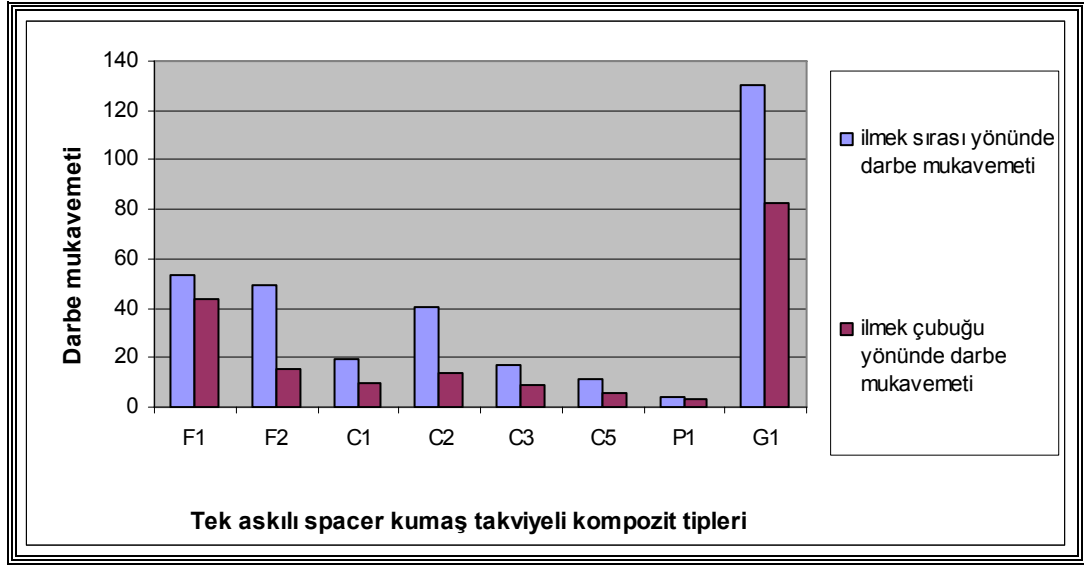
Şekil 4.61 Doğal tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin darbe mukavemetleri

Pamuk kompozitler kendi aralarında karşılaştırıldığında, en yüksek darbe mukavemetine sahip kompozit enine fitil yatırımlı C2, daha sonra C1 (pamuk, tek askılı spacer, iplik yatırımlı, epoksi reçine) ve C3'dür (pamuk, tek askılı spacer, iplik yatırımlı, vinilester reçine) (Şekil 4.61). C2'nin lif ağırlık oranı 0,42 iken, C1'in lif ağırlık oranı 0,37'dir. C2'nin darbe mukavemetinin C1'e nazaran daha yüksek çıkmasının bir nedeninin bu olabileceği düşünülmektedir. Diğer nedeni ise, C2'de enine yönde fitil yatırımı varken C1'de enine yönde iplik yatırımının olmasıdır. Daha önce de bahsedildiği gibi fitil, daha az bükümlü yapısı nedeniyle reçine ile daha iyi birleşmektedir. Dolayısıyla C2'nin darbe mukavemetinin yüksek çıkmasının bir diğer

nedeni de budur. Ayrıca epoksi ile üretilmiş C1 kodlu kompozitin, vinilester ile üretilmiş C3 kodlu kompozite nazaran darbe mukavemetinin yüksek çıkmasının nedeni, epoksi reçinenin vinilestere nazaran daha yüksek mukavemete sahip olmasıdır.

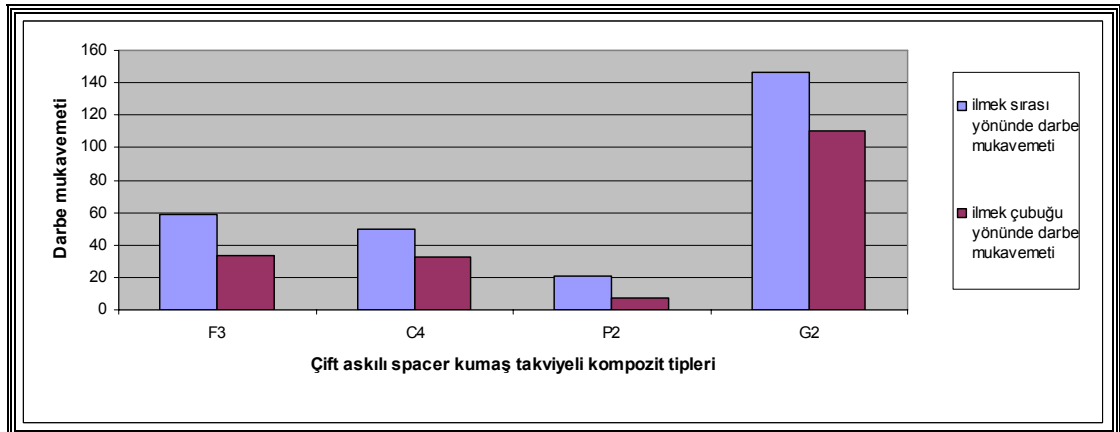
Müssig'in çalışmasında belirttiğine göre otomobil endüstrisinde en yüksek darbe mukavemetleri odun ile takviyelendirilmiş yüksek dayanımlı polipropilen reçinelerde ancak 25-35 kJ/m<sup>2</sup> değerlerine çıkabildiği düşünülürse, doğal tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinden F1, F2 ve C2'nin sınırı çok rahatlıkla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca Bölüm 2.2'deki literatür çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, çalışmada üretilen tüm doğal tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlerin darbe mukavemetlerinin, Garkhail ve arkadaşlarının (2000), Bjurenstedt ve arkadaşlarının (2004), Placket ve arkadaşlarının (2003), elde ettiği sonuçlardan çok daha iyi olduğu görülmektedir. Diğer yandan F1 ve F2 için bulunan değerler, Müssig ve arkadaşlarının (2008) 0,40 ağırlık dağılımına sahip dokusuz yüzey epoksi-rami kompozitten, pamuk-PTP kompozitten ve rami-PTP kompozitten daha yüksektir. Ancak 0,40 ağırlık dağılımına sahip dokusuz yüzey epoksi-pamuk kompozitten daha düşüktür.

Çalışmada üretilen %100 doğal ve geri dönüştürülebilir, pamuk tek askılı spacer kumaş ile takviyelendirilmiş ve polilaktik asit reçine kullanılmış kompozitin darbe mukavemeti her ne kadar, doğal lifler arasında en düşük olanı olsa da, Bledzki, Jaskiewicz ve Scherzer'in, 2009, çalışmalarında elde ettikleri darbe mukavemeti değerinden daha yüksek çıkmıştır.



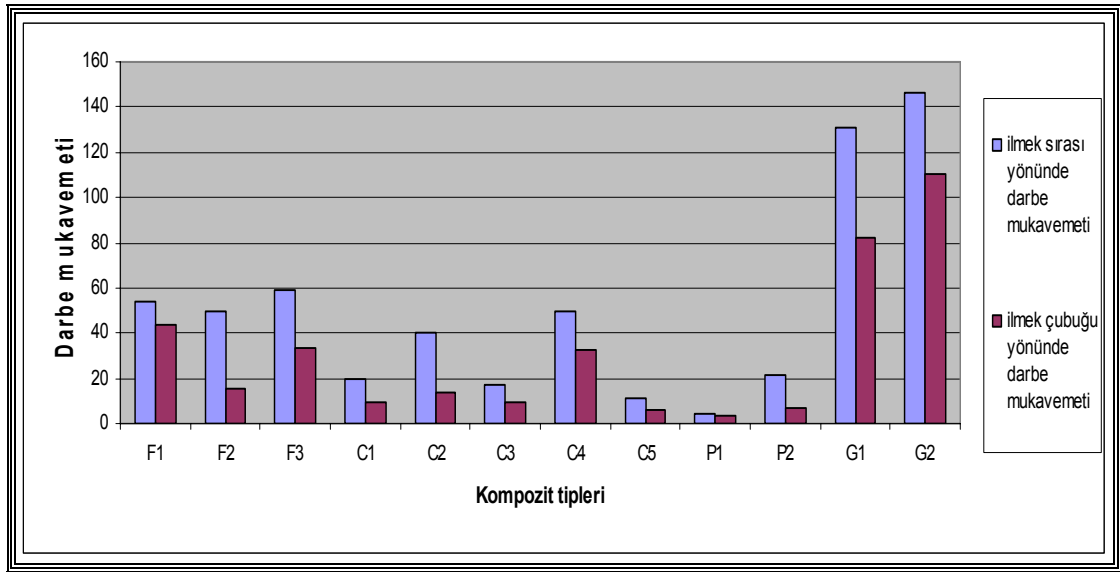
Şekil 4.62 Tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin darbe mukavemetleri

Tüm tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönlerindeki darbe mukavemetleri Şekil 4.62’de karşılaştırıldığında, cam kompozit G1’in çok bariz bir farkla en yüksek mukavemete sahip olduğu diğer yandan polyester kompozit P1’in en düşük mukavemete sahip olduğu görülmektedir. G1’in mukavemetinin bu denli yüksek çıkmasının nedeni, cam ipliklerinin mukavemetinin keten, pamuk ve polyesterden çok daha yüksek olmasıdır. P1’in darbe mukavemetinin çok düşük çıkmasının nedeni ise hem polyester ipliklerinin sahip olduğu düşük mukavemet hem de P1 kodlu kompozitin 0,32 ile lif ağırlık dağılımı açısından F1, F2, C1, C2, C3, G1 arasında en düşük orana sahip olmasıdır.



Şekil 4.63 Çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin darbe mukavemetleri

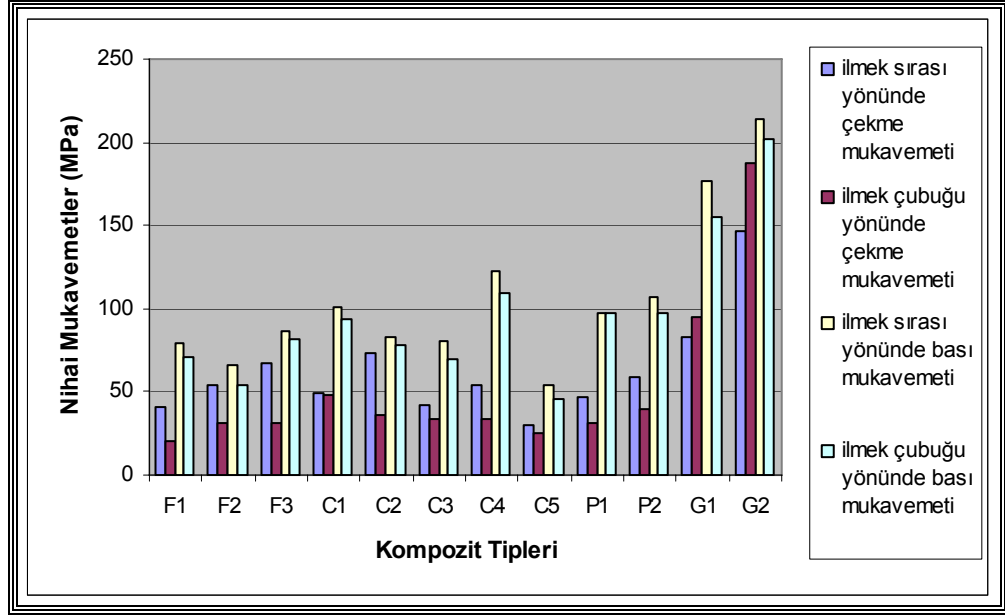
Çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerinin darbe mukavemetleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, en yüksek değere sahip kompozitin G2 (cam, çift askılı, epoksi kompozit) olduğu görülmektedir. Doğal kompozitler, yani F3 (keten, çift askılı, iplik yatırımlı, epoksi kompozit) ve C4 (pamuk, çift askılı, iplik yatırımlı, epoksi kompozit), kendi aralarında karşılaştırıldığında ise, F3 daha yüksek bir darbe mukavemetine sahiptir.



Şekil 4.64 Kompozit tiplerinin darbe mukavemetleri

Tüm kompozit tiplerinin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönündeki darbe mukavemetleri karşılaştırıldığında, ilmek sırası yönündeki darbe mukavemetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.64). Bu sonuç, spacer kumaşa ilmek sırası yönünde yapılan iplik takviyesinin darbe mukavemetini artırıcı pozitif bir etkisi olduğunun kanıtıdır.

Öte yandan, çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlerin, tek askılı spacer kumaş takviyeli kompozit tiplerine nazaran daha yüksek darbe mukavemetine sahip olduğu açıktır. Bu da çift askılı spacer kumaşların, kompozit takviyesinde darbe mukavemeti açısından tek askılı spacer kumaşlara nazaran daha iyi olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 4.65 Kompozitlerin ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönünde çekme ve bası mukavemetleri grafiği

Tüm kompozit tiplerinin çekme, bası ve darbe mukavemetleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, her üç mekanik özellik açısından da G1 ve G2 kodlu cam kompozitlerin çok üstün olduğu Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'den görülmektedir.

Ayrıca, çekme, bası ve darbe testlerinden elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır ki; (G1 ve G2'nin çekme mukavemetleri hariç) ilmek sırası yönündeki enine iplik yatırımı bu yöndeki mukavemetlerin büyük bir farkla ilmek çubuğu yönündeki mukavemetlerin önüne geçmesini sağlamıştır.

Genelde, bu çalışmada üretilen tek askılı ve çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlerin ilmek sırası yönündeki üç mekanik özelliği karşılaştırıldığında ise, çift askılı spacer kumaş takviyeli olanların mukavemet değerlerinin daha önde olduğu bulunmuştur. İlmeK çubuğu yönünde ise bu tip bir ayırım yapılamamaktadır.

Doğal kompozitler kendi aralarında karşılaştırıldığında ilmek sırası yönündeki çekme mukavemeti açısından en yüksek değere sahip kompozit C2 (pamuk, tek askılı, fitil yatırımı, epoksi kompozit), daha sonra F3 (keten, çift askılı, iplik yatırımı, epoksi kompozit), F2 (keten, tek askılı, iplik yatırımı, vinilester kompozit),



C4 (pamuk, çift askılı, iplik yatırımı, epoksi kompozit), C1 (pamuk, tek askılı, iplik yatırımı, epoksi kompozit), C3 (pamuk, tek askılı, iplik yatırımı, vinilester kompozit) ve F1'dir (keten, tek askılı, iplik yatırımı, epoksi kompozit). C2'nin çekme mukavemetinin yüksek çıkmasının nedeni ilmek sırası yönünde fitil yatırımı yapılmış olması ve fitilin ipliğe nazaran reçine ile daha iyi uyum sağlamış olmasıdır. Doğal kompozitler kendi aralarında ilmek çubuğu yönündeki çekme mukavemeti açısından karşılaştırıldığında en yüksek değere sahip kompozit C1, daha sonrakiler ise C2, C3, C4, F3, F2, F1'dir.

İlmeğin sırası yönündeki basınç mukavemetleri açısından doğal kompozitleri kendi aralarında karşılaştırıldığında en yüksek değere sahip kompozit C4'dür, daha sonra C1, F3, C2, C3, F1 ve F2 gelmektedir. İlmeğin çubuğu yönündeki basınç mukavemetlerine bakıldığında ilk sırayı yine C4 almaktadır, sırasıyla C1, F3, C2, F1, C3, F2 daha düşük basınç mukavemetlerine sahiptir.

Doğal kompozitler için darbe açısından bir karşılaştırma yapıldığında ise, ilmeğin sırası ve ilmeğin çubuğu yönünde keten kompozitlerin öne geçtiği görülmektedir.

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

“Düz Örme Makinelerinde Üretilen Örme Kumaş Takviyeli Kompozitlerin Mekaniksel Özellikleri Üzerine Bir Araştırma” konulu doktora tezi kapsamında ilk olarak amaçlanan, son yıllarda teknik tekstiller alanında önemi gittikçe artan tekstil takviyeli kompozitlerde kullanılacak preformların düz örme makinelerinde örülebilirliğini araştırmaktır. Ayrıca, otomotiv endüstrisinde Avrupa Birliği yasalarınca getirilen zorunluluklar ile ileriki yıllarda oldukça önem kazanacak olan, yurt dışında araştırmalarına başlanan ülkemizde ise henüz hiç üretilmemiş, ekolojik kompozitler alanında da, %100 doğal ve doğada biyolojik olarak parçalanabilen örgü preformlu kompozit üretimi de hedeflenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında doğal ve cam örme kumaş takviyeli kompozitler alanında yayınlanan çalışmalarda çoğunlukla basit örme yapıların tercih edildiği ve bunların da bir çoğunun laboratuvar tipi düz el örme makinesinde örüldüğü tespit edilmiştir. Oysaki el örme makinesinde örme sırasında herhangi bir hata veya aksaklık karşısında her türlü ayarlamaların el ile kolaylıkla yapılabileceği düşünülürse bu çalışmalarda üretilen, özellikle örülmesi zor olan, cam örme preformların sanayi tipi makinelerde seri olarak sorunsuz bir şekilde üretilebileceği söylenemeyeceğinden, bu çalışmanın diğer bir amacı da, kompozit preformların örülebilirliğinin sanayi tipi elektronik düz örme makinelerinde araştırılması olmuştur. Çünkü artık, ucuz iş gücüne dayalı tekstil ürünlerinde ülkemiz dünyada rekabet gücünü kaybetmiştir. Bu nedenle düz örme triko sektöründe atıl kapasite çok yüksek oranlardadır. Dolayısıyla, bu makinelerde ileri teknoloji ürünlerinin üretilebilirliği konusundaki çalışmalar ülkemiz ekonomisi ve tekstil sektörünün geleceği açısından çok önem kazanmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada pamuk, keten ve polyester ve cam materyallerden, sanayi tipi elektronik düz örme makinelerinde kompozit preformların örülebilirliği araştırılmıştır. Bu preformların örülmesi sırasında yapılan ayarlamalar sonucunda elde edilen makine parametre değerleri de verilmiştir.

Sanayi tipi düz örme makinesinde, dört farklı iplikten, tek askılı spacer ve çift askılı spacer örgü yapıları olmak üzere iki farklı kumaş üretilmiştir. Üretim sırasında spacer örme kumaşlara ilmek sırası yönünde fitil (lif) veya iplik yatırımı yapılmıştır. Bilindiği üzere atkı örme kumaşların kompozit takviyesindeki negatif bir özelliği ilmek sırası yönündeki mukavemetlerinin çok düşük olmasıdır. Bu nedenle sıra yönünde lif veya iplik yatırımları yapılarak kumaşın enine yönde mukavemetinin yönlendirilmesi, hem de spacer yapılarıdaki ara yüzeyde lif hacimliliğini artırarak yapıyı güçlendirmek amaçlanmıştır. Örme preform tipi olarak spacer kumaşın tercih edilmesinin nedenleri ise: i) 3 boyutlu spacer örme yapısının değişik yönlerde mukavemet özelliklerinin güçlendirici yapısının olacağı düşüncesi, ii) Spacer örme yapıdaki kumaşta, arka ve ön yüzlere yapılan askı bağlantılarının darbe özelliklerini kuvvetlendireceği düşüncesidir, iii) ayrıca spacer örme kumaş yapısındaki arka ve ön yüzde dolu iğne ilmek oluşturmayıp, değişimli olarak 1:1 atlamalı çalışılmasının nedeni, hem örme kumaşın enine yönde mukavemetini atlama iplikleriyle güçlendirmek hem de reçine maddesinin, dolu ilmekli yapılarda atlamalı yapılara göre kapalı yapıdan dolayı nüfuziyetinin daha zor olmasıdır.

Düz örme makinesinde örülen bu kumaşlar daha sonra epoksi, vinilester ve doğada biyolojik olarak parçalanabilen, %100 doğal ekolojik kompozit üretimi amacıyla da polilaktik asit reçine ile kompozit haline getirilmiştir. Oluşan kompozitlerin mekaniksel özellikleri çekme mukavemeti, bası mukavemeti ve darbe mukavemeti testleri ile tayin edilmiştir.

Çalışmada üretilen tek ve çift askılı spacer kumaş takviyeli kompozitlere uygulanan mekaniksel testlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çekme mukavemeti bakımından, tek askılı spacer doğal kompozitler birbirleriyle karşılaştırıldığında, fitil takviyesinin yapıldığı pamuk preformlu kompozit en yüksek çekme mukavemeti değerlerini göstermiştir. Onu ise vinilester ile üretilen keten kompozit izlemiştir.

2. Elde edilen çekme mukavemeti sonuçlarından, doğal tek askılı spacer kumaş kompozitlerde, keten/vinilester ve pamuk/epoksinin daha iyi uyum sağladığı görülmüştür.
3. Polilaktik asit ile üretilen %100 doğal ve doğada biyolojik olarak parçalanabilen tek kat pamuk preformlu kompozitin çekme mukavemeti değerleri, aynı örgü preformlu dört kat kumaş ile hazırlanan pamuk/vinilester kompozite yakın çıkmıştır.
4. Tek ve çift askılı spacer örme kumaş kompozitler birbirleriyle karşılaştırıldığında, çift askılı kompozitin, her sıra hem de çubuk yönlerindeki çekme mukavemeti daha yüksek bulunmuştur.
5. Tek ve çift askılı tüm spacer kumaş takviyeli kompozitler arasında doğal olarak, cam kompozitlerin çekme mukavemeti oldukça yüksektir. Ayrıca, çift askılı spacer yapının tek askılıya göre her iki kumaş yönünde de olumlu etkisi cam kompozitte diğer tüm kompozitlere göre çok daha fazla miktarda olmuştur.
6. Bası mukavemeti açısından ise, tek ve çift askılı doğal spacer preformlu kompozitler içinde genelde pamuk kompozitlerin keten kompozitlere göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Pamuk tek askılı preformlar arasında ise en iyi bası mukavemeti değeri iplik yatırımlı epoksi reçineli kompozitte elde edilmiştir.
7. Tek askılı spacer preformlar arasında polyester epoksi kompozit çekme mukavemeti açısından diğerlerine göre düşük bir değer sergilemiş olsa da, bası mukavemeti bakımından daha iyi değerler elde edilmiştir.
8. Cam kompozit, bası mukavemeti açısından da çekme mukavemetinde olduğu gibi üstünlüğünü korumuştur.
9. Genelde bası mukavemeti değerlerinde ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönleri arasındaki farklılıklar çekme mukavemetindeki kadar belirgin bulunmamıştır. Fakat yine ilmek sırası yönünde az da olsa değerler çubuk yönüne göre daha yüksektir.
10. Bası mukavemetinde de çekme mukavemetinde olduğu gibi çift askılı spacer yapılar tek askılılara göre daha yüksek değerlerdedir.

11. Polilaktik asit ile üretilen doğada biyolojik olarak parçalanabilen ve %100 doğal tek kat pamuk preformlu kompozitlerin bası mukavemeti değerleri aynı örgü preformlu (dört katlı) keten/vinilester kompozite yakın değerlerde bulunmuştur.
12. Darbe mukavemeti açısından tüm doğal kompozitler karşılaştırıldığında, keten kompozitler en iyi değerleri verilmiştir. Bu farklılık tek askılı yapılarda daha belirgin olmuştur. Pamuk kompozitler kendi arasında kıyaslandığında da fitil yatırımlı spacer kumaş preformlu kompozit diğerlerine göre yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. İplik yatırımına göre bu farklılık darbe mukavemetinde, çekme ve bası mukavemetlerine göre oldukça belirgin olmuştur.
13. Darbe mukavemeti açısından da cam kompozitler diğer tüm kompozitlerden oldukça üstündür. En düşük değerler ise polyester/epoksi kompozitlerde elde edilmiştir.
14. Darbe mukavemetinde de çift askılı spacer kumaş preformlu kompozitler tek askılılara göre daha yüksek değerlerdedir.
15. Polilaktik asit ile üretilen biyolojik olarak parçalanabilen ve %100 doğal tek kat pamuk preformlu kompozitlerin darbe mukavemetleri polyester/epoksi kompozitlerden daha yüksek; pamuk/vinilester kompozite de yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak tüm mukavemet değerleri göz önüne alındığında doğal olarak cam kompozitler üstünlüğünü korumaktadır. Dolayısıyla elde edilen yüksek mukavemet değerlerinden sanayi tipi örme makinelerinde cam kompozitlerin rahatlıkla örülebilirliği kanıtlanmıştır. Bu yapıların değişik yönlerde yapılacak takviyeler ile kuvvetlendirilerek, çalışmaların ilerletilmesi daha da yararlı olacaktır.

Son yıllarda oldukça önem kazanan ekolojik kompozitler alanında ise düz örme makinelerinin bu preformların üretilmesinde rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çekme ve bası mukavemetlerinde pamuk preformlar, darbe mukavemetinde ise keten preformların daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle doğal materyallerde yapılan fitil (lif) takviyesinin kompozitin çekme ve darbe

mukavemetinde oldukça önemli katkısı tespit edilmiştir. Dolayısıyla pamukta yapılan fitil (lif) takviyesi çalışmalarının diğer doğal materyallerde de araştırılması önem kazanmıştır.

Ayrıca ekolojik kompozitler alanında yurtdışında başlatılan %100 doğal ve doğada biyolojik olarak parçalanabilen kompozit araştırmaları özellikle otomotiv endüstrisinde dikkat çekicidir. Dolayısıyla bu çalışmada da polilaktik asit ile üretilen pamuk preformlu %100 doğal kompozit üretimi ülkemizde de bu çalışmaları motive edici olacağı düşünülmektedir. Üretilen bu kompozitlerin çekme, bası ve darbe mukavemetleri açısından diğer bazı doğal kompozitlere göre çok da düşük olmayan sonuçlar vermesi çok yüksek mekaniksel özellikler gerektirmeyen ve çevresel faktörlerin etkili olduğu alanlarda kullanıma özendirilebilir.

## KAYNAKLAR

Akovali, G. (2001). *Handbook of Composite Fabrication*, İngiltere: Smithers Rapra.

Alpyıldız, T., İçten, B. M., Karakuzu, R. ve Kurbak, A. (2009). The effect of tuck stitches on the mechanical performance of knitted fabric reinforced composites, *Composite Structures*, 89, 391-398.

Anand, S. (2003, a). *Recent Advances In Knitting Technology and Knitted Structures For Technical Textiles Applications*, ISTEK Uluslararası Tekstil Kongresi, Mayıs 23-23, Isparta/ Türkiye.

Anand, S. (2003, b). Technical Overview. *Knitted Technical Textiles*, Haziran, 49-51.

Anonim, (2000). *Türkiye Düz Örgü İşletmelerinin Genel Profilinin İncelenmesi*, İTÜ Tekstil Mühendisliği Bölümü, TRİSAD, İTKİB, MÜ, İstanbul.

Anonim, (04 Haziran 2009). *Bioresins*. 07 Haziran 2009, <http://www.bioresins.eu/Pages/FAQ.pdf>.

Arıcasoy, O. (2006). *Kompozit Sektör Raporu*, İstanbul Ticaret Odası, 1-34.

ASTM-D 861-07 Standard Practice for Use of The Tex System to Designate Linear Density of Fibers, Yarn Intermediates and Yarns

ASTM-D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by The Single Strand Method.

ASTM-D 3039-08 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

ASTM-D 3410-08 Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials With Unsupported Gage Section by Shear Loading.

ASTM-D 5942 Standard Test Method for Determining Charpy Impact Strength of Plastics.

Berthelot, J. M. (1999). *Composite Materials*, Amerika: Springer-Verlag.

Bjurenstedt, A. ve Larneklint, F. (2004). *3D Biocomposites for Automotive Interior Parts*, Yüksek Lisans Tezi, Lulea Tekniska Universitet, 1-84.

Bledzki, A.K., Jaszkiwicz, A. ve Sherzer D. (2009). Mechanical properties of PLA composites with man made cellulose and abaca fibres, *Composites Part A*, 40, 402-412.

Bogoeva-Gaceva, G., Dekanski, A., Panić, V., Poleti, D., Grozdanov, A., Bužarovska, A., Avella, M. ve Gentile G. (2006). Natural Fibers in Polymer Composite Materials, XLIV Meeting of the Serbian Chemical Society, 6 – 7 Şubat, Belgrad, 89-92.

Bos, H. L. (2004). *The Potential of Flax Fibres as Reinforcement for Composite Materials*, Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven.

Brady, P. (2008). The road to lightweight performance, *Reinforced Plastics*, Kasım, 32-36.

Brown, R. P. (2002). *Handbook of Polymer Testing: Short-Term Mechanical Tests*, İngiltere: Smithers Rapra.

Candan, C. (2000). *Düz Örme Teknolojisi*, İstanbul: Dalteks Teks. Ve Konf. Makineleri İth. ve İhr. San. Tic. A.Ş.



- Carlsson, L. A. ve Pipes, R. B. (1997). *Experimental Characterization of Advanced Composite Materials* (2. Baskı). ABD: Technomic Publishing.
- Carvalho, L. H., Cavalcante, J. M. F. ve Almeida, J. R. M. (2006). Comparison of the mechanical behavior of plain weave and plain weft knit Jute Fabric-Polyester-Reinforced Composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45, 791–797.
- Carvalho, L. H., Souza, G. C. ve Almeida, J. R. M. (2007). Hybrid jute/cotton fabric-polyester composites: effect of fabric architecture, lamina stacking sequence and weight fraction of jute fibres on tensile strength, *Plastic, Rubber and Composites*, 36 (4), 155-161.
- Çalışkan, C. R. (2005). *Strength Prediction of Pin Loaded Laminated Composite Plates*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir: D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çeken, F. (2004). *Örmecilik Esasları*, İzmir: D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.
- Cheng, S., Lau, K., Liu, T., Zhao, Y., Lam, P. ve Yin, Y. (2009). Mechanical and thermal properties of chicken feather fiber/PLA green composites, *Composites Part B*,
- Demboski G. ve Gaceva G. (2005). Textile structures for technical textiles Part:II- types and features of textile assemblies, *Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia*, 24(1), 77–86.
- Dev, V. R. G., Swarna A. ve Madhusoothanan M. (2005). Mechanical Properties of Knitted Composites using Glass Ply Yarns, *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, 24 (13), 1425-1435.

- Fangueiro, R., Sousa, G., Soutinho, F., Jalali, S. ve Araujo, M. (2005). Reinforcing concrete with braided fibre reinforced composite rods, *Proceedings of World Textile Conference AUTEX*, Haziran, Slovenya, 297-302.
- Fisher, G., (2001). Automotive potential for 3D spacer fabrics, *Knitting International*, (June), 22-24.
- Foulk, J. A., Chao, W. Y., Akin, D. E., Dodd, R. B., ve Layton, P. A. (2004). Enzyme-Retted Flax Fiber and Recycled Polyethylene Composites, *Journal of Polymers and the Environment*, 12(3), 165-171.
- Foulk, J. A., Chao, W. Y., Akin, D. E., Dodd, R. B., ve Layton, P. A. (2006). Analysis of Flax and Cotton Fiber Fabric Blends and Recycled Polyethylene Composites, *Journal of Polymers and the Environment*, 14(1), 15-25.
- Gaceva, G.B., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Grozdanov, A., Gentile, G. ve diğeri. (2007). Natural Fiber Eco-Composites, *Polymer Composites*, 28(1), 98-107.
- Garkhail, S. K., Heijenrath R. W. H. ve Peijs, T. (2000). Mechanical Properties of Natural-Fibre-Mat-Reinforced Thermoplastics Based On Flax Fibres and Polypropylene, *Applied Composite Materials*, 7, 351-372.
- George, J., Weyenberg, I., Ivens J. ve Verpoest, I. (1999). *Mechanical Properties of Flax Fibre Reinforced Epoxy Composites*, 2<sup>nd</sup> International Wood and Natural Fibre Composites Symposium, June 28-29, Kassel/Germany.
- Goutianos S., Peijs, T., Nystrom, B. ve Skrifvars, M. (2006). Development of Flax Fibre based Textile Reinforcements for Composite Applications, *Applied Composite Materials*, 13, 199-215.

- Hearn, E. J. (2000). *Mechanics of Materials I*, (3. Baskı), İngiltere: Butterworth-Heinemann.
- Holbery, J. ve Houston, D. (2006). Natural-Fiber-Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications, *JOM, Kasım*, 80-86.
- Horrocks A. R. ve Anand S. C. (2004). *Handbook of Technical Textiles* (2. Baskı). England: Woodhead Publishing Limited.
- Jones, R. M. (1999). *Mechanics of Composite Materials*, (2. baskı), ABD: Taylor & Francis.
- Kamath, M. G., Bhat, G. S., Parikh, D. V. ve Mueller, D. (2005). Cotton fiber nonwovens for automotive composites, *INJ*, 2, 34-40.
- Kadolph, S. J. ve Langford, A. L. (2002). *Textiles*, (9. baskı), İngiltere: Prentice Hall.
- Kara, M. (2006). *Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı*, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya:Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Khanam, P. N., Reddy, M. M., Raghuk, K., John, K. ve Naidu, S. V. (2007). Tensile, flexural and compressive properties of sisal/silk hybrid composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26 (10), 1065-1070.
- Khondker, O.A. ve Herszberg, I. (2001,a). An Investigation of the Structure Property Relationship of Knitted Composites, *Journal of Composite Materials*. 35 (6), 489-508.
- Khondker, O. A., Leong, K. H. ve Herszberg, I. (2001, b). Study of compressive properties due to biaxial deformation of the weft knitted glass fabrics, *Composites Part A*, 32, 1303-1309.

- Khondker, O.A., Leong, K.H., Herszberg, I. ve Hamada H. (2005). Impact and compression-after-impact performance of weft-knitted glass textile composites, *Composites Part A*, 36, 638-648.
- Legner, M. (2005). *Tıp Alanında Düz Örme Teknolojisinin Uygulaması*, II. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, 13-15 Temmuz 2005, İstanbul.
- 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.
- Leong, K. H., Nguyen, M. ve Herszberg, I. (1999). The effects of deforming knitted glass fabrics on the basic composite mechanical properties, *Journal of Material Science*, 34, 2377-2387.
- Lim, L., Auras, R. ve Rubino, M. (2008). Processing Technologies for polylactic acid, *Progress in Polymer Science*, 33, 820-852.
- Liu, W., Sun, B. Hu, H. ve Gu, B. (2007). Compressive Behavior of Biaxial Spacer Weft Knitted Fabric Reinforced Composite at Various Strain Rates, *Polymer Composites*, 28 (2), 224-232.
- Long A. C. (2005). *Design and Manufacture of Textile Composites*, England: Woodhead Publishing Limited.
- Mallick, P. K. (1993). *Fiber-Reinforced Composites, Materials, Manufacturing and Design*, (2. Baskı). Amerika: Marcel Dekker.
- Marsh, G. (2003). Next step for automotive materials, *Materials Today*, Nisan, 36-43.
- Mazumdar, S. K. (2002). *Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering*, ABD: CRC Press.

- Miao, M. ve Finn, N. (2008). Conversion of natural fibers into structural composites, *Journal of Textile Engineering*, 54 (6), 165-177.
- Mukhopadhyay, S.K. (1993). *High Performance Fibres*, İngiltere: The Textile Institute.
- Müssig, J. (2008). Cotton fibre reinforced thermosets versus ramie composites: a comparative study using petrochemical and agro-based resins, *Journal of Polymers and Environment*, 16 (2), 94-102.
- National Materials Advisory Board. (2005). *High Performance Structural Fibers for Advanced Polymer Matrix Composites*, Washington: National Academies Pres.
- Pamuk, G. ve Çeken, F. (2008, a). Manufacturing of weft knitted fabric reinforced composite materials: a review, *Materials and Manufacturing Processes*, 23, 635-640.
- Pamuk, G. ve Çeken, F. (2008, b). Recyclable spacer fabrics for automotives, *AATCC Review*, 8(8), 32-36.
- Pothan, L. A., Mai, Y. W., Thomas, S. ve Li, R. K. Y. (2008). Tensile and flexural behavior of sisal fabric/polyester textile composites prepared by resin transfer moulding technique, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27, 1847-1866.
- Plackett, D., Anderson, T., Pederson, W. B. ve Nielsen, L. (2003). Biodegradable composites based on L-poly lactide and jute fibres, *Composites Science and Technology*, 63, 1287-1296.
- Ramakrsihna, S., Hamada, H., Cuong, N. K. ve Maekava, Z. (1995). *Mechanical properties of knitted reinforced thermoplastic composites*, Proceedings of 10th International Conference on Composite Materials, Kanada, 245-252.

- Raz, S. (1991). *Flat Knitting, The New Generation*, Meisenbach Bamberg, Meisenbach.
- Raz, S. (2000). *The Karl Mayer Guide to Technical Textiles*, Karl Mayer Textilmaschinenfabrik GmbH, 2-36.
- Savci, S., Curiskis, J. I. ve Pailthorpe, M. T. (2000, a). A study of the deformation of weft-knit preforms for advanced composite structures part I: dry preform properties, *Composites Science and Technology*, 60, 1943-1951.
- Savci, S., Curiskis, J. I. ve Pailthorpe, M. T. (2000, b). A study of the deformation of weft-knit preforms for advanced composite structures part II: the resultant composite, *Composites Science and Technology*, 60, 1943-1951.
- Tucker, N. ve Lindsey, K. (2002). *Introduction to Automotive Composites*, İngiltere: Smithers Rapra.
- Uozumi T, Kito, A. ve Yamamoto, T. (2005). CFRP using braided Preforms/RTM process for aircraft applications, *Advanced Composite Materials*, 14(4), 365-383.
- Vinson, J. R. ve Sierakowski, R. L. (2002). *The Behavior of Structures Composed of Composite Materials*, (2. Baskı), Hollanda: Kluwer Academic Publishers.
- Vuure, A. W. V., ve Ko, F. K. (2003). Net-Shape Knitting for Complex Composite Preforms, *Textile Research Journal*, 73 (1), 1-10.
- Williams, G. I. ve Wool, R. P. (2000). Composites from Natural Fibers and Soy Oil Resins, *Applied Composite Materials*, 7, 421-432.
- Zampaloni, M., Pourboghrat, F., Yankovich, S. A., Rodgers, B. N., Moore, J., Drzal, L.T., Mohanty, A. K. ve Misra, M. (2007). Kenaf Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites: A Discussion on Manufacturing Problems And Solutions, *Composites: Part A*, 38, 1569-1580.

## EK 1: İPLİK MUKAVEMETİ SONUÇLARI

Tablo 1. Cam ipliğinin mukavemet testi sonuçları

Kopma mukavemeti (kgF)	Uzama (%)
8,577	2,235
8,851	2,360
7,200	1,955
6,770	1,965
7,114	1,960
9,492	2,460
9,221	2,445
9,537	2,480
8,550	2,335
9,356	2,455

Tablo 2. Keten ipliğinin mukavemet testi sonuçları

Kopma mukavemeti (kgF)	Uzama (%)
1,297	2,635
1,670	3,475
1,703	3,790
1,423	3,320
1,185	2,705
1,374	3,050
1,685	3,440
1,318	2,845
1,404	2,795
1,494	2,915

Tablo 3. Pamuk ipliğinin mukavemet testi sonuçları

<b>Kopma mukavemeti (kgF)</b>	<b>Uzama (%)</b>
0,914	8,370
0,911	8,645
0,940	9,095
0,103	9,125
1,066	9,010
0,926	8,500
0,796	7,650
0,987	9,065
1,039	9,215
0,956	8,460

Tablo 4. Polyester ipliğinin mukavemet testi sonuçları

<b>Kopma mukavemeti (kgF)</b>	<b>Uzama (%)</b>
0,643	37,440
0,655	37,810
0,694	45,650
0,677	41,900
0,697	46,340
0,679	42,110
0,694	44,400
0,668	40,245
0,678	41,010
0,683	41,430



## EK 2: ELASTİSİTE MODÜLLERİ VE POISSON ORANLARI

Tablo 5. Elatisite modülleri ve Poisson oranları

Kompozit Plaka Kodu	İlmek sırası yönünde elastisite modülü (E1)	Poisson Oranı	İlmek çubuğu yönünde elastisite modülü (E2)
F1	6682,028	0,52	6297,068
	6716,423	0,58	6347,636
	6704,913	0,55	6304,110
F2	5786,641	0,41	5279,928
	5764,955	0,37	5311,842
	5899,189	0,34	4232,749
F3	11146	0,35	7005,919
	11158	0,29	6629,739
	13671	0,38	8579,403
C1	5410,584	0,30	8035,138
	5750,888	0,26	9201,761
	6822,612	0,41	8845,168
C2	7893,097	0,42	6197,515
	7365,306	0,34	6324,551
	6954,494	0,32	4358,559
C3	5061,783	0,48	4447,119
	3426,112	0,34	4255,918
	3954,059	0,31	4003,235
C4	11608,99	0,32	6704,361
	11744,52	0,32	6451,784
	13282,01	0,36	6901,226

Tablo 5. Elatisite modülleri ve Poisson oranları (devam)

<b>Kompozit Plaka Kodu</b>	<b>İlmek sırası yönünde elastisite modülü (E1)</b>	<b>Poisson Oranı</b>	<b>İlmek çubuğu yönünde elastisite modülü (E2)</b>
C5	2023,767	0,46	4811,996
	3341,067	0,27	4002,24
	-	-	-
P 1	4184,272	0,38	4110,140
	3883,218	0,38	4004,040
	3740,326	0,37	3996,507
P 2	4801,213	0,34	4080,420
	5690,871	0,47	4497,474
	5076,529	0,38	3484,172
G1	9838,643	0,30	9557,940
	10049	0,51	8638,050
	9958,763	0,43	9430,329
G2	12947	0,19	15812,110
	15687	0,35	33717,080
	13421	0,25	21896,530

### EK 3: ÇEKME MUKAVEMETİ TESTLERİNİN SONUÇLARI

Tablo 6. Çekme mukavemeti testlerinin sonuçları

Kompozit Plaka Kodu	İlmeK Sırası Yönünde Çekme Mukavemeti (MPa)	İlmeK Çubuğu Yönünde Çekme Mukavemeti (MPa)
F1	42,756	18,822
	38,109	21,690
	43,817	21,775
	39,635	21,724
	42,954	20,803
F2	54,038	29,121
	54,711	29,007
	55,013	31,997
	51,767	28,847
	57,955	38,562
F3	68,056	34,805
	66,558	27,783
	69,791	30,159
	67,919	33,477
	61,438	31,354
C1	46,999	49,669
	46,53530	48,216
	48,35029	47,763
	51,89887	48,543
	51,20420	45,276
C2	77,12437	36,683
	74,03500	37,911
	72,51699	34,533
	70,13560	36,758
	73,22360	34,917
C3	42,66306	32,405
	41,42005	32,307
	41,33827	31,847
	43,20202	33,788
	43,40251	34,120
C4	55,33260	34,059
	52,32690	35,215
	53,95666	31,836
	48,91809	33,652
	47,59248	32,381

Tablo 6. Çekme mukavemeti testlerinin sonuçları (Devam)

<b>Kompozit Plaka Kodu</b>	<b>İlmek Sırası Yönünde Çekme Mukavemeti (MPa)</b>	<b>İlmek Çubuğu Yönünde Çekme Mukavemeti (MPa)</b>
C5	31,112	26,145
	30,612	25,481
	29,839	21,654
	29,680	27,142
	-	-
P 1	45,000	29,262
	47,156	32,893
	48,375	31,011
	47,358	38,338
	47,000	29,331
P 2	58,998	38,817
	58,058	40,230
	58,701	39,865
	58,329	39,402
	59,394	39,417
G1	76,282	89,149
	83,782	96,799
	88,021	96,690
	86,143	97,565
	80,347	94,502
G2	144,650	199,770
	138,801	178,384
	150,239	184,209
	150,641	179,505
	150,471	197,380

## EK 4: BASI MUKAVEMETİ TESTLERİNİN SONUÇLARI

Tablo 7. Bası mukavemeti testi sonuçları

Kompozit Plaka Kodu	İlmeK Sırası Yönünde Bası Mukavemeti (MPa)	İlmeK Çubuğu Yönünde Bası Mukavemeti (MPa)
F1	80,287	76,015
	71,692	66,066
	83,760	61,164
	73,926	75,993
	84,044	77,422
F2	66,885	53,309
	64,336	56,465
	67,986	51,575
	66,907	53,348
	64,588	53,522
F3	84,360	77,317
	88,008	80,546
	79,356	85,667
	79,400	83,203
	98,785	81,352
C1	101,808	92,258
	103,326	95,824
	92,574	93,075
	106,683	90,812
	103,048	95,325
C2	83,512	76,513
	81,763	76,921
	83,698	78,843
	82,897	76,647
	82,457	79,104
C3	83,230	58,792
	78,827	73,460
	79,119	70,800
	81,350	72,496
	78,214	70,597
C4	133,314	110,130
	118,392	111,589
	118,999	108,725
	119,407	106,373
	120,441	107,843

Tablo 7. Bası mukavemeti testi sonuçları (Devam)

<b>Kompozit Plaka Kodu</b>	<b>İlmeK Sırası Yönünde Bası Mukavemeti (MPa)</b>	<b>İlmeK Çubuğu Yönünde Bası Mukavemeti (MPa)</b>
C5	53,199	48,621
	54,871	49,216
	53,775	41,013
	53,321	45,115
	-	-
P 1	98,428	93,315
	98,078	96,784
	96,866	102,944
	100,772	95,736
	94,913	97,363
P 2	96,402	96,317
	98,307	95,883
	113,467	101,796
	113,058	98,638
	110,701	95,428
G1	177,337	152,494
	174,296	155,030
	181,155	161,262
	177,483	157,971
	175,395	147,757
G2	215,872	197,504
	212,567	194,473
	213,038	201,718
	209,056	206,315
	219,674	206,657

## EK 5. DARBE MUKAVEMETİ TESTLERİNİN SONUÇLARI

Tablo 8. Darbe mukavemeti testlerinin sonuçları

Kompozit Plaka Kodu	İlmeğe Sırası Yönünde Darbe Mukavemeti (kJ/m <sup>2</sup> )	İlmeğe Çubuğu Yönünde Darbe Mukavemeti (kJ/m <sup>2</sup> )
F1	59,780	42,700
	59,780	55,510
	55,510	38,430
	46,970	42,700
	46,970	38,430
F2	45,580	14,715
	50,138	9,810
	50,138	14,715
	50,138	19,620
	50,138	17,167
F3	62,592	34,020
	62,592	34,020
	58,680	34,020
	54,768	34,020
	54,768	30,618
C1	25,340	10,116
	25,340	10,116
	15,204	10,116
	15,204	10,116
	15,204	7,587
C2	43,494	15,656
	39,540	11,742
	43,494	15,656
	35,586	15,656
	39,540	11,742
C3	21,584	8,327
	16,188	7,213
	16,188	9,770
	16,188	9,885
	16,188	11,311
C4	49,300	32,920
	49,300	32,920
	51,000	32,920
	51,000	29,628
	49,300	32,920

Tablo 8. Darbe mukavemeti testlerinin sonuçları (Devam)

C5	11,180	5,589
	11,180	5,589
	11,180	5,589
	11,180	5,589
	11,180	5,589
P 1	5,884	3,052
	2,942	3,052
	2,942	3,052
	5,884	3,052
	2,942	3,052
P 2	23,357	11,678
	17,517	5,839
	23,357	5,839
	23,357	5,839
	17,517	5,839
G1	124,572	81,350
	124,572	90,150
	148,300	81,350
	130,504	75,125
	124,572	84,140
G2	127,020	118,160
	157,680	113,940
	131,400	92,840
	183,960	109,720
	131,400	118,160