

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

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLYESTER REÇİNE VE CAM ELYAFINDAN ÜRETİLEN KOMPOZİT
PLAKALARIN İĞNELENMİŞ KEÇE KUMAŞLARLA TAKVİYE EDİLMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah GÖRGÜLÜ

UŞAK 2019

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLYESTER REÇİNE VE CAM ELYAFINDAN ÜRETİLEN KOMPOZİT
PLAKALARIN İĞNELENMİŞ KEÇE KUMAŞLARLA TAKVİYE EDİLMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah GÖRGÜLÜ

TEMMUZ 2019

UŞAK

Gülşah GÖRGÜLÜ 'nün hazırladığı Polyester Reçine ve Cam Elyafından Üretilen Plakaların İğnelenmiş Keçe Kumaşlarla Takviye Edilmesi konulu bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygunluğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt TERCAN

.....

Tez Danışmanı Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez çalışması, tüm jüriler tarafından oy çokluğu ile Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman ASİ

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Prof. Dr. Mevlüt TERCAN

.....

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Dr. Bahar TİBER

.....

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih: 10.07.2019

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

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “Polyester Reçine ve Cam Elyafından Üretilen Kompozit Plakaların İğnelenmiş Keçe Kumaşlarla Takviye Edilmesi” başlıklı bu çalışmayı tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, tez içerisinde yer alan bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar dâhilinde elde ederek sunduğumu, bana ait olmayan ifade ve bilgilerin kaynaklarına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Gülşah GÖRGÜLÜ

**POLYESTER REÇİNE VE CAM ELYAFINDAN ÜRETİLEN
KOMPOZİT PLAKALARIN İĞNELENMİŞ KEÇE KUMAŞLARLA TAKVİYE
EDİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

(Yüksek Lisans Tezi)

Gülşah GÖRGÜLÜ

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2019

ÖZET

Bu tezde, kompozit plakalarda cam-dokuma, cam keçe, Core SP, polipropilen ve iğnelenmiş keçe tipi, istifleme sırası ve tabaka sayısı gibi parametrelerin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Kompozit plakalar açık kalıplama (el yatırması) yöntemi ile üretilmiştir. Açık kalıplama yöntemiyle ürettiğimiz plakalar 25°C'de kendi kürleşmesini tamamlamıştır. Elyaf takviyesi olarak, ağırlıkları 450 gr/m² olan cam-keçe, ağırlıkları 500 gr/m² olan cam-dokuma, ağırlıkları 100-150-200 gr/m² olan polipropilen (PP), ağırlıkları 100-150-200 gr/m² olan iğnelenmiş keçe (PES), ağırlıkları 90 gr/m² olan Core SP kullanılmıştır. Reçine ise, el yatırmasına uygun IR-100 P polyester'dir. Sekiz farklı yatırma ve sabit tabaka sayısına sahip plakalar elde edilmiştir. El yatırması sonrası kalıp üzerinde ısı uygulanmadan sertleştirici ve hızlandırıcı reaksiyonları sayesinde kürleşme kalıp üzerinde tamamlamıştır. Elde edilen kompozit plakalar için çekme, üç noktadan eğme, basma ve katmanlar arası kayma gibi temel mekanik özellikler incelenmiştir. Core mat ve iğnelenmiş keçe ile üretilen plaka özellikleri karşılaştırılmış ve optimum açık kalıplama parametreleri, istifleme sırası ve tabaka sayısı önerilmiştir.

Bilim Kodu:

Anahtar Kelimeler: Kompozit Plaka, Tabaka sayısı, Cam-Dokuma, Cam Keçe, Core SP, PP, PES İstifleme Sırası (Dizisi), Mekanik Özellikler

Sayfa Adedi: 87

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mevlüt TERCAN

**AN INVESTIGATION ABOUT THE REINFORCEMENT OF COMPOSITE
PLATES WITH NEEDLE PUNCHED NONWOVEN FABRICS PRODUCED
FROM POLYESTER RESIN AND GLASS FIBER**

(Master's Thesis)

Gülşah GÖRGÜLÜ

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this Thesis, the effect of parameters such as glass fabric, glass mat, core mat, polpropylene and needle felt (PES) type, stacking order and number of layers on the mechanical properties of the composite plates were searched. Composite plates were produced by open molding (hand lay-up) method. Because of that, laboratory scale open molding process was established. Polished stainless-steel plates are used on the lower surface of the plates to produce one face smooth plates. The plates which we produce with open molding method are produced by completing their own curing at 25°C. As fiber, glass mat with a weight of 450 gr / m², glass fabric with a weight of 500 g / m², PP needle punched nonwoven fabrics with a weight of 100-150-200 gr / m², PES needle punched nonwoven fabrics with weights of 100-150-200 gr / m², weight of 90 g Core SP was used. Resin is IR-100 Polyester suitable for hand lay-up. Eight different stacking and fixed plates were obtained. In the open hand lay-up process, 1-2 times resin circulation was applied to cope with wetting problems depending on the type of layer. The curing is completed on the mold by means of hardener and accelerator reactions without applying heat on the mold after hand lay-up. For the obtained composite plates, basic mechanical properties such as tensile, three-point bending, compression and inter-layer slip were searched. After Resin circulation, wetted layers increased the mechanical properties of the composite plate. Finally, optimum open molding parameters, stacking order and number of layers are recommended.

Science Code:

KeyWords: Composite Plate, Number of Sheets, Glass Fabric, Glass mat, Core SP, PP, PES Stacking Sequence, Mechanical Properties

Page Number: 87

Supervisor: Prof. Dr. Mevlüt TERCAN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans programına başladığım ilk günden itibaren kıymetli zamanını benimle paylaşıp desteğini hiç esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, yoğun ve zorlu çalışma süreçlerinde sergilediği makul ve serinkanlı tavırlarıyla beni motive ederek çözüm odaklı düşünmeye sevk eden saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mevlüt TERCAN 'a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu Tez çalışmamda kullandığım tabakalı plakaların Pul-Tech FRP çatısı altında üretilmesinde teknik bilgi ve deneyimiyle desteğini esirgmeden çalışanları ile birlikte sergiledikleri özveri, dikkat ve titizlikle tabakalı plakaların üretilmesini sağlayan sevgili Aslı Melike ÜNLE 'ye ve yine tabakalı plakaların üretilmesinde büyük emeği olan Hakkı KURAN 'a, çalışmada yapılan test numunelerinin temin edilmesi süreci ve işletme içindeki yardımlarından dolayı sevgili arkadaşlarım Mustafa Murat GÜRLER ve Ayaz PİLER 'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında içtenlikle ilgi, bilgi, destek ve yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Önder YEŞİL ve Arş. Gör. Dr. Gonca ALAN 'a teşekkür ederim.

Varlığıyla bana güç veren hayatımın anlamı canım kızım biricik Lina 'ma, yoğun çalışma hayatına rağmen çalışmamın her aşamasında gösterdiği özveriyle sevgisini sürekli hissettiğim sevgili eşim Mustafa Kaan GÖRGÜLÜ 'ye teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen üzerimden emeğini esirgemeyen babam Günay EKEN 'e, asaletine ve zorluklar karşısındaki dik duruşuna hayranlık duyduğum sevgisini her an hissettiğim canım annem Nuran EKEN 'e, başarılarıyla bana öncülük eden ablalarım Eda GÜNAYDIN ve Nalan ÖZ 'e teşekkürlerimi sunarım.

Gülşah GÖRGÜLÜ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
RESİMLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Kompozit Malzemeler.....	1
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı.....	1
1.1.2 Kompozit Malzemelerin Avantajı.....	2
1.1.3 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları.....	3
1.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	4
1.2.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırılması.....	4
1.2.1.1 Polimer Matrisli Kompozitler.....	4
1.2.1.2 Metal Matrisli Kompozitler.....	5
1.2.1.3 Seramik Matrisli Kompozitler.....	5
1.2.2 Takviye Şekline Göre Sınıflandırılması.....	5
1.2.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	5
1.2.2.2 Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	6
1.2.2.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	6
1.3 Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	8
1.3.1 Cam Elyaf Takviyeli Plastik Malzemeler.....	8
1.3.1.1 Cam Takviye Çeşitleri.....	8
1.3.1.1.1 Fitol.....	8
1.3.1.1.2 Cam Elyafı İplik.....	9
1.3.1.1.3 Kumaşlar.....	9
1.3.1.1.4 Kırpılmış Demetler.....	10
1.3.1.1.5 Öğütülmüş Lifler.....	10
1.3.1.2 Polyester Reçine Çeşitleri.....	11

1.4 Kompozit Üretim Yöntemleri.....	11
1.4.1 Açık Kalıplama Yöntemleri	12
1.4.1.1 El Yatırması Yöntemi.....	12
1.4.1.2 Püskürtme Yöntemi.....	14
1.4.1.3 Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Sarım Yöntemi/Fiber Yerleştirme).....	15
1.4.2 Kapalı Kalıplama Yöntemleri	17
1.4.2.1 Profil Çekme (Pultrüzyon) Yöntemi	17
1.4.2.2 Reçine Transfer Yöntemi (RTM).....	20
1.4.2.3 Yapısal Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama Prosesi (SRIM).....	21
1.4.2.4 Baskı Kalıplama Yöntemi.....	22
1.4.2.5 Enjeksiyon Kalıplama.....	23
1.4.2.6 Savurma Döküm (Santrifüj) Kalıplama.....	24
1.4.2.7 Vakum Torbası / Otoklav Prosesi.....	25
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3. MATERYAL ve METOT.....	30
3.1 Materyal.....	30
3.1.1 Reçine.....	30
3.1.2 Hızlandırıcı (Katalizör)	31
3.1.3 Sertleştirici.....	31
3.1.4 Kalıp Ayırıcı.....	32
3.1.5 Cam Elyaf.....	32
3.1.6 Core SP.....	32
3.1.7 Poliester İğnelenmiş Keçe.....	33
3.1.8 Polipropilen İğnelenmiş Keçe.....	34
3.2 Metot.....	35
3.2.1 El Yatırması Yöntemi ile Plaka İmalatı.....	36
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	40
4.1 Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	40
4.1.1 Tabakalı Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	40
4.1.1.1 Tabakalı Kompozit Malzemenin Çekme Özelliklerinin	40

Belirlenmesi.....	
4.1.1.2 Tabakalı Kompozit Malzemenin Eğilme Özelliklerinin	
Belirlenmesi.....	49
4.1.1.3 Tabakalı Kompozit Malzemenin Basma Özelliklerinin	
Belirlenmesi.....	57
4.1.1.4 Tabakalı Kompozit Malzemenin Katmanlar Arası Kayma	
Özelliklerinin Belirlenmesi.....	65
4.2. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	77
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil		Sayfa
Şekil 1.1	Dokuma ve Tek Yönlü Elyafların Farklı Yönlerdeki Özellikleri.....	7
Şekil 1.2	Tabakalarda Yönlendirme Şekilleri.....	7
Şekil 1.3	El Yatırma Prosesi Adımları.....	12
Şekil 1.4	Püskürtme Yöntemi.....	14
Şekil 1.5	Elyaf Sarım Prosesi Düzeneği.....	16
Şekil 1.6	Elyaf Sarım Yöntemi Ürünlerine Örnekler.....	16
Şekil 1.7	Profil Çekme Yöntemi Düzeneği.....	18
Şekil 1.8	Profil Çekme Yöntemi İle Cam Lifinden Üretilmiş Izgaralar	18
Şekil 1.9	RTM Yöntemi.....	21
Şekil 1.10	SCM Hazır Kalıplama Bileşeni İle Baskı Kalıplama.....	22
Şekil 1.11	Enjeksiyon Kalıplama Basamakları.....	23
Şekil 1.12	Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Üretilmiş Parça Örnekleri.....	24
Şekil 1.13	Santrifüj Kalıplama Düzeneği.....	25
Şekil 1.14	Vakum Torba Kalıplama.....	26
Şekil 4.1	Çekme Numunesi ve Ölçüleri.....	41
Şekil 4.2	A Numunesi Çekme Testi.....	42
Şekil 4.3	B Numunesi Çekme Testi.....	42
Şekil 4.4	C Numunesi LW (İğne Yönünde) Çekme Testi.....	43
Şekil 4.5	C Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Çekme Testi.....	43
Şekil 4.6	D Numunesi LW (İğne Yönünde) Çekme Testi.....	44
Şekil 4.7	D Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Çekme Testi.....	44
Şekil 4.8	E Numunesi LW (İğne Yönünde) Çekme Testi.....	45
Şekil 4.9	E Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Çekme Testi.....	45

Şekil 4.10	F Numunesi LW (İğne Yönünde) Çekme Testi.....	46
Şekil 4.11	F Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Çekme Testi.....	46
Şekil 4.12	G Numunesi LW (İğne Yönünde) Çekme Testi.....	47
Şekil 4.13	G Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Çekme Testi.....	47
Şekil 4.14	H Numunesi LW (İğne Yönünde) Çekme Testi.....	48
Şekil 4.15	H Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Çekme Testi.....	48
Şekil 4.16	Eğilme Numunesi Ölçüleri.....	49
Şekil 4.17	A Numunesi Eğilme Testi.....	50
Şekil 4.18	B Numunesi Eğilme Testi.....	51
Şekil 4.19	C Numunesi LW (İğne Yönünde) Eğilme Testi.....	51
Şekil 4.20	C Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Eğilme Testi.....	52
Şekil 4.21	D Numunesi LW (İğne Yönünde) Eğilme Testi.....	52
Şekil 4.22	D Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Eğilme Testi.....	53
Şekil 4.23	E Numunesi LW (İğne Yönünde) Eğilme Testi.....	53
Şekil 4.24	E Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Eğilme Testi.....	54
Şekil 4.25	F Numunesi LW (İğne Yönünde) Eğilme Testi.....	54
Şekil 4.26	F Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Eğilme Testi.....	55
Şekil 4.27	G Numunesi LW (İğne Yönünde) Eğilme Testi.....	55
Şekil 4.28	G Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Eğilme Testi.....	56
Şekil 4.29	H Numunesi LW (İğne Yönünde) Eğilme Testi.....	56
Şekil 4.30	H Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Eğilme Testi.....	57
Şekil 4.31	A Numunesi Basma Testi.....	58
Şekil 4.32	B Numunesi Basma Testi.....	59
Şekil 4.33	C Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Basma Testi.....	59
Şekil 4.34	C Numunesi LW (İğne Yönünde) Basma Testi.....	60
Şekil 4.35	D Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Basma Testi.....	60

Şekil 4.36	D Numunesi LW (İğne Yönünde) Basma Testi.....	61
Şekil 4.37	E Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Basma Testi.....	61
Şekil 4.38	E Numunesi LW (İğne Yönünde) Basma Testi.....	62
Şekil 4.39	F Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Basma Testi.....	62
Şekil 4.40	F Numunesi LW (İğne Yönünde) Basma Testi.....	63
Şekil 4.41	G Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Basma Testi.....	63
Şekil 4.42	G Numunesi LW (İğne Yönünde) Basma Testi.....	64
Şekil 4.43	H Numunesi CW (İğne Yönüne Dik) Basma Testi.....	64
Şekil 4.44	H Numunesi LW (İğne Yönünde) Basma Testi.....	65
Şekil 4.45	Katmanlar Arası Kayma Test Numunesi Ölçüsü.....	66
Şekil 4.46	A Numunesi Cam LW Katmanlar Arası Kayma Testi.....	67
Şekil 4.47	B Numunesi Cora Mat LW Katmanlar Arası Kayma Testi.....	67
Şekil 4.48	C Numunesi LW (İğne Yönünde) Katmanlar Arası Kayma Testi.....	68
Şekil 4.49	D Numunesi LW (İğne Yönünde) Katmanlar Arası Kayma Testi.....	68
Şekil 4.50	E Numunesi LW (İğne Yönünde) Katmanlar Arası Kayma Testi.....	69
Şekil 4.51	F Numunesi LW (İğne Yönünde) Katmanlar Arası Kayma Testi.....	69
Şekil 4.52	G Numunesi LW (İğne Yönünde) Katmanlar Arası Kayma Testi.....	70
Şekil 4.53	H Numunesi LW (İğne Yönünde) Katmanlar Arası Kayma Testi.....	70
Şekil 4.54	LW Yönlü Numunelerin Çekme, Eğilme, Basma, Katmanlar Arası Kayma Mukavemeti.....	77
Şekil 4.55	CW Yönlü Numunelerin Çekme, Eğilme, Basma Mukavemeti.....	78
Şekil 4.56	Plaka Kalınlığı, Çekme, Eğilme, Basma, Katmanlar Arası Kayma Mukavemeti Karşılaştırması.....	79
Şekil 4.57	Tabaka Sayısı 5 Olarak Sabit Tutulduğunda A-B-C-D-E-F-G-H Grup Kodlarına Göre Birim Maliyet ve % Maliyet Düşüşü.	80
Şekil 4.58	Plaka Kalınlığı 5,53 mm Olarak Sabit Tutulduğunda A-B-C-D-E-F-G-H Grup Kodlarına Göre Birim Maliyet ve % Maliyet Düşüşü.	80

RESİMLER DİZİNİ

Resim		Sayfa
Resim 1.1	(a) Direk Sarma Fitol ve (b) Bileşik Fitol.....	9
Resim 1.2	Cam Elyafı İplik.....	9
Resim 1.3	Kumaş Dikim Şekillerine Göre Elyaf lar.....	10
Resim 1.4	Kırpılmış Elyaf	10
Resim 1.5	Öğütölmüş Lifler	11
Resim 1.6	Otoklav Resimleri.....	26
Resim 3.1	Dokuma Elyaf ların Kesimi	36
Resim 3.2	Kesilmiş Cam Keçeler	37
Resim 3.3	Kalıp Ayırıcı Sürölmesi	37
Resim 3.4	Polyester Reçinenin Hazırlanması.....	38
Resim 3.5	Uygulama Resimleri.....	38
Resim 3.6	Kompozit Plakalar.....	39
Resim 4.1	UTEST Test Cihazı	40
Resim 4.2	Eğilme Testi	50
Resim 4.3	Basma Testi.....	58
Resim 4.4	Katmanlar Arası Kayma Testi	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 3.1	Sıvı Haldeki Polyester Reçine Özellikleri.....	30
Çizelge 3.2	Sertleşmiş Polyester Reçine Özellikleri	31
Çizelge 3.3	Cam Elyaf Özellikleri	32
Çizelge 3.4	Çalışmada Kullanılan rPET Lifinin Özellikleri	33
Çizelge 3.5	Çalışmada Kullanılan PP Lifinin Özellikleri	34
Çizelge 3.6	Kompozit Plakaların Tabaka Sıralaması	35
Çizelge 4.1	CW (İğne Yönüne Dik) Yönlü Numunelerin Test Sonuçları...	71
Çizelge 4.2	LW (İğne Yönünde) Yönlü Numunelerin Test Sonuçları	72
Çizelge 4.3	Çekme Mukavemetinin Plaka Kalınlığı İle Kıyaslanması	73
Çizelge 4.4	Eğilme Mukavemetinin Plaka Kalınlığı İle Kıyaslanması.....	74
Çizelge 4.5	Basma Mukavemetinin Plaka Kalınlığı İle Kıyaslanması.....	75
Çizelge 4.6	Katman Arası Kayma Mukavemetinin Plaka Kalınlığı İle Kıyaslanması.....	76

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu tezde kullanılmış olan simgeler ve kısaltmaları açıklamaları ile sunulmuştur.

Simgeler

Simgeler	Açıklama
σ	Kesit Alan Başına Düşen Yük (N/mm ²)
ϵ	İğneleme Sayısı
S	Sehim Miktarı

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
PET	Polietilenteraftalat
rPET	Geri Dönüştürülmüş Polietilenteraftalat
PP	Polipropilen
PES	Poliester
cN	Santi Newton
dtex	Desitex
LW	İğne Yönü
CW	İğne Dik Yön
kN	Kilo Newton
MPa	Mega Paskal

1. GİRİŞ

Genellikle üç ana gruba ayrılan malzemelerin (metaller, seramikler, organik malzemeler) kendi aralarında kıyaslandıklarında üstünlükleri ve zayıf yönleri vardır. Bu malzemelerden hariç kompozit malzemeler olarak adlandırılan bir diğer malzeme türü ise, aynı ya da farklı gruptaki malzemelerden iki veya daha fazla malzemenin istenen amaca uygun olan niteliklerinin, yeni özellik oluşturmak veya tek malzemede toplanmasını sağlamak amacıyla makro düzeyde birleştirilerek bir araya getirilmesi ile oluşur. Bu nedenle kompozit malzemeler ısmarlama malzemeler olarak da adlandırılır. Mikroskopik olarak homojen oldukları için atomsal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler kompozit malzeme sınıfında yer almaz. Geçmişten günümüze kullanılmakta olan kompozit malzemelerin gelişimi günümüzde de devam etmektedir. Kompozit malzemeler 1940'lı yılların başında bilinçli ve bilimsel yaklaşımlar ile ele alınmaya başlanmış ve cam takviyeli plastik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Cam takviyeli plastiklerin ilk uygulamaları, radar kubbeleri olmakla beraber 1942 yılında Cam Takviyeli Plastik malzemedan tekne yapılmıştır. 1946'da ise elyaf sarma patenti alınmakla beraber uçak pervanelerinin de kompozit malzemedan üretimi başlamıştır. Günümüzde uçak endüstrisinde %50 oranla yer alan kompozit malzemeler örnek verecek olursak, polimerlere gömülmüş karbon lifleri, alüminyum içerisine dizilmiş boron lifleri ve yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemeler birer örnek teşkil etmektedir. Kompozit malzemelerin yüksek mukavemetli olmaları, hafif olmaları, atmosfer koşullarına dayanıklı olmaları, elektromanyetik geçirgenlikleri ve mekanik özellikleri tercih edilme nedenlerindedir.

1.1. Kompozit Malzemeler

1.1.1. Kompozit Malzemenin Tanımı

Kompozit malzemeler; metal, plastik veya seramik grubu malzemelerden iki ya da daha fazlasının istenen amaca uygun olan niteliklerinin yeni özellik oluşturmak veya tek bir malzemede toplanmasını sağlamak amacıyla makro düzeyde birleştirilerek bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir [1]. Başka bir deyişle bir malzemenin zayıf kalan özelliklerini daha güçlü ve üstün özellikler haline dönüştürmek amacıyla değişik

malzemelerin bir araya getirilmesi veya fazladan oluşan malzemeler olarak da adlandırılırlar.

Bir kompozit malzemede şu şartlar aranmaktadır:

- Kimyasal bileşimleri farklı ve belirli ara yüzlerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilmiş olmalı,
- Birbirlerinden farklı olan bu malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmesi,
- Kompozit malzemelerin bileşenlerinde olmayan özellikleri taşıması.

Bu koşullara göre malzeme, makroskobik olarak homojen ancak mikroskobik olarak heterojen bir malzeme özelliği göstermektedir.

Bir kompozit malzeme;

- Kullanılan takviye malzemesinin özelliklerine,
- Kullanılan matris malzemesinin özelliklerine,
- Matris ve elyaf malzemenin hangi oranlarda kullanıldığına,
- Şekline ve liflerin dizilişine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Liflerin mekanik özelliklerinin matris malzemelere kıyasla daha üstün olması nedeni ile elyaf oranı daha fazla olan kompozit malzemeler daha üstün mekanik özelliklere sahiptir [2]. Bu duruma örnek verecek olursak tekne yapımında elyafın hacimsel oranı %30-40 civarında iken havacılık sanayisinde kullanılan daha gelişmiş sistemlerdeki elyafın hacimsel oranı % 70 'ler seviyesindedir.

1.1.2. Kompozit Malzemenin Avantajları

Kompozit malzemeler hafif olmaları, elyaf ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlaması, korozyona dayanımının iyi olması gibi özellikleri metal malzemelere göre daha fazla kullanım alanı sağlamaktadır.

- **Yüksek Mukavemet:** Metal malzemelere bakarak çekme ve eğilme mukavemetleri daha yüksek olan kompozit malzemelere kalıplama özellikleri ile istenilen yön ve bölgede gerekli mukavemet verilebilmektedir. Bu sayede malzemede tasarruf edilerek daha hafif ve ucuz malzemeler elde edilir.
- **Hafiflik:** Kompozitler birim alan ağırlığı bakımından, metallere ve plastiklere oranla daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir.

- Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerden elde edilen kompozit ürünler elektriksel olarak çok iyi özelliklere sahip olabilirler. Günümüzde bu malzemeler enerji nakil hatlarında iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda iyi bir yalıtkan malzeme olarak kullanılabilirler.
- Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozit malzemeler korozyon ve birçok kimyasal etkilerden zarar görmemesi nedeniyle kimyasal madde tankları, boru, tekne ve diğer deniz araçlarının yapımında kullanılmaktadır.
- Ateş ve Isıya Dayanıklılık: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerin bir araya getirilmesi veya özel katkı maddeleri eklenerek oluşan kompozitler yüksek ısıda kullanılabilirler.
- Renklendirme: Renk pigmentlerinin kalıplama prosesinde reçineye eklenmesi ile ekstra bir maliyet veya iş yüküne gerek kalmadan istenen renkte kompozit malzemeler elde edilebilir.
- Titreşim Sönümlendirme: Kompozit malzemeler sünek bir yapıya sahip olmalarından titreşim sönümlendirme ve şok yutabilme özelliği vardır. Buda çatlakların yürümesi olayını azaltmaktadır.[3].

1.1.3. Kompozit Malzemenin Dezavantajları

Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerde olumsuz bir özellik olması halinde bu da direkt kompozit malzemeye yansımaktadır. Bugün hala bu durumu ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılmaktadır.

Kompozit malzemelerde görülen dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Farklı doğrultuda farklı özellikler gösterebilirler,
- Üretim süreçleri zor ve pahalıdır,
- İçerisinde hava kabarcığı kalması durumunda malzemenin yorulma direnci olumsuz yönde etkilenir,
- Bu malzemelerin geri dönüşümleri demir, alüminyum, bakır gibi malzemelere kıyasla sınırlıdır,
- Gerekli yüzey kalitesi elde edilememektedir,
- Tasarım parametreleri iyi tanımlanmaz ise ham malzeme açısından yüksek üretim verimliliği yakalanamaz,

- Metal malzemeler kıyasla kırılma bir yapıya sahiptirler ve bu özelliklerinden ötürü plastik deformasyon meydana gelmemektedir. Kırılma olayı anlık olabilmektedir. Ancak metallerde belli süreçler sonrasında kırılma olayı gerçekleştiği için önlem alma şansı vardır. Bu durum kompozit yapılar için geçerli değildir [4].

1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitin istenilen özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla bileşenlerin malzemesi, şekli, boyutları ve kompozit yapının şeklinde değişikliklerin yapılması mümkündür. Dolayısıyla kompozitler liflerin geometrisine veya matris malzemesine göre sınıflandırılmaktadırlar [5].

- Kompozitler matris malzemesine göre; polimer, metal ve seramik matrisli kompozitler olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır.
- Kompozitler takviye şekillerine göre ise; tabakalı kompozit malzemeler, elyaf ve partikül takviyeli kompozitler olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır.

1.2.1. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

1.2.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Plastik- polimer matrisli malzemelerin elyaf formunda sert ve dayanımlı malzemeler ile takviye edilmesi veya pekiştirilmeleri sonucu oluşurlar. Bu kompozitlere günümüzde de fazlasıyla yaygınlaşan ve polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviye edilmesiyle üretilen “fiberglas” olarak bilinen malzemelerdir. Ancak ileri kompozit grubunda fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri açısından daha üstün özelliklere sahip lifler kullanılarak yüksek çekme ve basma dayanımına sahip, yüksek elastik modülü ve tokluğa sahip malzemeler elde edilmektedir [3].

Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin birbiri ardına dizilmesi sonucu oluşan uzun zincirli yapılardır. Polimer malzemenin özelliklerini belirlemede monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile etkileşimi etkilidir. Polimer denince akla ilk olarak organik polimerler gelse de inorganik polimerlerde oldukça yaygındır. Polimer zincirleri lineer (doğrusal) ya da dallanmış yapıda olabilirler. Dallanmış yapılarda yan dallar ana zincirden ayrılmaktadır. Ayrılan bu yan dallar başka ana zincirlerle bağlanıyorsa bu oluşan polimerler çapraz bağlı polimerler olarak adlandırılır. Polimerlerde

malzemeye sertlik ve kırılmalık veren kristal bölge ve malzemeye tokluk veren amorf bölge bir arada bulunur. Malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde kristallik derecesi çok önemlidir. Düzenli yapılar, lineer zincirler kristal oluşumu artırdığı gibi moleküller arası çekim kuvvetleri de kristallığı artırmaktadır. Polimerlerin mekanik özellikleri çekme-uzama testleri ile belirlenmektedir [6].

Sahip oldukları bu üstün özellikleri sayesinde polimer esaslı malzemelerin kullanım alanları günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Polimerlerin hafif olmaları, korozyona dayanımları ve kolay işlenebilir olmaları en önemli avantajlarıdır. Polimerler yapı malzemesi olarak büyük bir öneme sahip olup günümüzde dünyada üretilen polimerlerin % 30 'u inşaat mühendisliği ve yapı endüstrisinde kullanılmaktadır.

1.2.1.2. Metal Matrisli Kompozitler

Metal Matrisli Kompozitler (MMC 'ler) bir metalik fazın uygun takviye malzemeleri ile eritme, vakum emdirme, sıcak presleme, difüzyon kaynağı gibi ileri yöntemler uygulanarak birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu kompozitler uzay ve havacılık alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

1.2.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler

Al_2O_3 , SiC , SiN_4 , B_4C CbN , TiC , TiB_2 , TiN , AlN gibi yapısal ve fonksiyonel bileşikler nitelikli ileri teknoloji seramiklerde kullanılmaktadır. Bu bileşikler değişik yapıdadır. İstenen özelliklere göre bu bileşiklerden bir ya da bir kaçını beraber kullanarak Seramik Matrisli Kompozitler (CMC 'ler) elde edilir. Bu kompozitler askeri amaçlı parçalarda ve uzay araçlarında kullanılmaktadır [7].

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşiminden oluşan bu kompozitler gevrek bir yapıya sahiptir. Ayrıca yüksek sıcaklıklara karşı dayanımının yüksek olmasıyla beraber elektriksel olarak da iyi bir yalıtıcılık özelliği sergilerler [8].

1.2.2. Takviye Şekline Göre Sınıflandırılması

1.2.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Yüksek etkinliği olan ve birçok özellikte artış sağlayan liflerin ilavesi ile Elyaf

Takviyeli Kompozitler elde edilir. Takviye elemanları yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli elyaf veya uzun liflerin kesilmesi sonucu elde edilen süreksiz elyaf şeklinde olabilmektedir. Elyaf takviyeli kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli etkenler; elyafın şekli, uzunluğu, matrisin mekanik özellikleri, yönlendirilmesi ve elyaf ile matrisin ara yüzey özellikleridir [9].

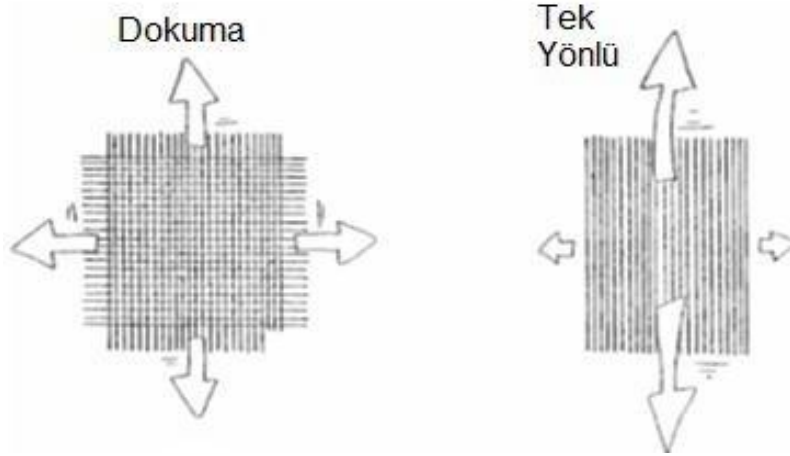
1.2.2.2. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

Matris bir malzemenin içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilen izotropik yapılardır. Bu yapının mukavemeti içerisindeki parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın olanı plastik matris içerisinde yer alan metal parçacıklardır. Bu metal parçalar ısı ve elektrik iletkenliği sağlamaktadır. Metal matris içinde seramik matris içeren yapılar daha yüksek sertlik ve sıcaklık dayanımına sahiptir. Bu malzemeler kollar, elektrik parçaları, muhafazalar vb. küçük parçaların yapımında kullanılırlar [8].

1.2.2.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler

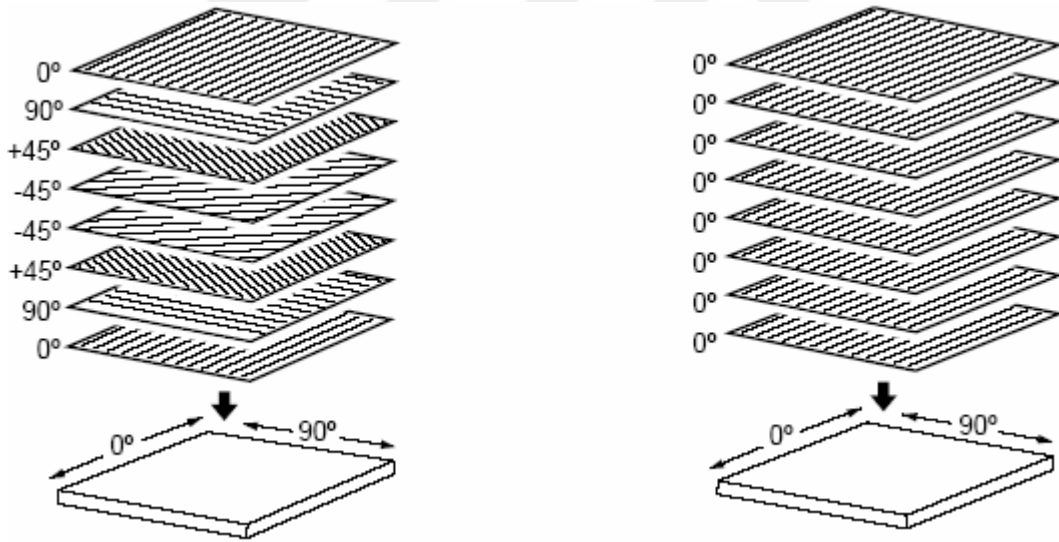
Farklı özelliklerdeki en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşurlar ve çok değişik kombinasyonlar ile tabakalanmış kompozit üretimi mümkün olmaktadır. Yapısal olarak taneli ve liflerle donatılmış kompozit malzemelere göre farklılık göstermektedirler. Korozyona karşı direnç gösteremeyen metaller yüksek dirençli metal veya plastikler ile kaplanarak korozyon dirençleri, yumuşak metallerin daha sert malzemeler ile birleştirilmesi ile sertlik ve aşınma dirençleri ve farklı fiber yönlendirilmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesi ile de çok yönlü yük taşıma özellikleri geliştirilebilmektedir [10].

Daha çok metaller, bütün yön ve doğrultularda aynı özelliklere sahip malzemeler (İzotropik) oldukları için bütün doğrultularda eşit özellik gösterirken; farklı yönlerde farklı özellikler sergileme özelliği gösteren (anizotropik) tek yönlü kompozit malzemeler tek yönde daha üstün mekanik özelliklere sahiptirler [10].



Şekil 1.1. Dokuma ve tek yönlü elyafların farklı yönlerdeki özellikleri [10]

Dokuma ve tek yönlü elyaflar için farklı yönlerdeki özellikleri Şekil 1.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Tabakalarda yönlendirme şekilleri [10]

Tabakalarda Yarı- İzotropik ve tek yönlü yönlendirme şekilleri Şekil 1.2. 'de gösterilmiştir.

Farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların birleşimi ile oluşan ve yüksek mukavemet değerlerine sahip tabakalı kompozit yapılar en eski ve yaygın kullanılan tiptir.

Metal malzemelere göre daha hafif ve mukavemetli olmaları, ısı ve neme dayanıklı olmaları tercih edilme nedenlerindedir. Uçak yapılarında kullanılan sandviç yapılar tabakalı kompozit malzemelere örnek teşkil etmektedir. Bunun yanında cam elyaf gemi kaplaması, raylı taşıtların gövdeleri, tenis raketleri fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanım alanlarındandır [10].

1.3. Elyaf Takviyeli Kompozitler

1.3.1. Cam Elyaf Takviyeli Plastik Malzemeler

1.3.1.1. Cam Takviye Çeşitleri

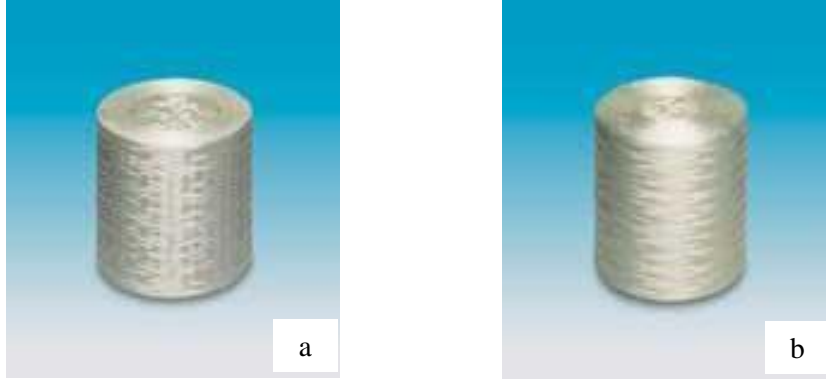
Elyafı yapılarına göre;

- Fitol
- Cam elyafı iplik
- Kumaşlar
- Kırpılmış demetler
- Öğütölmüş lifler

olmak üzere beş gruba ayırabiliriz [11].

1.3.1.1.1. Fitol

Cam elyafı takviye malzemesi olan ve yapı itibari ile devamlı yapıya sahip fitil; çok delikli kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan sarılması ile “Direkt Sarma Fitol”, daha az delikli kovanlardan akan cam elyafı demetlerinin birbirine paralel olarak bükölmeden sarılması ile de “Bileşik Fitol” olarak üretilebilmektedir (Resim 1.1.)



Resim 1.1. (a) Direk sarma fitil ve (b) bileşik fitil [11]

1.3.1.1.2. Cam Elyafı İplik

Cam elyafı demetlerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen cam elyaf iplik; genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılan takviye çeşididir (Resim 1.2.).



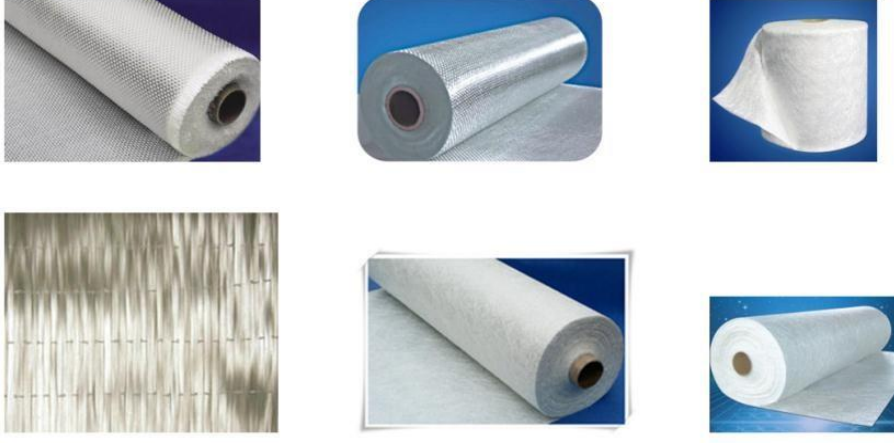
Resim 1.2. Cam elyafı iplik [11]

1.3.1.1.3. Kumaşlar

Kumaşların sınıflandırılması dikim şekillerine göre aşağıdaki gibidir (Resim 1.3.).

- Dokunmuş Fitiller
- Dokunmuş Cam Kumaşlar
- Dikilmiş Kumaşlar
- Tek Yönlü Fitol Kumaşlar

- Devamlı Demetli Keçeler
- Kırpılmış Demetten Keçeler



Resim 1.3. Kumaş dikim şekillerine göre elyaflar [11]

1.3.1.1.4. Kırpılmış Demetler

Termoplastik granüllerin ve termoset esaslı kalıplama yöntemlerinden, hamur kalıp bileşimi (BMC) üretiminde kullanılan; cam elyaf demetlerinin 3 ila 12 mm arasındaki uzunluklarda kırpılmış şeklidir (Resim 1.4.).



Resim 1.4. Kırpılmış elyaf

1.3.1.1.5. Öğütülmüş Lifler

Öğütülerek uzunlukları 0.1-0.2 mm 'ye düşürülmüş ve lif çapları 10-17 mikron arasında değişen cam elyafı takviye malzemesi olan öğütülmüş lifler termoplastik reçinelerin ve poliüretan reçinenin takviyesinde kullanılır. Lif boyunun çok kısa olması

nedeni ile diğer kompozitlerin takviyesinde kullanılmaz. Lif boyunun kısa tutulmasının nedeni ise kompozitin rijitlik, boyut stabilitesi ve darbe dayanımı vb. özelliklerini yükseltmektir (Resim 1.5.).



Resim 1.5. Öğütülmüş lifler.

1.3.1.2. Polyester Reçine Çeşitleri

Polyester reçine iki ana grupta toplanır:

1. Doymuş Polyester Reçineler: Termoplastik özellik gösteren, enjeksiyon kalıplama ve elyaf üretiminde kullanılan polietilen teraflat veya terilen gibi reçinelerdir [12].

2. Doymamış Polyester Reçineler: Uygun bir katalizör ile cross-link (şebeke yapısı) oluşturan termoset özellikli reçinelerdir [12].

Cam takviyeli plastiklerin üretiminde genellikle doymamış polyester reçine kullanılmaktadır. Değişik amaçlar için değişik özellikte doymamış polyester reçine türleri geliştirilmiştir [12]. Bu tez çalışmasında “doymamış polyester reçine” terimi “polyester reçine” olarak ifade edilmiştir.

1.4. Kompozit Üretim Yöntemleri

Kompozit üretim yöntemlerini iki ana grup altında incelemek mümkündür. Bunlar :

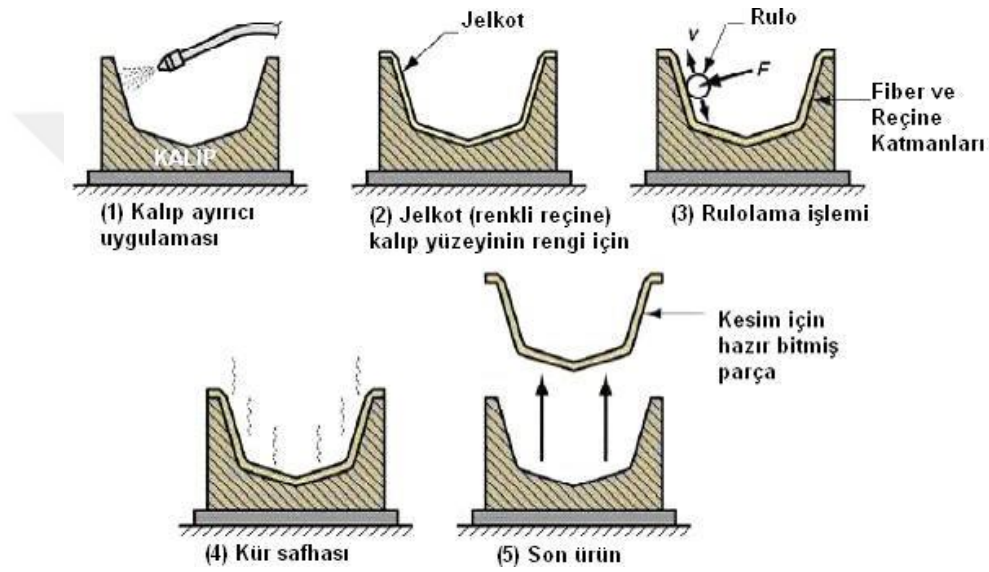
1. Açık Kalıplama Yöntemleri: Bu yöntemde jelkot ve laminalar hava ile temas

halindedir.

2. Kapalı Kalıplama Yöntemleri: Üretim çift taraflı kalıplarla veya vakum torbası ile gerçekleştirilir.

1.4.1. Açık Kalıplama Yöntemleri

1.4.1.1. El Yatırması Yöntemi



Şekil 1.3. El yatırması proses adımları [13]

İlk zamanlardan günümüze kadar üzerinde birçok çalışma yapılan, endüstride sürekli gelişime açık olan ve yoğun işçilik gerektirdiği için yaygın olarak az adetli üretimlerde kullanılan açık kalıplama yöntemlerinden biridir. Çok geniş bir uygulama alanına sahip bu yöntem özellikle mukavemetli büyük parçaların ve tek yüzeylerinin düzgün olmasının istendiği parçaların üretiminde uygulanmaktadır [14].

Üretimin ilk aşamasında güzelce temizlenmiş kalıp yüzeyine fırça veya sprey tabancası yardımıyla ayırıcı özelliği olan pigment katkılı jelkot genellikle 0,5 mm kalınlığında olacak şekilde uygulanır [14]. Uygulanan jelkot istenilen sertliğe geldiğinde kuru takviye malzeme tabakaları jelkotun üzerine yerleştirilerek reçine elle kalıba uygulanır. Bu işleme istenen kalınlığa ulaşıncaya kadar devam edilir. Reçine sertleşene kadar tabakalar arasında hava kabarcığı kalmaması için her kat takviye malzemesinden

sonra rulolama işlemleri gerçekleştirilir.

Ara yüzey ayırma elemanı olarak buharlaşan bir çözücüde çözdürülen fluorokarbon kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık gerektiren yöntemlerde Politetrafluoroetilen ayırıcılar tercih edilir. Kalıptan kompozitin ayrılması için silikon boyalarda kullanılabilir ama sonraki aşamalarda sorunlar doğurabilmektedir.

Esnek bir üretim prosesinin olması nedeniyle kullanıcıya değişik tipte kumaş ve hasır malzemeler kullanılarak parçanın optimizasyonuna olanak sağlamaktadır. Kullanılacak takviye malzemesinin türü ve kalınlığı tasarımcılar tarafından belirlenmektedir.

Dışarıdan ısı kaynağına gerek kalmadan kürlenmenin oda sıcaklığında gerçekleşmesini sağlamak için reçineye katalizörler, hızlandırıcılar ve parçanın kullanımı için gerekli olan malzemeler eklenebilir. Reçinede oluşan kimyasal tepkimeler malzemenin yüksek dayanımlı ve hafif ürünler elde edebilecek şekilde sertleşmesini sağlar. Reçine elyaf takviyeleri için matris görevini gerçekleştirir [14].

Bu yöntemde polyester veya epoksi reçineler kullanılmaktadır. Ancak düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı nedeniyle polyester reçineler daha çok tercih edilmektedir. Polyesterin tercih edilme nedenlerinden bir diğeri de epoksi iyi yapışma özelliğine sahiptir ve kalıptan ayırmak için özel kalıp ayırıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Oysaki polyesteri kalıptan ayırmak için çok çeşitli ayırıcılar mevcuttur.

El yatırması yönteminin yatırım ve üretim maliyetlerinin düşük olması, tasarımda esnek olması, üretilecek parçaların boyutunda bir kısıtlama olmaması ve yerinde kalıplama olanağı olması, çok çeşitli dekoratif renk seçeneğinin olması ve bölgesel mukavemetin yapılarak sağlanabiliyor olması bu yöntemin avantajları arasında yer almaktadır.

Buna rağmen elde edilen parçaların sadece tek yüzeyinin pürüzsüz olması, yüksek işçilik gerektirmesi, ürün kalitesinde işçinin kabiliyetine bağlı kalınması ve açık kalıplama yöntemi olması nedeni ile stiren (formülü $C_6H_5.CH=CH_2$ ve k.n. 145 olan, yağ ve kömür katranında ve stiraks reçinesinde bulunan, polimer, kopolimer, polistiren, plastik ve kauçuk yapımlarında kullanılan, durdukça yavaş ve güneş ışığında hızlı polimerleşerek metastiren (C_8H_8) oluşturan, alkol ve eterde çözünen, kuvvetli aromatik kokulu, renksiz, sağlığa

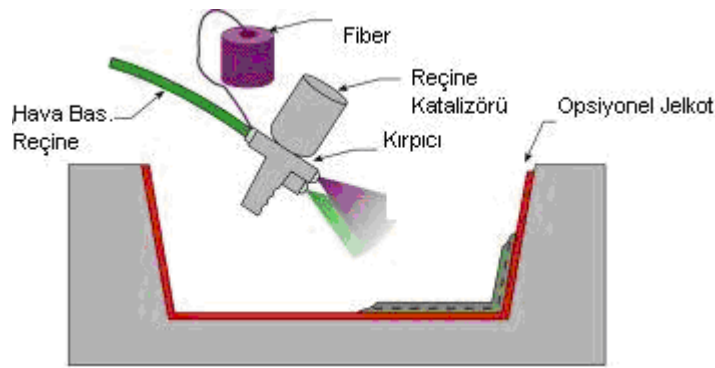
zararlı bir sıvı madde) yayılımının olması gibi etkenler bu yöntemin dezavantajları arasındadır.

Yaygın olarak tekne gövde yapımında, otomobil ve kamyon gövde panellerinin üretiminde, yüzme havuzları, depolama tankları, korozyona dayanımlı ürünler, mobilya ve aksesuarları, elektrikli ev aletleri ve havalandırma kanallarının yapımında kullanılır [15].

1.4.1.2. Püskürtme Yöntemi

El yatırması yönteminin gelişmiş versiyonu olarak düşünebileceğimiz püskürtme yöntemindeki farklılık reçine ve lifin kalıp yüzeyine el ile manüel uygulanmamasıdır. Proses püskürtme tabancasıyla uygun uzunluklarda kesilen lif ve reçinenin kalıba püskürtülmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Prosesin işlem basamakları el yatırma yönteminin proses adımları ile çok benzerlik göstermektedir. Bu yöntemde kalıba ilk önce ajan, daha sonra tek kat jel tabaka uygulanarak sertleşmesi beklenir. Sertleşme tamamlanınca lif reçine karışımı spray tabancası ile püskürtülür [16]. Spray tabancası gelen elyaf şeritlerinin belirlenen uzunluklarda (20-40 mm) keserek lifi reçine/katalizör karışımına sevk eder.



Şekil 1.4. Püskürtme yöntemi [2]

İki çeşit spray tabancası bulunmaktadır. Bunlardan hızlandırıcısı önceden katılmış reçineye özel bir enjektör ile katalizör eklenen katalizör enjeksiyon tabancalarıdır. Diğer tabanca ise çift kap sistemli püskürtme tabancalarıdır. Bu tabanca sisteminde de iki ayrı kapta hazırlanan reçineye birincisinde katalizör ikincisinde ise hızlandırıcı ilave edilir. Bu

iki kaptaki karışım birlikte püskürtüldüğünde tabanca dışında birleşerek kalıba uygulamanın yapılmasını sağlar. Bu karıştırma işlemlerinin tabanca içerisinde yapıyor olması işçi sağlığı açısından da önemlidir.

Sprey tabancaları çalışma prensiplerine göre de ikiye ayrılırlar [14]. Daha kontrollü ve daha az uçucu parçacık yayılımı sağlaması nedeni ile havasız püskürtme yapan sprej tabancaları daha yaygındır. Reçine hidrolik basınçla püskürtülür. Diğer sprej tabancası ise hava püskürtmeli sprej tabancalarıdır. Bu tabancalarda reçineyi püskürtmek için basınçlı hava kullanılmaktadır.

Püskürtme yönteminin avantaj ve kullanım alanları el yatırması yöntemi ile aynı olmasına rağmen maliyet açısından değerlendirilecek olursa püskürtme yöntemi daha avantajlıdır. Çünkü bu yöntemle kullanılan fazla malzemeden tasarruf edilmekte, kullanılacak malzeme daha ucuza mal edilebilmekte, işçilik ve işlem süresi daha düşüktür.

1.4.1.3. Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Sarım Yöntemi / Fiber Yerleştirme)

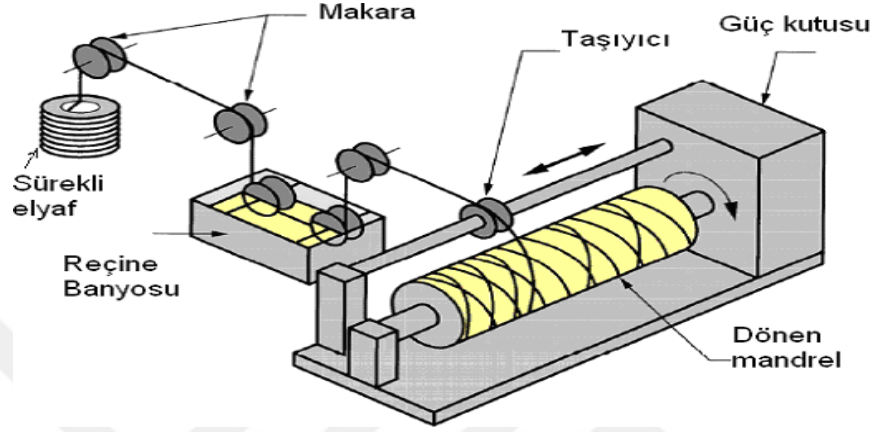
Sarım sırasında veya önceden reçine emdirilmiş sürekli liflerin, üzerine ayırıcı sürülmüş mandreller üzerine tasarımda belirlenen geometriye uygun bir şekilde sarılması yöntemidir. Mandrel sabit hızla dönerken lif dağıtım ünitesi de ileri geri hareket etmek suretiyle istenen sarımın gerçekleşmesini sağlamaktadır. İstenen sarımı elde etmek için boru çapları, mandrel hızı, basınç oranı, lif açısı vs gibi parametreler operatör tarafından girilmektedir [14]. Bu yöntem üstün yüzey kalitesine sahip ürün üretilmesinde devrim niteliğindedir.

Elyaf sarma yönteminin avantajları arasında; üretimin kolay olması, üretim maliyetlerinin avantajlı olması, çok fazla takviye malzemesi ve reçine seçeneğinin olması, termoset ve termoplastik kullanımına imkan sağlaması, oldukça büyük yapıların elde edilmesine olanak sağlaması, elyaf ağının sürekliliği ve ardı ardına sarılan elyafların yüksek mukavemet sağlaması sayılabilmektedir.

Sarım yolunun kolay değiştirilememesi, mandrelin çıkarılabileceği şekilde tasarlanmasının zor olması, kullanılan mandrelin kompleks ve pahalı olması, zayıf bir dış yüzeye sahip olunması ve içbükey malzemelerin üretimine uygun olmaması da dezavantajları arasında yer almaktadır.

Daha iyi kimyasal dayanım istenmesi durumunda genel amaçlı polyesterler yerine izoftalik polyesterler kullanılabilir.

Basınç hortumları gibi yapılarda mandreller çıkarılmaz, yapının bir bileşeni gibi kalır. Çıkarılmayan mandrel kompozitin iç yüzeyinde bir koruyucu görevi yaparak hortum içerisinden basınçlı gaz ve sıvıların sızmasını önlenmiş olur.



Şekil 1.5. Elyaf sarım prosesi düzeneği [13]

Elyaf sarma yöntemi; boru, tanklar, şaftlar, uçak yakıt tankları, silah ve top namluları, gemi/ yat ve teleskobik direkleri, tren vagonları, golf sopaları kullanım alanlarındandır.



Şekil 1.6. Elyaf sarım yöntemi ürünlerine örnekler [17]

Su nakil borusu olarak demir ve beton borulara göre daha hafif olması, pürüzsüz iç yüzeyleri sayesinde suyun hareketi için gerekli enerjinin daha düşük olması nedeni ile elyaf sarım yöntemi ile üretilmiş cam elyaf takviyeli kompozitlerin kullanılması büyük avantaj sağlamaktadır.

1.4.2. Kapalı Kalıplama Yöntemleri

1.4.2.1. Profil Çekme (Pultruzyon) Yöntemi

Bu kalıplama yöntemi 1940 'ların sonundan itibaren iki tür ürün; rijit çubuk ve lamalar; boru, kanal, kiriş gibi endüstriyel profil şekilleri elde etmek amacıyla kullanılmıştır.

Bu yöntem genellikle eş yönlü lifler içeren parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak yaygın olarak E-cam fitiller kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra S-cam, karbon ve aramid lifleri de takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Çift yönlü ve çok yönlü dayanım özelliğini sağlamak için tek veya çok uçlu fitiller ve karbon elyafı, bükümlü fitiller, sürekli keçeler, cam ve karbon elyafından tüller, örgü kumaşlar, dikişli ya da dokunmuş ürünler veya bunların kombinasyonlarından bir / birkaçı tercih edilir.

Bu yöntemde elyaflar iki tür uygulama şekli ile çekilerek belirli kesitte sertleşmesi sağlanır:

1. Çekilecek lifler önceden katalizlenmiş reçine banyosundan geçirilir ve sonra ısıtılmış kalıptan reçine fazlalıkları sıyrılarak çekilir.
2. Elyaf belli bir gerilim ile kuru olarak ısıtılmış kalıptan geçirilir ve kalıp içerisinde reçine enjekte edilir.

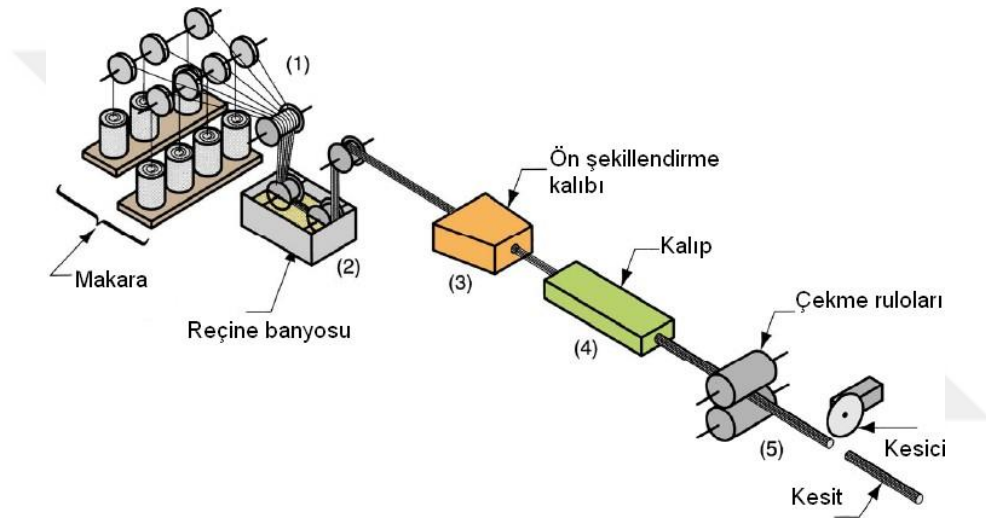
Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirilir ve 120-150 °C 'ye ısıtılan krom kaplanmış çelik şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıbın ne kadar uzun olacağı reçine aktivitesine, parçanın kalınlığına ve üretim miktarına göre belirlenir. Reçinenin aktivasyonu ne kadar fazlaysa kalıbın uzunluk gereksinimi de o kadar azdır. Çıkan parçalar düzgün oldukları için başka bir işlem gerektirmez.

Bu yöntemle şekillendirme kalıpları kullanarak düz kesitlerin yanı sıra profili çekerken şekillendirme imkanı da sağlar.

Sürekli elyaf kullanılması nedeniyle takviye yönünde çok yüksek mukavemet elde edilirken enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumaların kullanılması gerekmektedir.

Profil çekme yöntemi otomatik bir sistem olması nedeniyle çok fazla iş gücü gerektirmemektedir.

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere proseste kullanılan ekipmanlar; takviye elemanlarının saklanması ve dağıtılması için keçe ve fitil sehpaları, takviye malzemesinin ıslatıldığı reçine banyosu, takviye malzemesinin ön şekillendirilmesini ve fazla reçinenin sıyrılmasını sağlayan şekillendirme kılavuzları, kalıp sıcaklığı, kesme hızı, kesme şekli gibi parametrelerin ayarlandığı kontrol paneli ve üretilen profillerin istenen ölçülerde kesilmesi işlemini gerçekleştiren kesme bıçaklarıdır.



Şekil 1.7. Profil çekme yöntemi düzeneği [13]



Şekil 1.8. Profil çekme yöntemi ile cam lifinden üretilmiş ızgaralar [18]

Hafif ve uzun süre dayanımı olan ızgara sistemleri kolay montaj imkanı sağlar. Bu yöntem alüminyum ve termoplastiklerde kullanılan ekstrüzyon yöntemi ile benzerlik göstermektedir.

Profil çekme yönteminde kullanılan en yaygın reçineler doymamış polyester (%90) ve vinil reçinelerdir. Özel amaçlı performans gerektiren parçaların üretiminde epoksiler ve fenolik reçineler kullanılır. Bu yöntemle üretilen parçalara fenolik reçineler parçalara yanmazlık ve düşük duman yayma özelliği; epoksi reçinelerde yüksek mukavemet, yüksek ısı dayanımı elektriksel özelliklerde yüksek performans göstermelerinde etkili olmaktadır. Bu reçinelerin aktivitesinin düşük olması sebebiyle üretimde çekme hızları daha yavaştır. Ayrıca bu reçinelerin işlenmesi de diğer reçinelere kıyasla daha zordur.

Reçine içerisine alev dayanımını, üretim ve yalıtım karakteristiklerini geliştirmek, toplam maliyeti düşürmek için; Kalsiyum Karbonat (parçanın opaklığını artırmak ve maliyeti düşürmek), Alüminyum Trihidrat ve Antimon Trioksit (alev geciktirici olarak), Alüminyum Silikat (yalıtım, opaklık, kimyasal dayanım ve yüzey finish özelliğini artırmak) gibi dolgu malzemeleri eklenir [19].

Katkı malzemeleri de kalıp ayırıcılar, hassas profil sağlayıcılar ve ısıl çekmeyi engelleyen kimyasallardır.

Bu yöntemin avantajları; zaman ve malzemedan tasarruf sağlamaktadır. İşçilik maliyetleri düşüktür. Büyük ebatlardaki parçaların üretimi için uygundur. Otomatik bir sistem olduğu için üretim hızlı yapılabilir. Yatırım maliyeti diğer büyük kapasiteli üretim proseslerine oranla düşüktür. Sürekli bir proses olması nedeni ile istenilen uzunlukta parçanın üretimine imkan tanır. Kullanılan lif-reçine maliyeti prepreg ve kumaşa oranla daha azdır. Tüm bunlar bu prosesi çok ekonomik kılmaktadır.

Bu yöntemin dezavantajları ise; elyafların çekme yönüne yerleştirilmeleri nedeniyle enine mukavemet düşüktür. Reçinelerin kalıba yapışma eğilimi göstermeleri ürün kalitesini etkilemektedir. Reçine kalıp içerisinde uzun süre kaldığı için oluşacak bir hatada müdahale etmek zordur.

Bu yöntem ekonomik oluşu ve hızlı gelişim göstermesiyle havacılık, otomotiv, hafif ve kimyasal dayanımının yüksek olması nedeniyle korozyon sektöründe ve kimyasal

üretim tesislerinde, yüksek ısı yalıtımı sağlaması, düşük genleşme katsayısı ve su sızdırmazlık performansının yüksek olması nedeniyle kompozitten yapılmış kapı ve pencereler inşaat sektörlerinde, yoğun aksenal takviye yüklemesi ile yüksek sertlik değerlerine ulaştığı ve büyük ebatlardaki parçaların üretiminde elverişli olduğu için köprü gövdelerinde, yaya üst geçitlerinde, taşıt köprü platformlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.4.2.2. Reçine Transfer Yöntemi (RTM)

Sıvı kalıplama olarak bilinen bu yöntemle önceden kesilmiş veya şekillendirilmiş takviye malzemelerinin erkek ve dişi kalıplar arasında kapatıldığı bir kapalı kalıplama yöntemidir. Üretim kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle baskı kalıplama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri daha yaygın kullanılırken, bu yöntem lif yönlendirmesinin kontrol altında tutulabilmesi ve neredeyse net şekilli parçaların üretiminin gerçekleştirilmesi açısından öne çıkmaktadır.

Bu yöntemde çoğunlukla sürekli lifler kullanılır ve en belirgin özelliği de iki yüzeyi de düzgün parçaların üretilebilmesidir. Kalıp yüzeylerine jelkot uygulanabilir. Korozyon dayanımı yada daha iyi bir dış yüzey görünümünün istenmesi durumunda tül veya yüzey keçesi kullanılabilir.

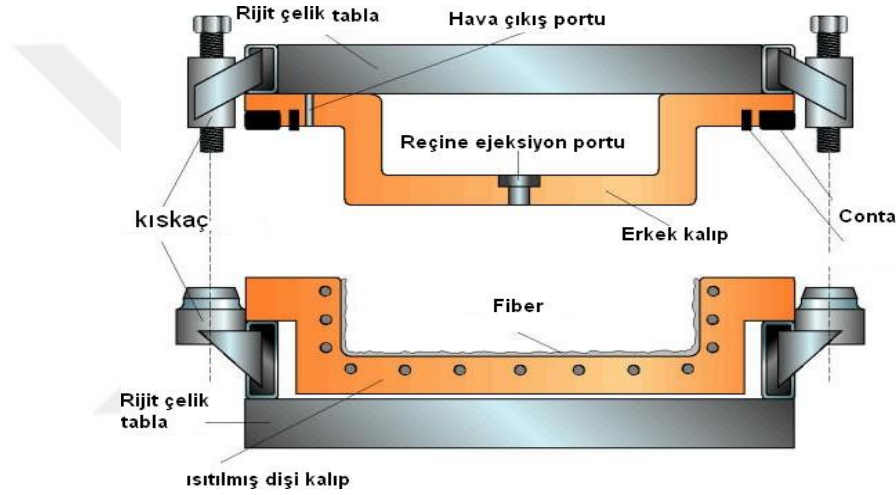
Bu yöntemde ön form olan takviye malzemesi kalıba yerleştirilir. RTM yönteminde yaygın olarak devamlı keçe ve kırılmış demetten ön şekillendirilmiş takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Daha sonra yapının hafif olmasını ve sandviç yapı oluşturarak yapının güçlü olmasını sağlayan öz malzeme kalıp boşluğuna yerleştirilir. Öz malzeme olarak balsa veya köpük kullanılır. Sonra farklı tanklarda depolanan reçine ve katalizör bir karıştırıcıdan geçirilir ve kalıp içerisine hava kabarcıklarını minimize etmek amacıyla aşağıdan yukarıya enjekte edilir. Bu proseste en yaygın olarak epoksi ve doymamış polyester reçineler kullanılır.

Reçinenin enjeksiyon basıncı; reçinenin viskozitesine, kalıbın boyutuna, boşluklu yapının geçirgenliğine, kalıptaki vakuma, kalıp dolun süresi ve reçinenin kür kinetiklerine bağlı olarak değişiklik gösterir (69-690 kPa) [25].

Bu yöntemde oluşabilecek en önemli sorun kalıp içerisinde kuru bölgelerin

kalmasıdır. Bunun önüne geçebilmek için kalıp çevresine sızdırmazlık sağlamak amacıyla conta geçirilir. Hava çıkışı sağlamak ve reçine firesini minimize etmek için contaya yakın yerlerde hava vanaları vardır. Bu hava kanallarına uygulanan vakum ile takviye malzemesindeki hava çıkarılarak düzgün reçine akışı ve kuru bölgelerin elenmesi sağlanır. Aynı zamanda vakum kalıbın hızlı donmasını da sağlar.

Bu proste kullanılan kalıplarda basınç göz önüne alınmalıdır. Kalıp ömrünü ve proses kontrolünü artırmak için üretimin sabit sıcaklıkta gerçekleşmesini sağlayan, ısıtma ve soğutma sistemleri içerecek şekilde tasarlanmalıdır. Kalıpların tam kapatılması için özel kilitleme sistemleri bulunmalıdır [19].



Şekil 1.9. RTM yöntemi [20]

Bu yöntemin avantajları; bir kapalı kalıplama yöntemi olması sebebiyle ortama organik uçucu gaz yayılımı azdır. Kalıplar diğer kapalı kalıplama yöntemlerine göre ucuzdur. Her iki yüzeyi de düzgün parçaların üretimi gerçekleştirilir. Dolgu sistemin maliyetini düşürerek parçaya duman yaymama, alevlenmeme, daha kaliteli yüzey görünümü ve yüksek kırılma dayanımı gibi özellikler katmaktadır.

Bu yöntemin dezavantajları ise; kalıplama maliyetleri, orta ölçekli bir üretim yöntemi olması, kalıpların tasarlanması ve üretimi, enjeksiyon basıncının ayarlanabilmesi, kilit ve conta sistemi ele alındığında biraz daha karmaşık bir hal almasıdır.

1.4.2.3. Yapısal Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama Prosesi (SRIM)

Reçine transfer yöntemine benzetmekle birlikte kullanılan reçine ve enjeksiyon

karıştırma yöntemleri farklılık göstermektedir. Bu yöntemde iki reçine bir kamarada yüksek devirde karıştırılarak kalıp içerisine basılmaktadır. Kalıp belli bir sıcaklığa ısıtılarak kür hızı artırılabilir. Kullanılan reçine çok yoğun kullanımı olan düşük viskoziteli poliizosiyaüretattır [19].

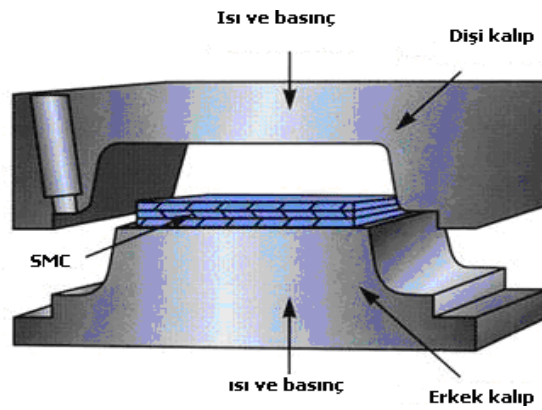
Otomotiv sanayi gibi düşük maliyetin yanı sıra yüksek hacimde üretimin gerekli olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Tamponda, göğüs panelleri, pikapların taşıyıcı kısımları gibi [19].

1.4.2.4. Baskı Kalıplama Yöntemi

Bu yöntemde dişi-erkek kalıp kullanılır. Çelikten yapılan kalıp preslenecek parçanın yüzey kalitesini artırmak amacıyla krom ve nikel kaplanır. Hazırlanmış olan baskı kalıplama maddeleri ısıtılmış kalıbın arasına yerleştirilir. Kalıp belli bir basınçta kapatılır ve böylece dolgu malzemesine istenen şekil verilmiş olur. Bu yöntem üretim kapasitesinin yüksek olmasının gerektiği yerlerde yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu yöntemin en önemli avantajı, ikincil bir işleme gerek kalmadan tek işleme delik, flanş ve doğrusal olmayan kalınlıkların üretilebiliyor olmasıdır.

Mekanik özellikler optimize edilirken kaliteli bir yüzey için gerekli olan %30 lif oranı sınırı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 1.10. SMC hazır kalıplama bileşeni ile baskı kalıplama [21]

Kalıbın hareketi ile birlikte malzeme kalıp boşluğuna yayılır ve içerisindeki havada dışarı çıkar.

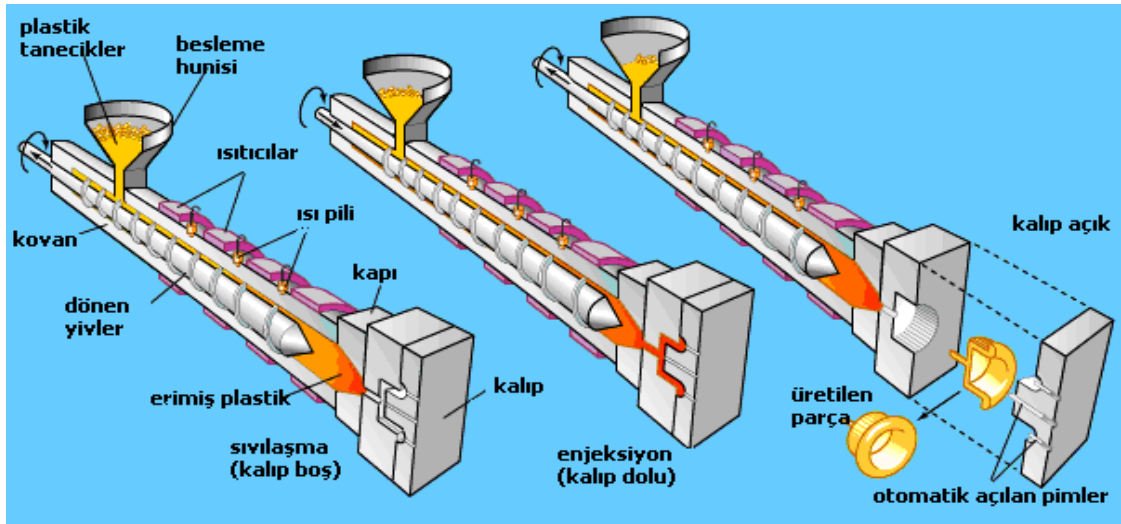
Bu yöntemle RTM ve Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen parçalardan daha ince parçalar üretilir.

Tabaka kalıp bileşeni (SCM); reçine, takviye malzemeleri, dolgu malzemeleri, kalıp ayırıcılar, katalizörler, kimyasal kalınlaştırıcılar ve raf ömrünü artıran diğer katkıların bütünleştirildiği kalıplama bileşenidir. Plaka halindeki çeliğin kompozit versiyonudur [14].

Bu yöntem otomotiv, elektrik elektronik ve ev aletlerinde kullanılır. Örnek verecek olursak; radyatör destekleri, ağır taşıtların sürücü kabinleri, cephe lambaları sıralanabilir.

1.4.2.5. Enjeksiyon Kalıplama

Bu yöntemde granül halindeki termoplastik reçine, ısıtılmış metal silindirin ucuna besleme hunisi yardımıyla beslenir. Metal silindirin içerisindeki burğu yivler dönerek reçinenin sıcak silindirin içerisine alınan reçine sıcaklığın etkisi ile yarı akışkan hale gelir. Yivlerin dönme hareketi esnasında silindirde ileri geri hareket ederek reçinenin çift taraflı kalıba enjekte edilmesini sağlar. Ayrıca silindirin ileri geri hareketi; reçinenin şekillendirilmesine ve miktarının ölçülmesine, enjeksiyon sırasında kalıbı basınç altında tutmaya ve soğutmadan sonra parçanın kalıptan çıkmasını sağlamaktadır. Prosesin şekillendirilmiş hali aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.11. Enjeksiyon kalıplama basamakları [22]

Bu yöntemde yaygın olarak termoplastikler kullanılsa da termoset uygulamalarında da başarılıdır.



Şekil 1.12. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş parça örnekleri [23]

İki yüzeyi de düzgün parçalar elde etmek için çift taraflı (dişili-erkekli) çelik kalıp kullanılmaktadır. Parçanın kalıbın şeklini alarak sertleşmesi için kalıp erimiş plastiğin işlenebileceği sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklığa ısıtılır.

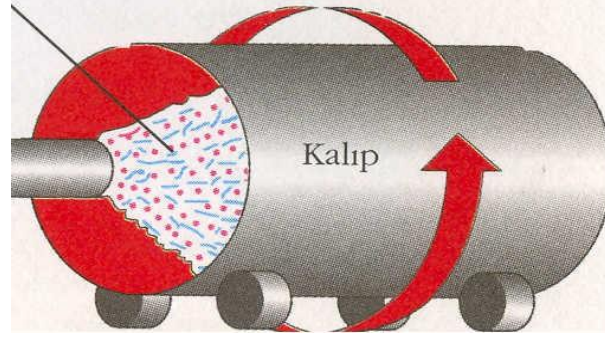
1.4.2.6. Savurma Döküm (Santrifüj) Kalıplama

Bu yöntem silindirik parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Kırpılmış matlar reçine ile birlikte içi boş kalıp içine püskürtülür. Yüksek çevresel hız ile dönen kalıpta meydana gelen merkezkaç kuvvetinin etkisi ile takviye elemanı reçine ile temas ederek ıslanır ve yine kuvvetin etkisi ile laminanın kalıbın yüzeyine yapışması sağlanır. Bu yöntemle her iki yüzü de düzgün ürünler elde edilir ama genel olarak üretilen parçanın kalıp iç yüzeyinde temas eden dış yüzeyi düzgün olan yüzeyi temsil etmektedir.

Eğer üretilen parçanın kimyasal dayanımı arttırılmak istenir ise iç yüzeyine ince bir tabaka halinde sağ reçine püskürtülebilir.

Bu yöntemde kalıp; üretilen parça istenen şekli aldığı anda su veya soğutma sıvısı püskürtülerek, kalıp yarımaları içerisine açılan soğutma kanallardan gönderilen sıvı veya basınçlı hava tutularak soğutulmaktadır.

Üretilen parçaların dış yüzey kalitesinin iyi olması, çıkan organik gazların kontrol edilebilmesi bu yöntemin avantajları arasında yer alırken; büyük boyutlu parçaların üretiminde sorun yaşanması ve iç yüzeye tül uygulama zorunluluğu da dezavantajları arasındadır.



Şekil 1.13. Santrifüj kalıplama düzeneği [14]

1.4.2.7. Vakum Torbası / Otoklav Prosesi

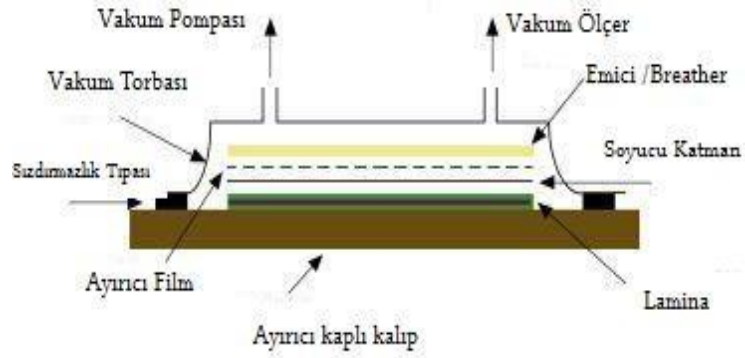
İleri teknoloji kompozit malzemelere olan talep özel kalıplama yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır.

Bu yöntemin el yatırması yöntemi ile benzerlikleri çok fazladır. El yatırması yöntemi ile en belirgin farkı ise bu yöntemde basınç uygulanmasıdır. Bu yöntem özel ve performansın kritik olduğu durumlarda kullanılır. Termoset kompozitlerin performansını artırmak için elyaf/reçine oranı artırılmalı ve hava boşlukları tamamen giderilmelidir. Hava boşluklarının kalmaması da ancak yüksek basınç ve ısı uygulanarak gerçekleştirilebilir.

Otoklav yöntemindeki gibi karmaşık yapıları şekillerde en kontrollü yöntem, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Bu kalıplama yöntemlerinde ıslak sistemler ve prepregler kullanılır. Islak sistemlerde takviye malzemesi olarak kullanılan keçe veya dokunmuş fitile sıvı reçine uygulanır ve sonrasında kolay şekillenen bir film tabakası üzerine yerleştirilerek parçanın çevresinde kalıba yapıştırılır. Prepreg kullanıldığı durumlarda ise takviye malzemesi elle kalıba yerleştirilir ve sonrasında plastik film kaplanır. Sonrasında vakum uygulanarak filmin atmosfer basıncı altında kalması sağlanır. Ayrıca sertleşmeyi hızlandırmak amacıyla ısı uygulanır.

Vakum torbası yönteminde ise kalıp ve yüzey arasında kalan hava vakumlanır.



Şekil 1.14. Vakum torba kalıplama [14]



Resim 1.6. Otoklav resimleri [24]

Bu yöntemin avantajları arasında yüksek mukavemet, küçük büyük bütün parçalara uygunluk, basınç ve ısı kontrollü olması sayılabilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Jang ve Han (1999), cam elyaf miktarı çoğaldıkça eğilme modülü değerlerinin arttığı böylece elyaf içeriğine bağlı olarak eğilme modülü değerinin yaklaşık lineer bir artış gösterdiğini belirlemiştir [33].

Lee ve Jang (1999), %10, %20 ve %30 oranında fiber içeriğine sahip cam elyaf keçe/polipropilen kompozit malzemelerin çekme ve eğme dayanımlarını incelemişler, fiber içeriği arttıkça çekme ve eğme modüllerinin lineer bir artış gösterdiğini saptamışlardır [34].

Yazıcı ve Ülkü (2003), iki boyutlu rastgele dağılı e-cam lifi/polyester matris kompozitlerde yükleme hızının mukavemet üzerine etkisini incelemişlerdir. Tabakalı yapılarda tabakalar arası bölgede kompozit mukavemetinin olması gerektiğinden daha düşük değerlerde olmasına neden olduğunu saptamışlardır [32].

Calvin (2003), yaptığı yüksek lisans çalışmasında fiber takviyeli plastik (FRP) ile lamine edilen levhaların burulmasını araştırmıştır. Bir FRP lamine levha burulma yükünün en boy oranına, laminasyon şekline, laminasyondaki fiber yönlenmelerine, laminasyon kalınlığına bağlı olduğunu bildirerek lamine plakaların burulma yükünü Ansys sonlu elemanlar yazılımı ile incelemiştir. Bütün kenarlardaki en iyi elyaf yönlenmelerinin +45 derecede olduğu tespit edilmiştir [41].

Eng ve Mariatti (2006), farklı kat sayısında ve farklı gramajlarda dokuma kumaş kullanılmasının, dokuma kumaş/epoksi reçine kombinasyonundan oluşan kompozit yapıların özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, 50, 150 ve 200 g/m² yoğunluklarında cam elyaftan oluşan dokuma kumaş kullanılmış ve eğilme, termal ve fiziksel özellikler incelenmiştir. Sonuç olarak, lif içeriğinin yani gramajın artmasıyla eğilme mukavemeti ve eğilme modülünün arttığı ancak termal genleşme katsayısının azaldığı görülmüştür. Bunun nedeninin, daha fazla lifin sisteme uygulanan kuvvetleri paylaşabildiği ve zayıf noktalar olan iplik kesişim noktalarının azalması olduğu açıklanmıştır. Ayrıca sistemde kullanılan kumaş katsayısı arttıkça eğilme mukavemeti ve modülünün yine arttığı görülmüştür [39].

Sarıbıyık vd. (2009), tarafından yapılan çalışmada elyaf hacim oranları farklı dokuz çeşit malzeme ile elyaf hacim oranlarının CTP profillerinin mekanik özelliklerine etkileri araştırılmış, ulusal ve uluslar arası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda belirlenmiş. Deney 6 sonuçlarında malzemenin maksimum çekme gerilmesi, elastisite modülü, Poisson oranı ve yüzde uzamaları tespit edilmiştir. Elyaf hacim oranına bağlı olarak malzeme mekanik özelliklerinin arttığı ve nümerik hesaplarla elyaf hacim oranının değiştirilmesi suretiyle istenilen mekanik özelliklerde malzeme üretilebileceği tespit edilmiştir [40].

Mustafa Uğur CAN ve Telem GÖK SADIKOĞLU (2009), çocuk yuvalarının duvar kaplamasında kullanılabilecek nonwoven tekstil malzemelerinden oluşan, koruyucu özellikte kompozit bir duvar kaplaması tasarlamışlardır. Buradaki amaç çocukların duvara çarpmaları durumunda yaralanmaları önlemektir. Ayrıca tekstil döküntüsü içeren nonwoven kumaşlar için yeni bir uygulama alanı yaratılmaya çalışılmıştır. Üç katlı yapıda tasarlanan duvar kaplaması ve bu katlarda kullanılmak üzere farklı tiplerde nonwoven tekstil malzemeleri seçmişlerdir. Seçilen malzemelere kopma mukavemeti, yanma, basma dayanımı, yırtılma mukavemeti deneyleri uygulamışlardır. Bu deneylerin sonuçlarına göre tasarlanan duvar kaplaması için en uygun kombinasyon olan; malzemenin alt katının iğnelenmiş sert keçe (seçilen malzeme %100 PET elyaf içeren iğnelenmiş ve ısı sabitleştirilmiş keçedir), orta kat 1000 g/m² ve %35/10/35/20 akrilik/yün/pamuk/polipropilen, üst kat ise spunbond poliester kumaştan oluşturulmuştur. Çalışmanın neticesinde anaokulları için tasarlanan bu duvar kaplamasında kullanılacak kumaşların içerdiği tekstil döküntülerinin kaynağının belli olduğu fabrika döküntüleri olması gerektiğini vurgulayarak daha sonra dönüştürülmüş elyaf kullanmanın sakıncalı olduğu kanısına varmışlardır [38].

Uysal (2013), endüstride kullanılan türbin kanat malzemelerinden seçilen cam fiber keçe takviyeli kompozit malzemelerin çekme karakteristiklerini incelemişler ve cam fiber keçe miktarı arttırıldıkça, üretilen kompozit malzemelerin matris malzemesinden bağımsız olarak dayanım değerlerinin arttığını belirlemişlerdir [35].

Türkmen ve Köksal (2013), el yatırması yöntemi ile üretmiş oldukları, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitler üzerinde üç nokta eğme, çekme ve darbe testleri yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre,

elyaf katman sayısına bağlı olarak kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Darbe test sonuçlarına göre ise katman sayısındaki artış ile birlikte malzemelerin absorbe ettiği enerji değerlerinin de arttığı görülmüştür [36].

Sakin ve Daban (2015) alışmalarında, kompozit plakalarda cam-dokuma tipi, istifleme sırası ve tabaka sayısı gibi parametrelerin mekanik özelliklere olan etkisini araştırmışlardır. Kompozit plakaları vakum destekli reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilmiş olan kompozit plakalar üzerinde çekme ve üç nokta eğme gibi temel mekanik testler yapmışlardır. Sonuç olarak, istifleme sırasında reçine geçirgenliği en düşük olan 200 gr/m² cam dokumaların merkezde bulunmasının çekme mukavemetini düşürürken eğilme mukavemetini artırdığını, test sonuçlarının, cam-dokuma tipinin yanı sıra, reçine geçirgenliği, istifleme sırası ve tabaka sayısından da etkilendiğini belirtmişlerdir [37].

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Pul-Tech FRP firmasının AR-GE laboratuvarında El Yatırması yöntemi ile imal edilen kompozit plakaların üretiminde aşağıda temel özellikleri verilen materyaller kullanılmıştır.

3.1.1. Reçine

İLKALEM Ticaret ve Sanayi Anonim Şirketin 'den temin edilen IR-100 P polyester kullanılmıştır.

IR-100 P polyester izoftalik esaslı, asidik ortamlara dayanıklı doymamış polyester reçinedir.

Başlıca otomobil, otobüs ve kamyon parçaları, deniz taşıtları, modüler kabin, inşaat malzemeleri, kimyasal dayanımlı depolama tankları, nakil boruları üretiminde kullanılmaktadır. IR-100 P polyester; CTP el yatırması, fitil sarma, püskürtme yöntemleriyle ürün almak için hazırlanmıştır. Yapısı, yüksek mekanik dayanım gösterecek şekilde özel olarak tasarlanmıştır, cam elyafını çabuk ve iyi ıslatacak uygun viskoziteye sahiptir. Isıya ve kimyasal ortamlara karşı yüksek dayanım göstermektedir.

IR-100 P polyesterin mekanik özellikleri Çizelge 3.1. ve 3.2. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sıvı haldeki polyester reçine özellikleri [25]

SIVI HALDEKİ ÖZELLİKLERİ			
Analiz Türü	Birim	Test metodu	Değer
Yoğunluk, 20°C	g/cm ³	ISO 1675	1,10 - 1,11
Viskozite (20°C) Brookfield RVT, 20 rpm #2	cps	ISO 2555	350 - 450
Monomer oranı	%	ISO 3251	36 - 38
Asit sayısı	mgKOH/g	ISO 2114	11 - 20
Jelleşme zamanı	dakika	İLKALEM TL-06	25 - 35 (*)
Ekzotermik ısınma	°C	İLKALEM TL-06	180 - 200 (*)

Çizelge 3.2. Sertleşmiş polyester reçine özellikleri [25]

SERTLEŞMİŞ REÇİNEİNİN ÖZELLİKLERİ				
Analiz Türü	Birim	Test metodu	Saf Reçine	Cam Elyaf Takviyeli Reçine
Çekme Mukavemeti	MPa	ISO 527	60 – 70	110 – 120
Çekmedeki Uzama	%	ISO 527	1 – 2	4 – 5
Çekme Modülü	MPa	ISO 527	4000 - 5000	10000 – 12000
Eğilme Mukavemeti	MPa	ISO 178	100 - 120	200 – 210
Eğilmedeki Uzama	%	ISO 178	2 – 3	5 – 6
Eğilme Modülü	MPa	ISO 178	4000 - 5000	9000 – 10000
Isı Altında Deformasyon Sıcaklığı	°C	ISO 75	81 - 85	
Sertlik (GYZJ 934-1)	-	DIN EN 59	40 - 42	
Su absorpsiyon Oranı	mg	ISO 62	37 - 39	
(*) : % 1Co(%1) +%1 MEK-P Polyester sıcaklığı :20°C Ortam sıcaklığı : 25°C (**) : Testler post kuruşlemeden sonra yapılmıştır.				

3.1.2. Hızlandırıcı (Katalizör)

Hızlandırıcı olarak İLKALEM Ticaret ve Sanayi Anonim Şirketin 'den temin edilen Cobalt (%6'lık) kullanılmıştır.

3.1.3. Sertleştirici

Sertleştirici olarak Poliya Poliester ve Yardımcı Maddeleri Sanayi'den temin edilen MEK-PEROXIDE (MethylEthylKetonePeroxide) kullanılmıştır.

Kullanılacak hızlandırıcı (Cobalt), sertleştirici (MEK-P) ve diğer katkı maddeleri için firmalar tam ve kesin değerler belirlememektedir. Çünkü uygulamalarda el yatırması metodu ile kalıplama yapılırken değişik polyester hazırlama formülasyonu kullanılabilir. En uygun formülasyon, kalıplama koşullarına bağlı olarak, deneme yanılma metodu ile üretici tarafından saptanmalıdır [12].

3.1.4. Kalıp Ayırıcı

Kalıp ayırıcı olarak İLKALEM Ticaret ve Sanayi Anonim Şirketin 'den temin edilen İLKESTER Vaks A-20 (Krem Vaks) kullanılmıştır.

3.1.5. Cam Elyaf

Takviye malzemesi olarak, Mat8-450 gr/m²kırpılmış keçeler ve 500 gr/m² "lik cam dokuma elyaflar Plasto Plastik Ltd. Şti. 'den temin edilmiştir. MAT8 keçeleri genel amaçlı el yatırması uygulamaları için "E" cam elyafından geliştirilmiştir. Elyafların cinsi "E" camı elyafıdır.

Çizelge 3.3. Cam elyaf özellikleri [26]

Ürün Kodu	Birim Alan Ağırlığı (gr/m ²)	Fital Numarası		Sıklık Adet / 10 cm	
		Atkı Numarası (tex)	Çözümlü Numarası (tex)	Atkı Sayısı	Çözümlü Sayısı
CD 125-500	500	1200	1200	19	22

3.1.6. Core SP

Kalınlığı arttırmak için takviye elemanı olarak, Core SP 3 mm / 90 gr/m² (dokunmamış kumaş) Koloğlu Kimya Sanayi ve İnşaat Ticaret Ltd. Şti. 'den temin edilmiştir. Core SP termoplastik mikrokürelerin gömülmesiyle hacim kazandırılan polyester dokusundan yapılmış bir çekirdek malzemesidir. Core SP tek bir katman olduğundan dikişe gerek yoktur. Hem kuru hem de ıslak durumda gerilebilir ve kaydırılabilir, uzunlamasına ve çaprazlama yatırılabilir. Bu nedenle, karmaşık bileşen geometrisinin parçalarını yapmak için çok uygundur. Esas olarak el döşeme işleminde kullanılır, ancak yüzey infüzyonu ve ıslak presleme için de kullanılabilir bir takviye elemanıdır.

3.1.7. Poliester İğnelenmiş Keçe

Geçtiğimiz yirmi yılda termoplastik poliesterlerin en önemlilerinden biri olan ve poliester olarak adlandırılan PET (polietilen teraftalat) üretim maliyetlerinin düşük olması, hafif olması, ucuz olması ve stoklanabilmesi çok sık kullanılan mühendislik polimerlerinden biri olmasını sağlamıştır [27].

Dialkol ve dikorboksilli asidin kondenzasyonu sonucunda oluşan, yapısında çok fazla tekrarlanan ester bağları olan bir polimer olan poliester; yüksek çekme ve darbe dayanımı, işlenebilir olması, kimyasal dayanımı, termal stabilitesinden dolayı şişelerde, kalıplamada, levha yapımında ve lif eldesinde kullanılmaktadır [27].

Poliester lifi mikroskop ile incelendiğinde boyuna yüzey görüntüsü pürüzsüz, parlak camsı çubuk şeklinde, enine kesit görüntüsü ile genellikle dairesel olmasının yanı sıra beraber geçirildiği düze deliğinin kesit şekline göre üçgen, yıldız gibi değişik şekillerde de olabilmektedir. Lifi özgül ağırlığı 1,35-1,45 g/cm³ arasında, kopma dayanımında ortalama olarak 4,5-5,5 g/denye'dir. Erime noktaları 255-260 °C aralığındadır [29].

Bu çalışma kapsamında kullanılan ve şişelerin mekanik yolla geri dönüştürülüp yeniden eriyikten çekme yöntemi ile elde edilmiş rPET kullanılmıştır [30] ve Çizelge 3.4. 'de rPET lifinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan rPET lifinin özellikleri

İncelik	Uzunluk	Kopma Kuvveti	Kopma Uzaması	Kıvrım Sayısı
6 denye	64 mm	3,50 cN/dtex	%78,6	4 kıvrım/cm

Çalışmada ara katman olarak 100, 150 ve 200 g/m² ağırlıklarda olacak şekilde 3 farklı tipte üretilmiş poliester iğnelenmiş keçeler kullanılmıştır. Kullanılan poliester iğnelenmiş keçeler ön iğneleme yoğunluk değeri 10 218 iğneleme sayısı/m² olacak şekilde hızı 300 d/dk olan iğneleme tezgâhında üretilmiştir.

3.1.8. Polipropilen İğnelenmiş Keçe

Polipropilen lifleri, petrolden elde edilen propilen gazının Ziegler-Natta katalizi yöntemi ile polimerizasyonu sonucu elde edilen termoplastik bir polimerdir [29]. Polipropilen lifi endüstriyel olarak 1957 yılında “Meraklon” ismi ile İtalya ‘da üretilmeye başlanmış, 1960 ‘lı yıllarda stapel lifleri üretilmiş ve 1970 ‘li yıllardan sonra da liflerin üretimi yaygınlaşmıştır [31].

Polipropilen genellikle granül (cips) haline dönüştürülmüş şekilde lif çekimi için uygun halde ambalajlanır. Cips üretimi esnasında veya öncesinde polimer maddeye çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek polimer lifi üretimine hazırlanır. Polipropilen liflerde diğer termoplastik liflerde olduğu gibi eriyikten çekme yöntemi ile üretilmektedirler. Polimerin çeşitli yöntemler ile eritilmesi sonucunda kesikli lifler, filmler, monofilament ve multifilament iplikler elde edilmektedir [28,29].

Beyaz, yarı kristalin bir polimer olan polipropilen lifleri mikroskop ile incelendiğinde boyuna yüzey görüntüsünde lif yüzeyinin düz ve pürüzsüz, enine kesitlerine bakıldığında ise yaygın olarak kullanılan düze delik şekli yuvarlak görülmekle beraber üçgen, oyuklu vb. şekillerde kesitlerde görülmektedir. Polimer liflerin erime noktası 165-175 °C civarında özgül ağırlıkları ise 0,90-0,95 g/cm³ arasındadır. Kimyasal dayanımının iyi olması birçok teknik tekstil uygulamasında avantaj sağlamaktadır [30]. Çizelge 3.5. ‘de bu çalışma kapsamında kullanılan PP lifinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan PP lifin özellikleri

İncelik	Uzunluk	Kopma Kuvveti	Kopma Uzaması	Kıvrım Sayısı
6 denye	64 mm	4,31 cN/dtex	%92	6 kıvrım/cm

Çalışmada ara katman olarak 100, 150 ve 200 g/m² ağırlıklarda olacak şekilde 3 farklı tipte üretilmiş polipropilen iğnelenmiş keçeler kullanılmıştır. Kullanılan polipropilen iğnelenmiş keçeler ön iğneleme yoğunluk değeri 10 218 iğneleme sayısı/m² olacak şekilde hızı 300 d/dk olan iğneleme tezgâhında üretilmiştir.

3.2. Metot

Kompozit plakaların üretiminde Bölüm 1.4.1.1’de anlatılmış olan El Yatırması yöntemi kullanılmıştır. Plakalar Pultech FRP Kompozit Yapı Teknolojileri İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasının imkânları kullanılarak imal edilmiştir.

Bu yöntemde tabakaları yatırma işlemini yapan(tabakalama) kişinin el becerisine bağlı olduğundan dolayı parametreleri sabit tutmak için plakalar aynı kişi tarafından ve aynı ortam şartlarında (25°C) üretilmiştir.

Çizelge 3.6. Kompozit plakaların tabaka sıralaması

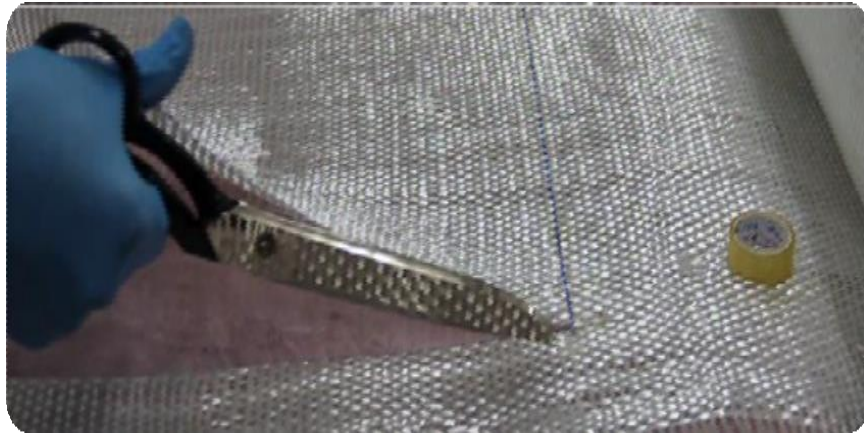
Grup Kodu	Tabaka Sıralaması				
	1.Kat	2.Kat	3.Kat	4.Kat	5.Kat
A	Cam Keçe	Cam Dokuma	Cam Keçe	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	450gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²
B*	Cam Keçe	Cam Dokuma	Core SP	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	90 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²
C	Cam Keçe	Cam Dokuma	PP 100	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	100 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²
D	Cam Keçe	Cam Dokuma	PP 150	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	150 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²
E	Cam Keçe	Cam Dokuma	PP 200	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	200 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²

F	Cam Keçe	Cam Dokuma	PES 100	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	100 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²
G	Cam Keçe	Cam Dokuma	PES 150	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	150 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²
H	Cam Keçe	Cam Dokuma	PES 200	Cam Dokuma	Cam Keçe
	450 gr/m ²	500 gr/m ²	200 gr/m ²	500 gr/m ²	450 gr/m ²

Grup A'nın üretim maliyetini düşürmek için kompozit sanayisindeki el yatırması uygulamalarında Grup B konfigürasyonu kullanılmaktadır. Bu çalışmada C-D-E-F-G-H grupları, B grubuna fiyat ve mekanik dayanım alternatifi ve iyileştirmesi amaçlı seçilmiştir. Ayrıca seçilen ürünler geri dönüşüm malzemeleri olduğundan çevre dostu olma niteliği de taşımaktadır.

3.2.1. El Yatırması Yöntemi ile Plaka İmalatı

- Cam dokuma kumaşlar, 50x50 cm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır (Resim 3.1)



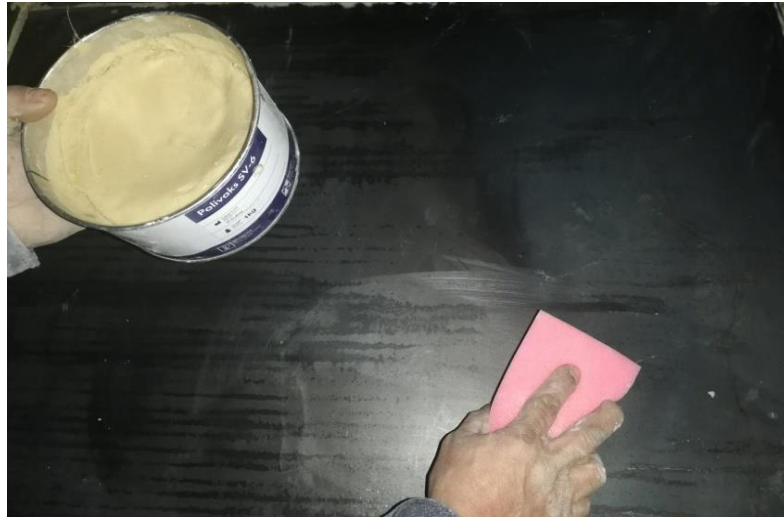
Resim 3.1. Dokuma elyafların kesimi

- Cam keçeler, 50x50 cm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır (Resim 3.2)



Resim 3.2. Kesilmiş cam keçeler

- Kalıp yüzeyi asetonla temizlenmiştir.
- Alt ve üst kalıbın iç kısımlarına yeterli miktarda Polivaks kalıp ayırıcı sürülmüş ve bir süre beklendikten sonra kalıp ayırıcının fazlalıkları temiz bir bez ile silinerek parlatılmıştır (Resim 3.3)



Resim 3.3. Kalıp ayırıcı sürülmesi

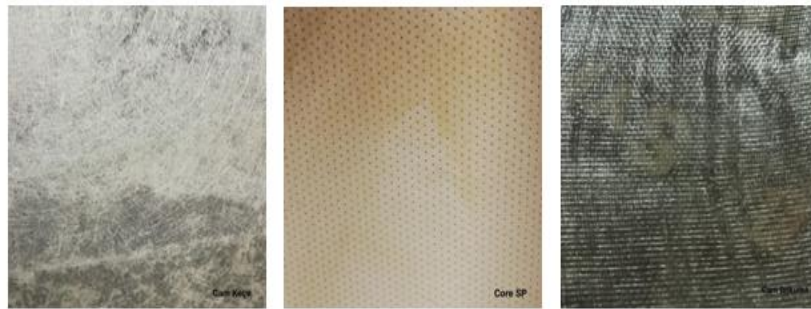
- Her uygulama için, 1 kg polyester reçine içerisine % 1 oranında cobalt (% 6 'lık) hızlandırıcısı katılarak karışım iyice karıştırılmıştır.

- Polyester+cobalt karışımına % 0,2 oranında MEK-P sertleştirici karıştırılmıştır ve karışım hava kabarcıklarının azalması için yaklaşık 10 dk dinlendirilmiştir. (Resim 3.4)



Resim 3.4. Polyester reçinenin hazırlanışı

- Çizelge 3.6 'da belirtilen her tabakaya rulo fırça yardımıyla polyester reçine karışımı uygulanıp, hava boşluğu kalmaması için ezme rulosuyla üzerinden geçildikten sonra diğer tabakaya geçilmiş ve istenilen tabaka sayısı elde edilene kadar bu işlem devam ettirilmiştir.
- Daha önceden kesilerek hazırlanmış olan Cam Keçe, Core SP ve Cam Dokuma elyaflar oryantasyon açısı 0/90° derece, İğnelenmiş Keçe Kumaşların iğne yönleri de 0° derece olacak şekilde Çizelge 3.6 'daki tabaka sıralamasına göre imal edilmiştir. (Resim 3.5).



Resim 3.5. Uygulama resimleri

- İmal edilen kompozit plakalar kürleşmesini tamamlaması için 24 saat bekletilmiştir. (Resim 3.6.)



Resim 3.6. Kompozit plakalar

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Kompozit malzemelerin davranışı hakkındaki bilgilere deneysel gözlemler sonucu ulaşılmaktadır. Bu bölümde de elyaf tabakalı kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden bahsedilmiştir. Kompozitlerin malzeme özellikleri, hasar şekilleri gibi karakteristik özellikleri nedeni ile metalik malzemelere uygulanan birçok test kompozitler için uygulanamayabilir. Bundan dolayıdır ki bu malzemeler için Amerikan Test ve Malzeme Şirketi (ASTM) tarafından kabul görmüş standartlara uygun olarak test metotları geliştirilmiştir [9].

4.1.1. Tabakalı Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kompozit numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme ve eğilme testleri, Pultech FRP Kompozit Yapı Teknolojileri İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasının Mekanik Laboratuvarında Resim 7.1'deki 50 kN yük kapasiteli UTEST marka Bilgisayar Kontrollü Elektromekanik Test cihazında yapılmıştır. (Resim 4.1.)

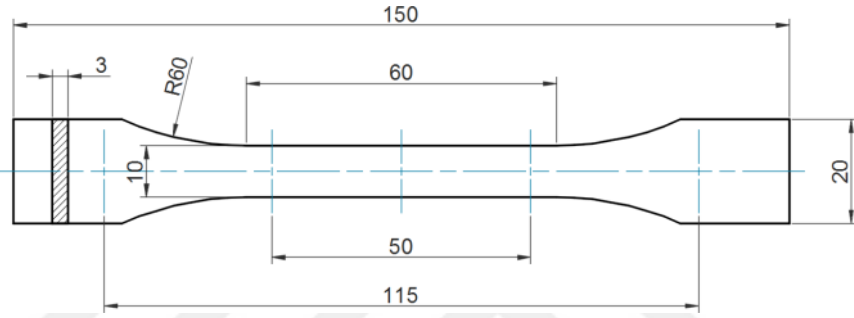


Resim 4.1. UTEST test cihazı

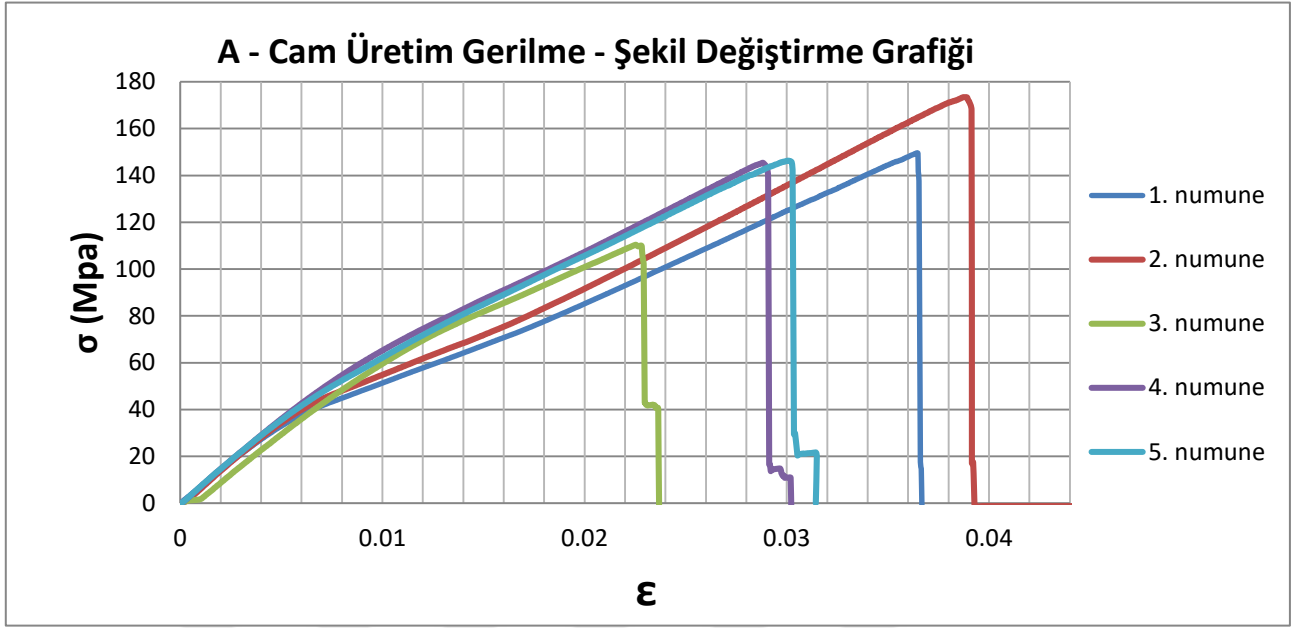
4.1.1.1. Tabakalı Kompozit Malzemenin Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi

Çizelge 3.6 'da gösterilen 3.tabaka sırasında yer alan belirleyici özellikteki takviye elemanlarının farklılığından dolayı plakalarda yapısal değişiklikler olmuştur. Üretilen

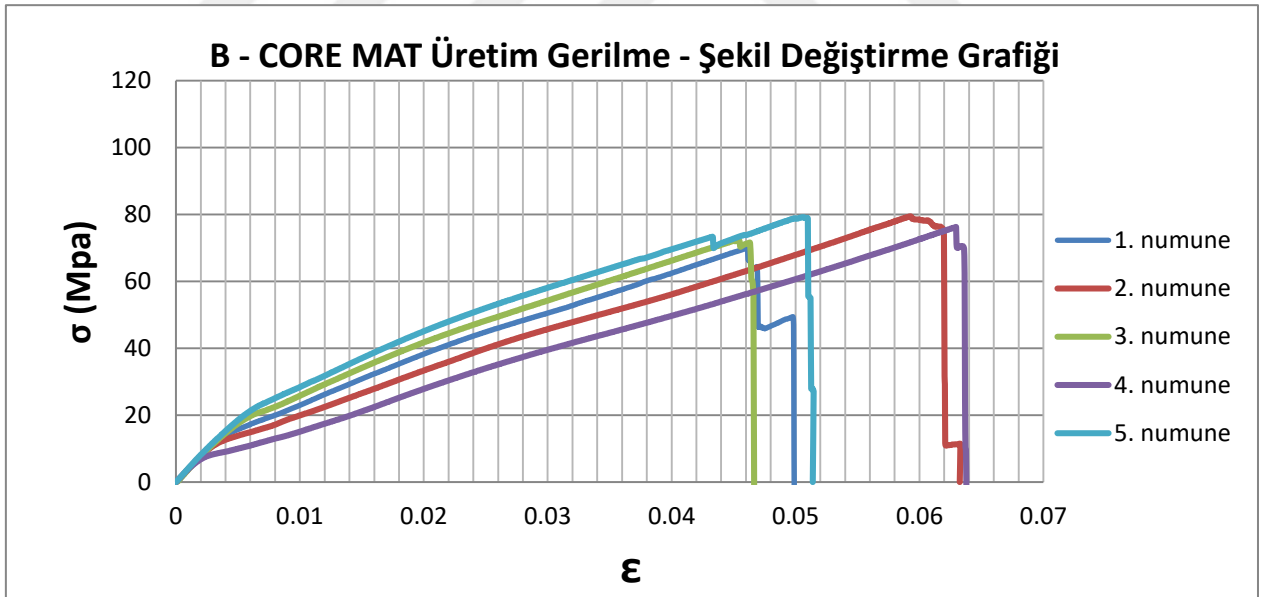
plakalardaki yapı değişikliğinden kaynaklanan mekanik özelliklerin değişimi ve mekanik testler sonucunda numunelerde oluşacak hasarları belirlemek amacıyla öncelikle çekme testleri yapılmıştır. Çekme testi için TS EN ISO 527-4 standardında belirtilen Şekil 4.1 'deki ölçülerde kesilerek toplam 70 adet test numunesi hazırlanmıştır. Çekme testleri, standarda uygun olarak 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi her numune tipi için 5 kez tekrarlanmış olup, ortalama değer çekme dayanımı olarak kabul edilmiştir. Her numune grubu için çekme dayanımı sonuç grafikleri bilgisayar yazılımı aracılığı ile Şekil 4.2 – 4.15 'de verilmiştir.



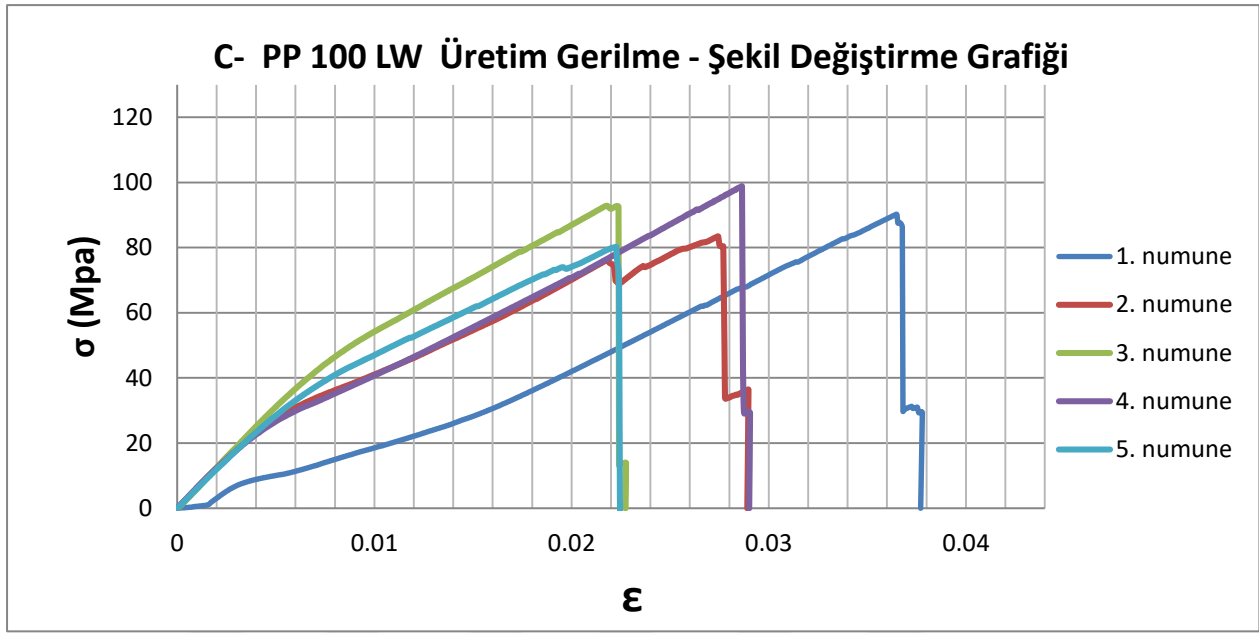
Şekil 4.1. Çekme numunesi ve ölçüleri.



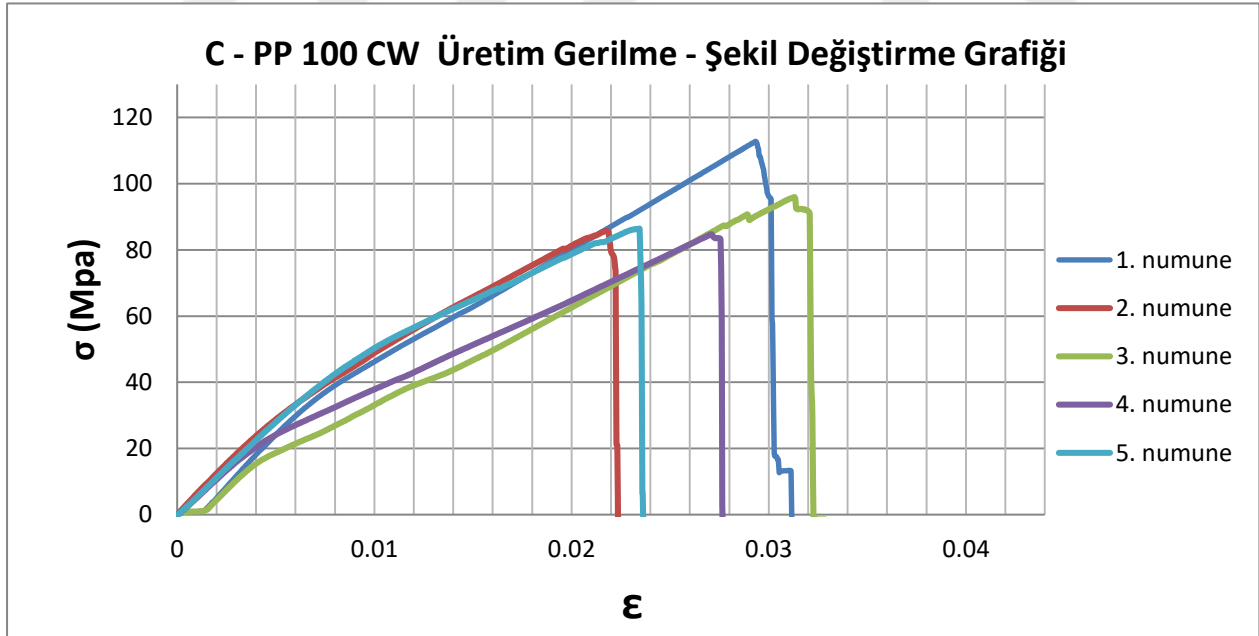
Şekil 4.2. A numunesi çekme testi.



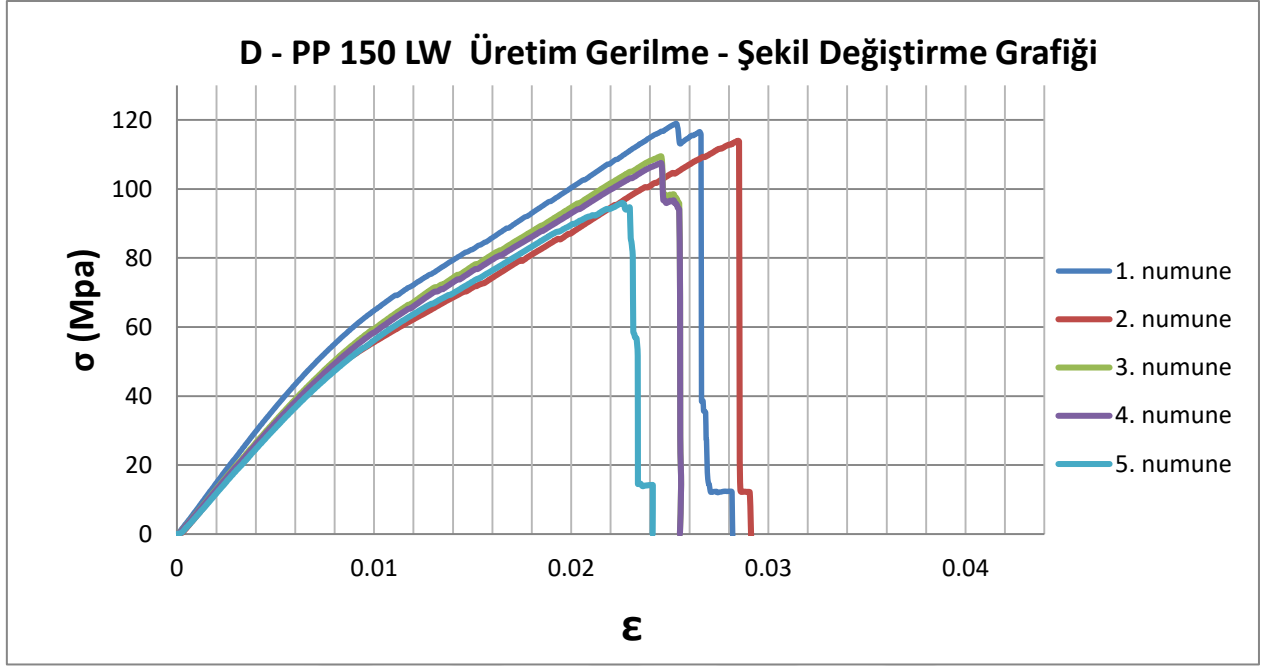
Şekil 4.3. B numunesi çekme testi.



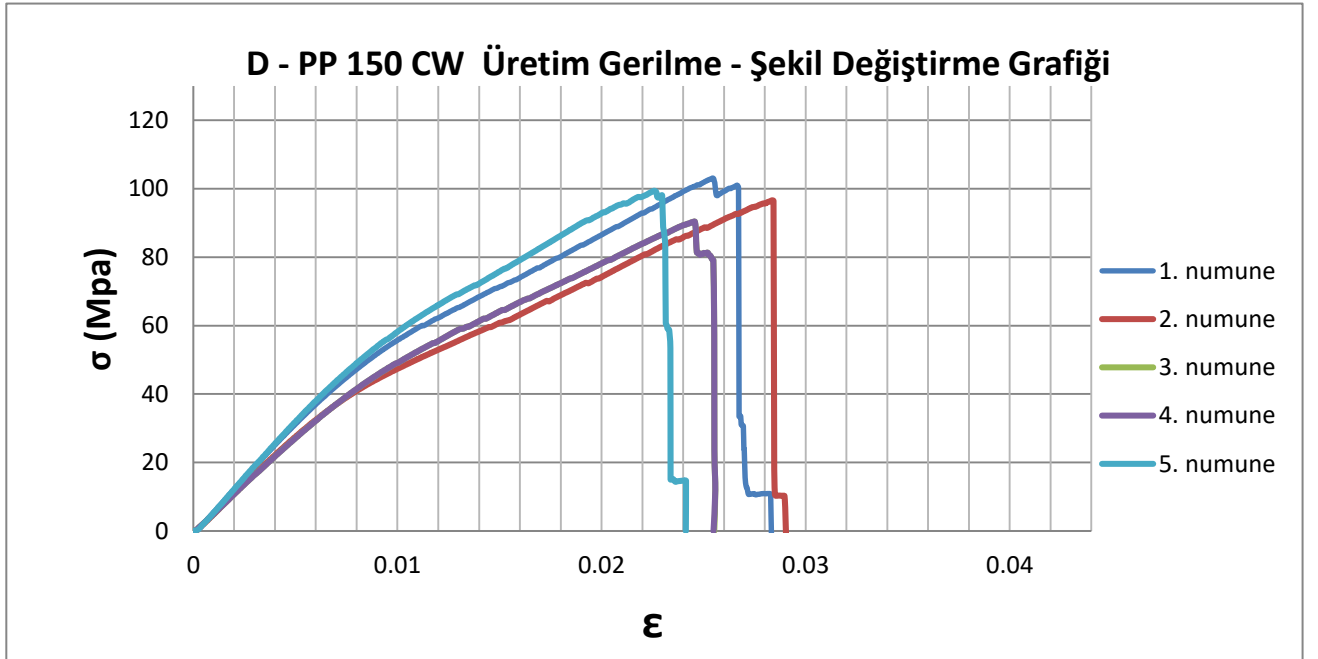
Şekil 4.4. C numunesi LW (İğne yönünde) çekme testi.



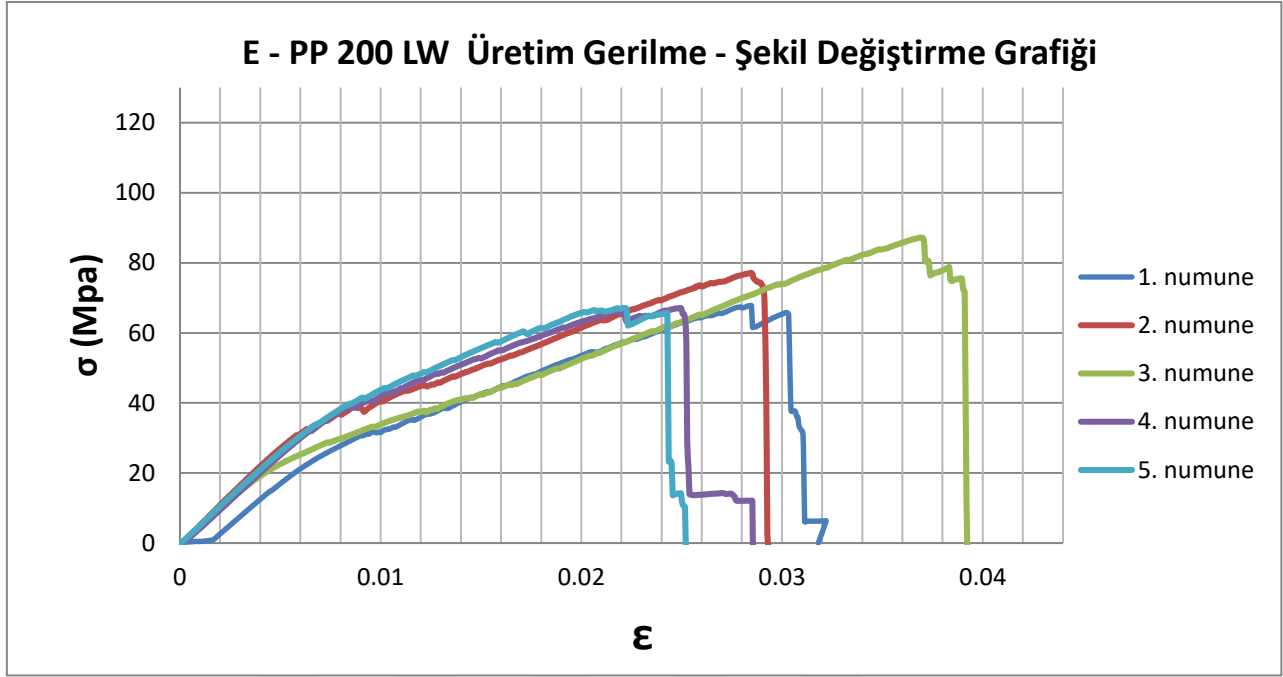
Şekil 4.5. C numunesi CW (İğne yönüne dik) çekme testi.



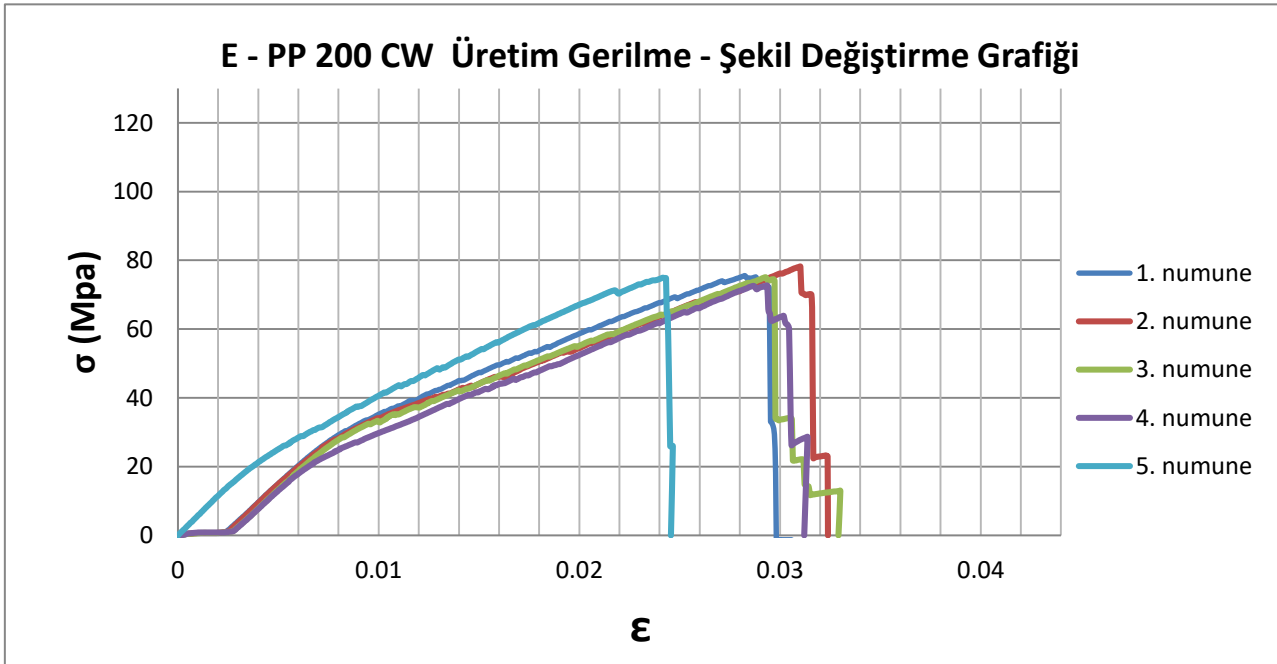
Şekil 4.6. D numunesi LW (İğne yönünde) çekme testi.



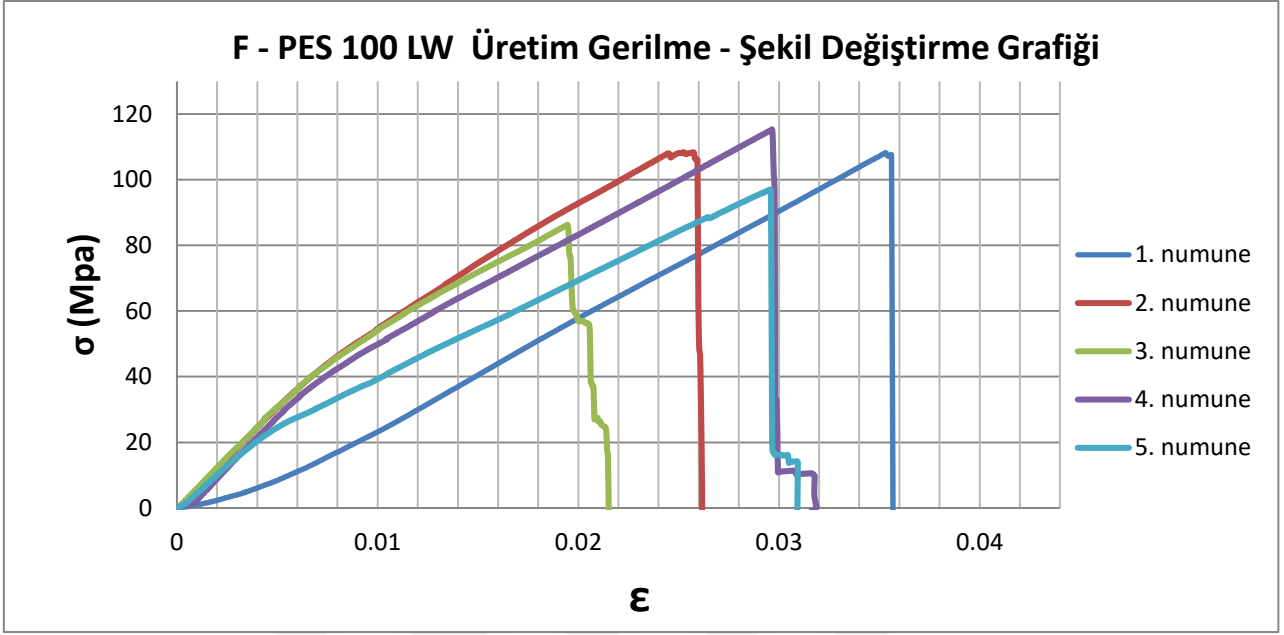
Şekil 4.7. D numunesi CW (İğne yönüne dik) çekme testi.



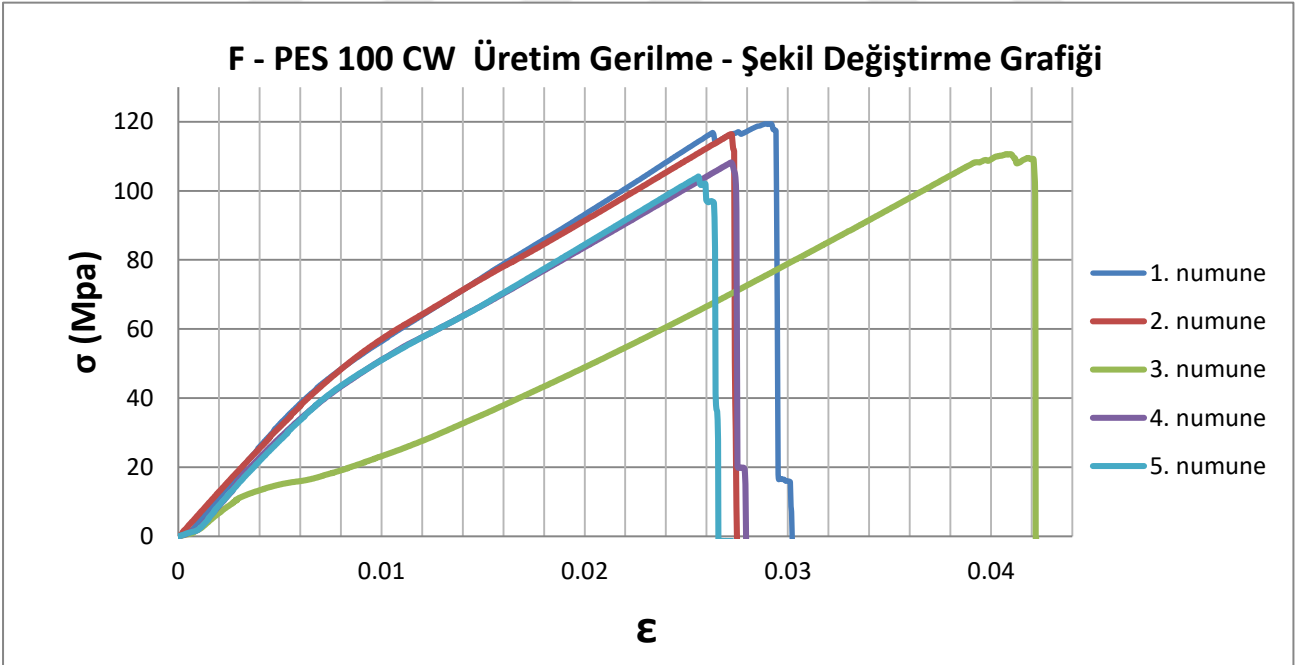
Şekil 4.8. E numunesi LW (İğne yönünde) çekme testi



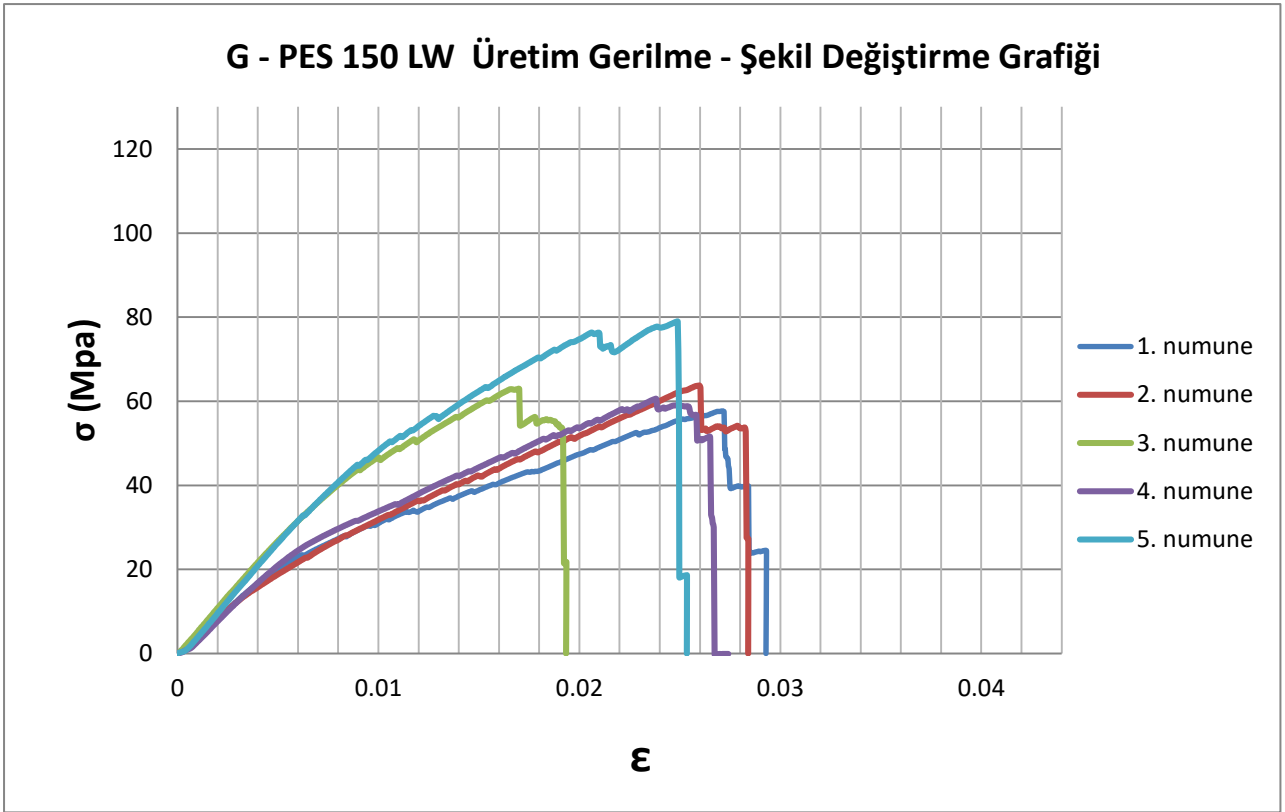
Şekil 4.9. E numunesi CW (İğne yönüne dik) çekme testi.



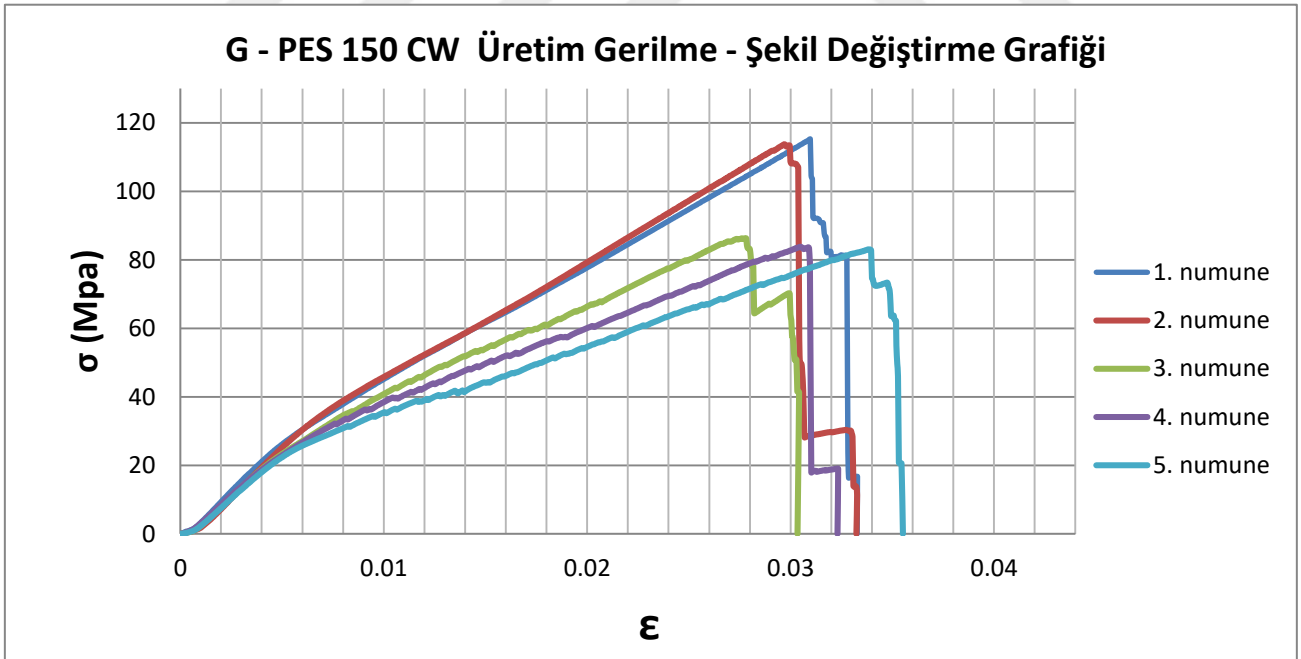
Şekil 4.10. F numunesi LW (İğne yönünde) çekme testi



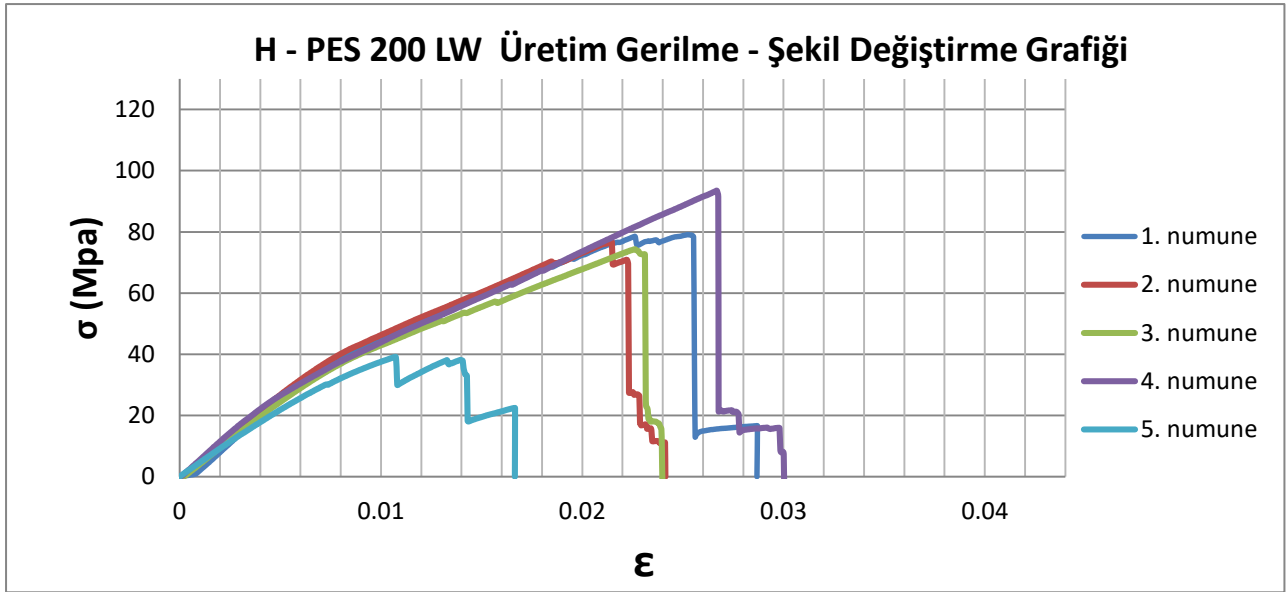
Şekil 4.11. F numunesi CW (İğne yönüne dik) çekme testi.



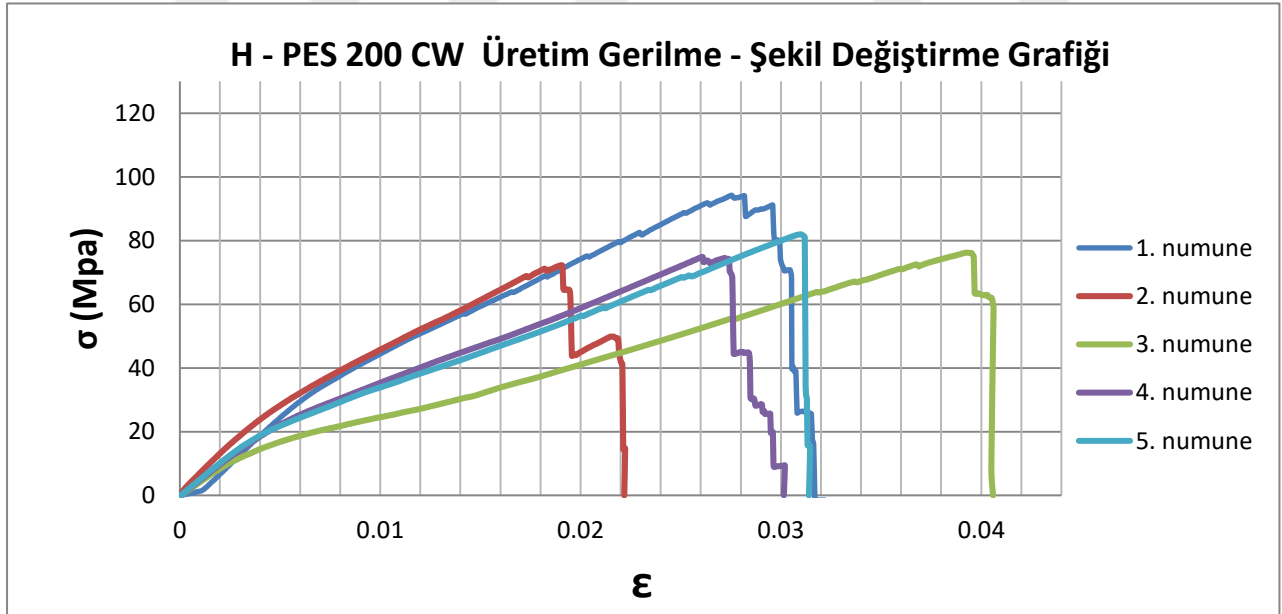
Şekil 4.12. G numunesi LW (İğne yönünde) çekme testi



Şekil 4.13. G numunesi CW (İğne yönüne dik) çekme testi.



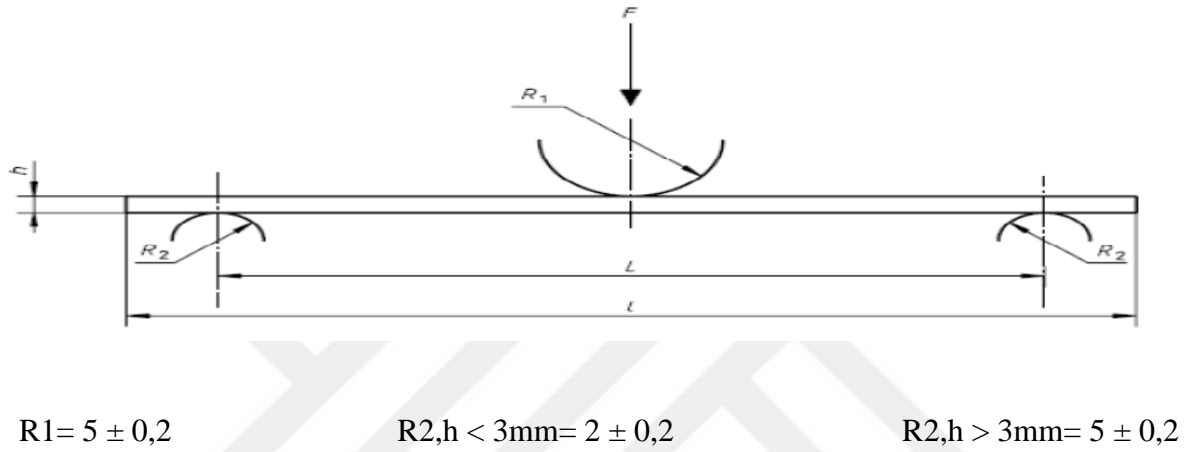
Şekil 4.14. H numunesi LW (İğne yönünde) çekme testi



Şekil 4.15. H numunesi CW (İğne yönüne dik) çekme testi

4.1.1.2. Tabakalı Kompozit Malzemenin Eğilme Özelliklerinin Belirlenmesi

Üç nokta eğilme testi için numuneler TS EN ISO 14125’de belirtilen boyutlarda kesilerek 1 mm/dakika hızda eğilme testleri yapılmıştır. Eğilme testleri, destekler arası açıklık ve destek yarıçapları standarda uygun olarak yapılmıştır (Şekil 4.16, Resim 4.2). Her numune grubu için eğilme dayanımı sonuç grafikleri bilgisayar yazılımı aracılığı ile Şekil 4.17 – 4.30’da verilmiştir.



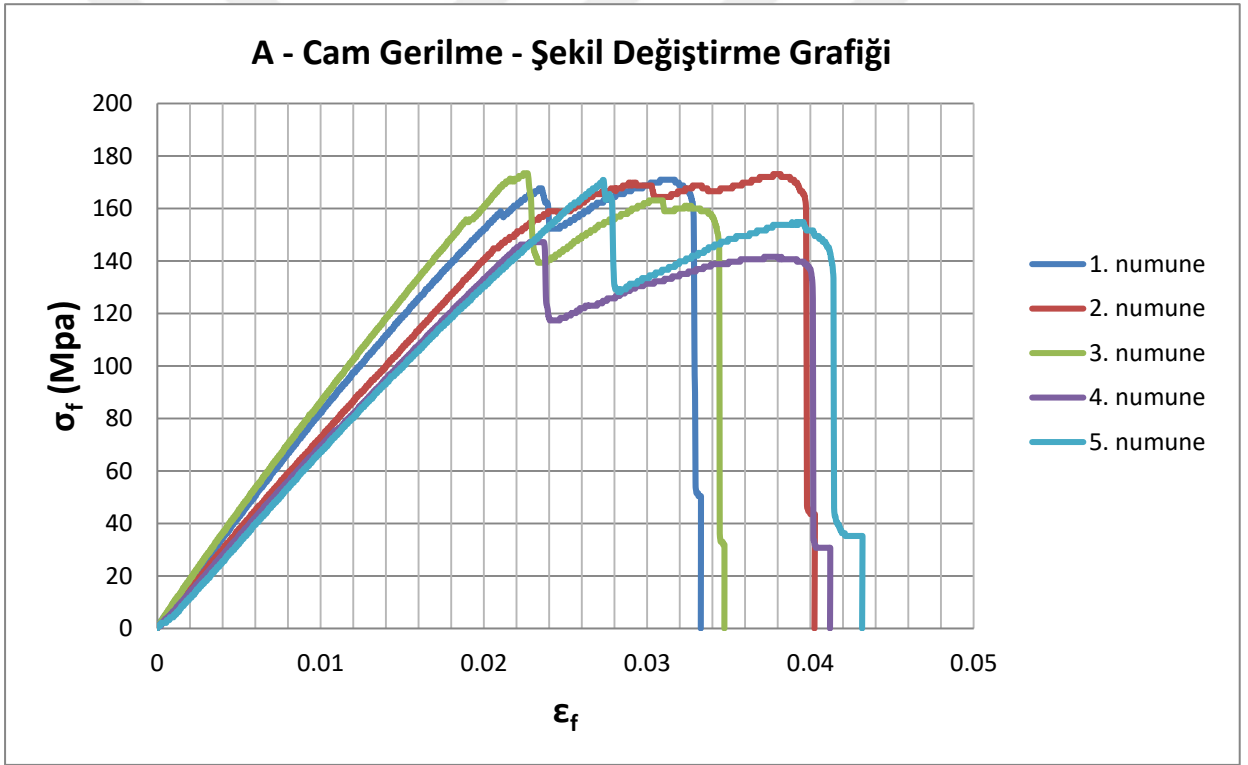
Malzeme sınıfı	Üç-nokta	
	L/h	l/h
I	16	20
II	16	20
III	20	30
IV	40	50

Anma kalınlığı h	Genişlik (b) Sınıf I	Genişlik (b) Sınıf II – Sınıf IV
1 < h ≤ 3	25	15
3 < h ≤ 5	10	15
5 < h ≤ 10	15	15
10 < h ≤ 20	20	30
20 < h ≤ 35	35	50
35 < h ≤ 50	50	80

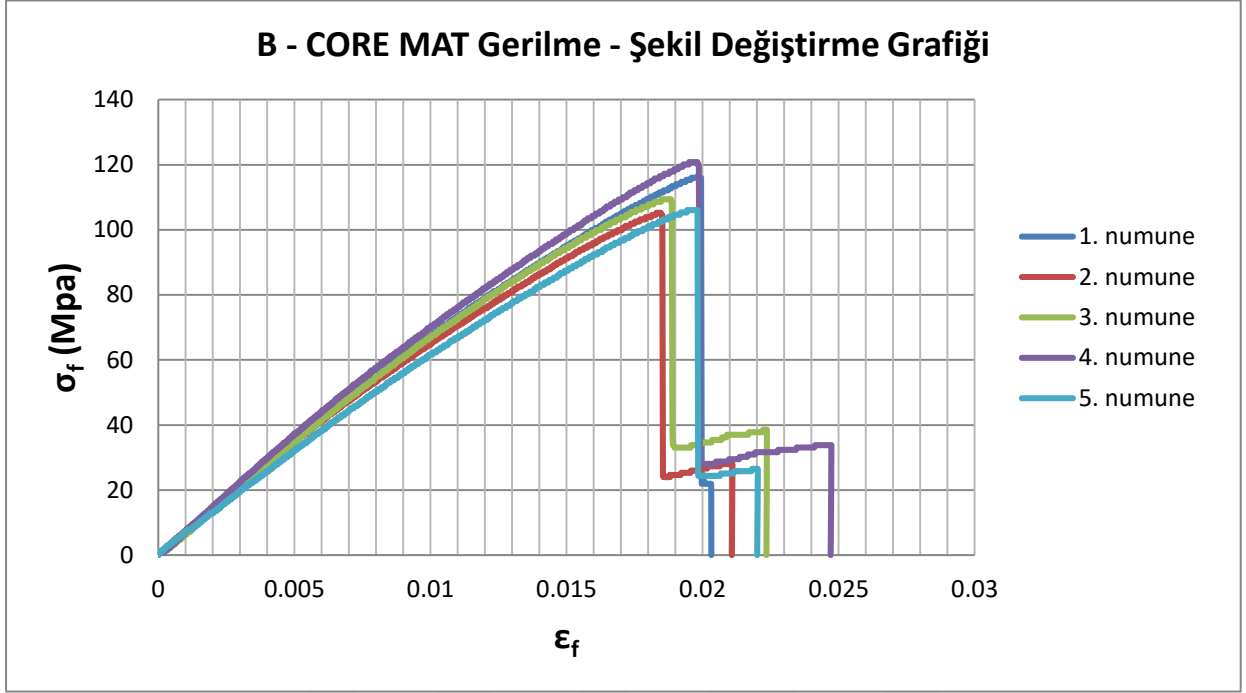
Şekil 4.16. Eğilme numunesi ölçüleri



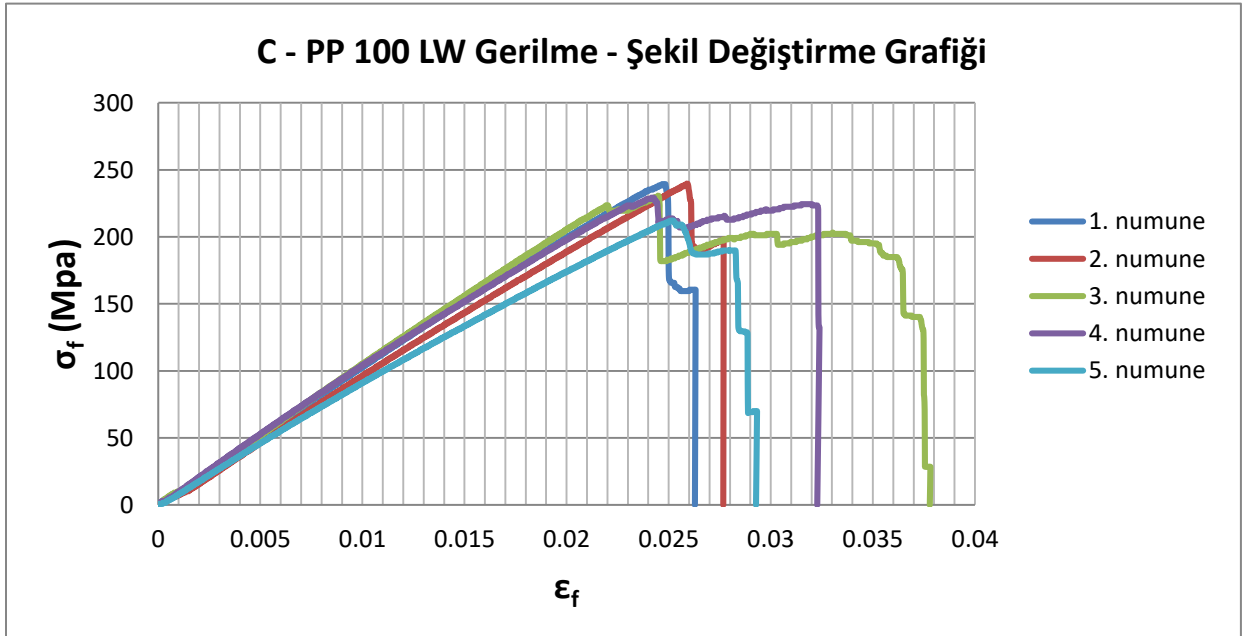
Resim 4.2. Eğilme testi



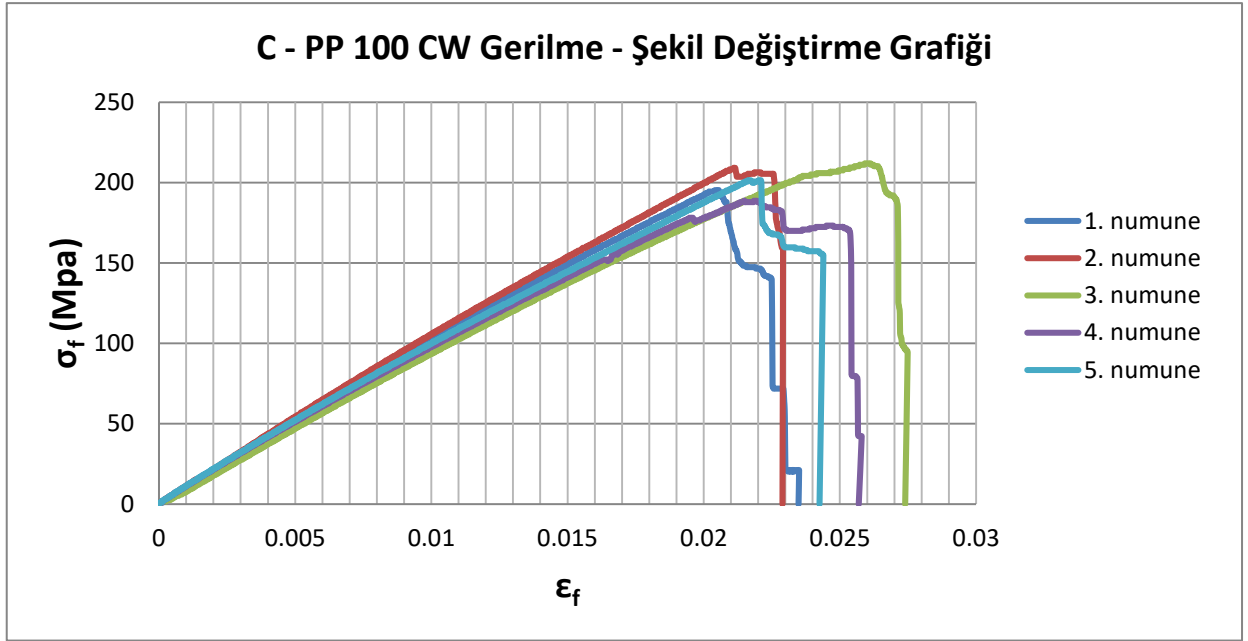
Şekil 4.17. A numunesi eğilme testi.



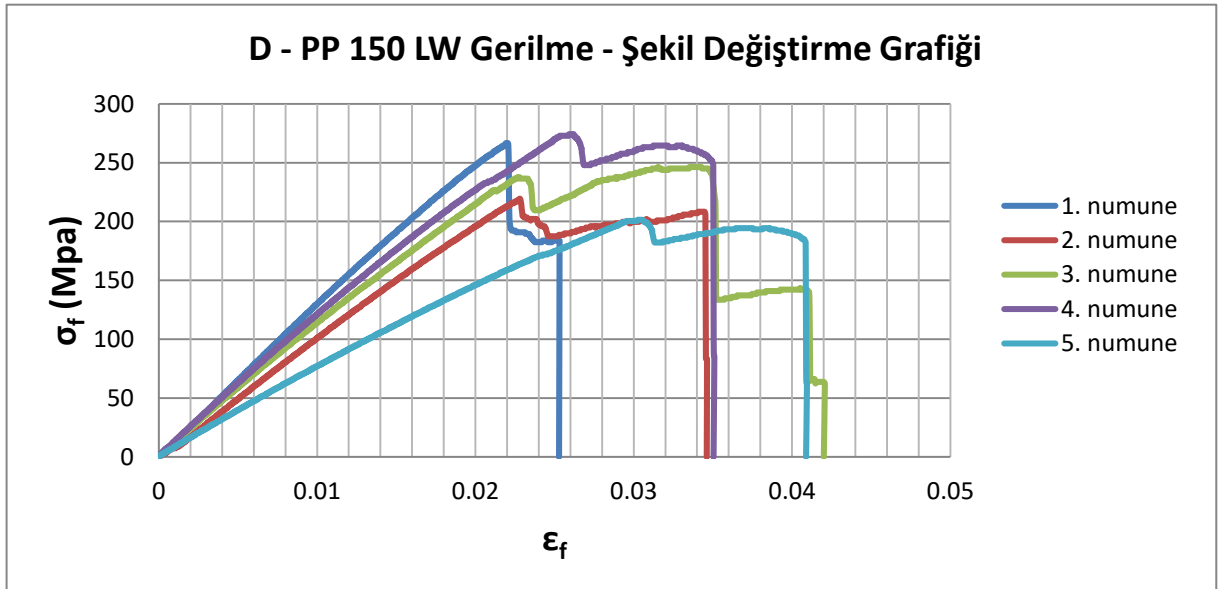
Şekil 4.18. B numunesi eğilme testi.



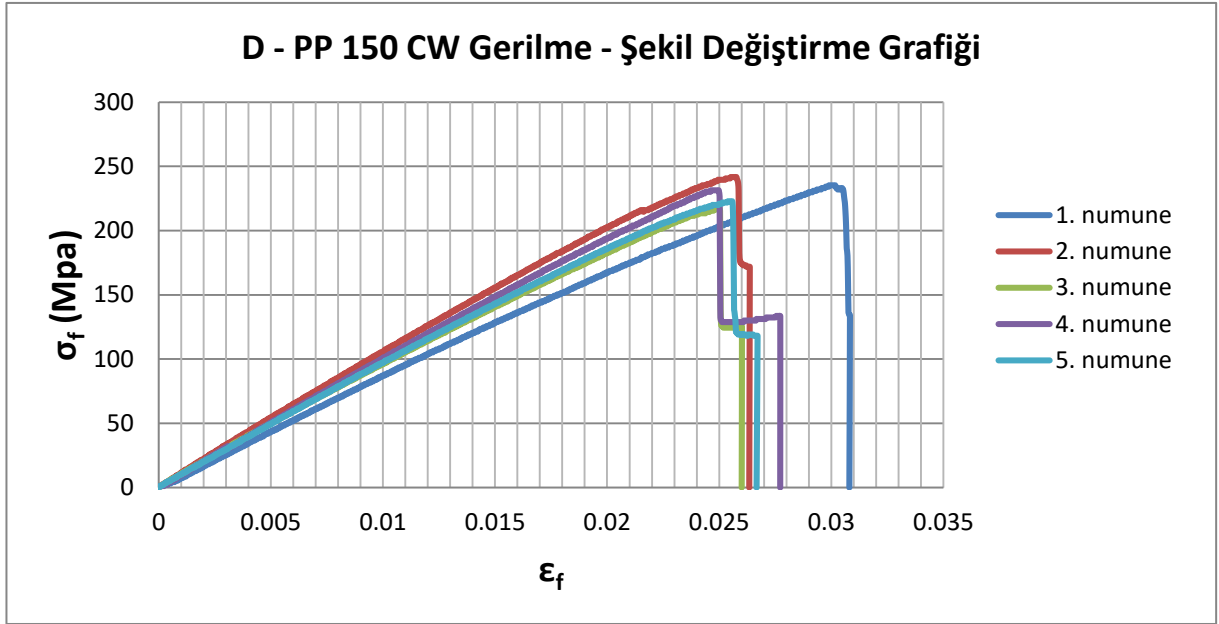
Şekil 4.19. C numunesi LW (İğne yönünde) eğilme testi.



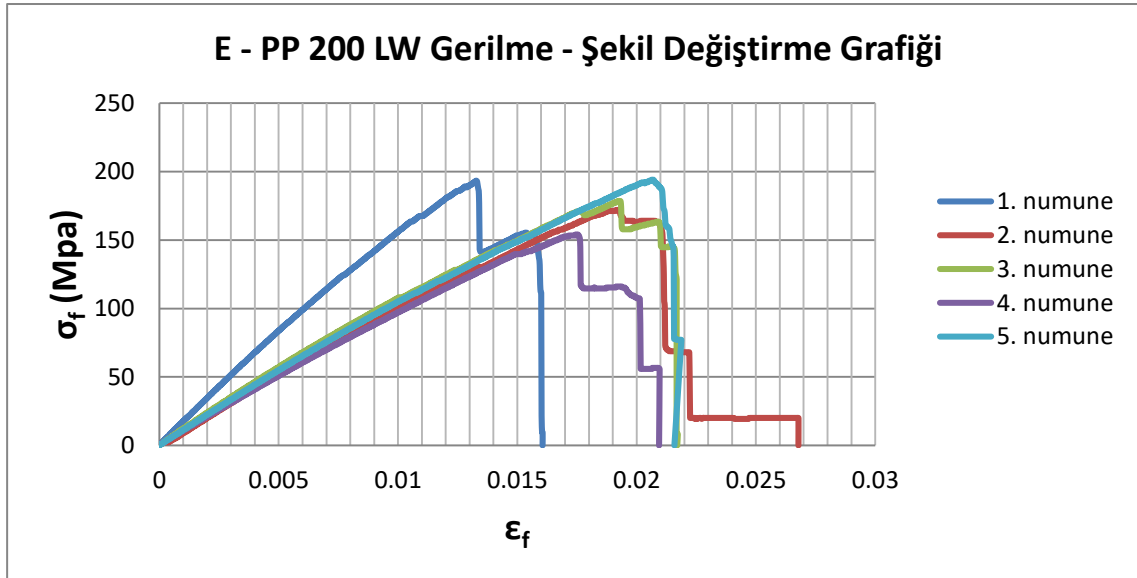
Şekil 4.20. C numunesi CW (İğne yönüne dik) eğilme testi.



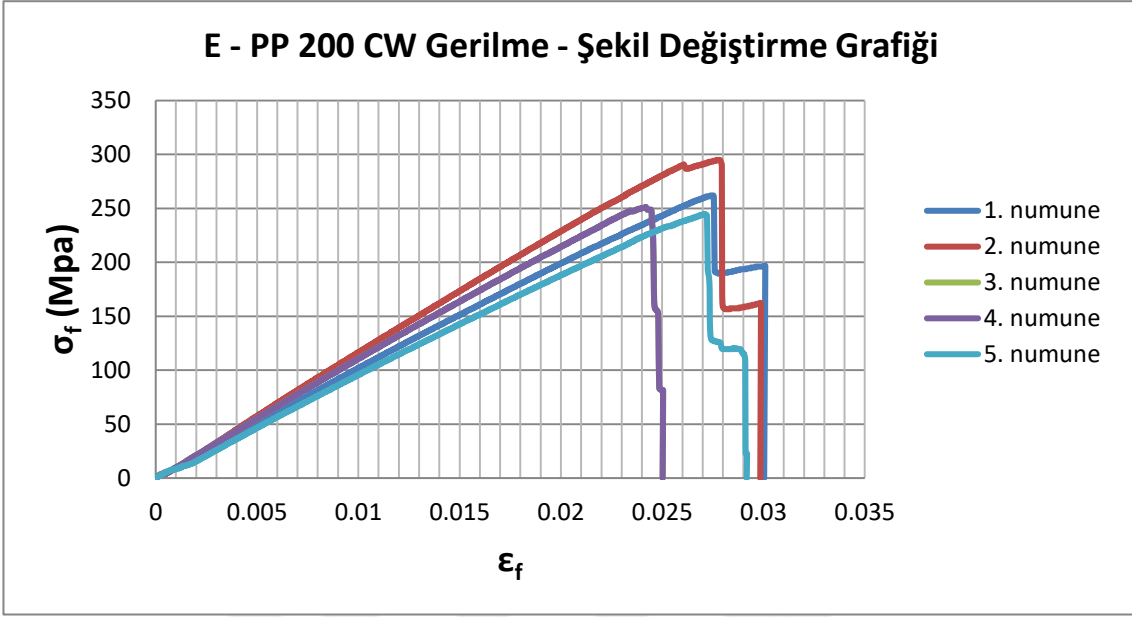
Şekil 4.21. D numunesi LW (İğne yönünde) eğilme testi.



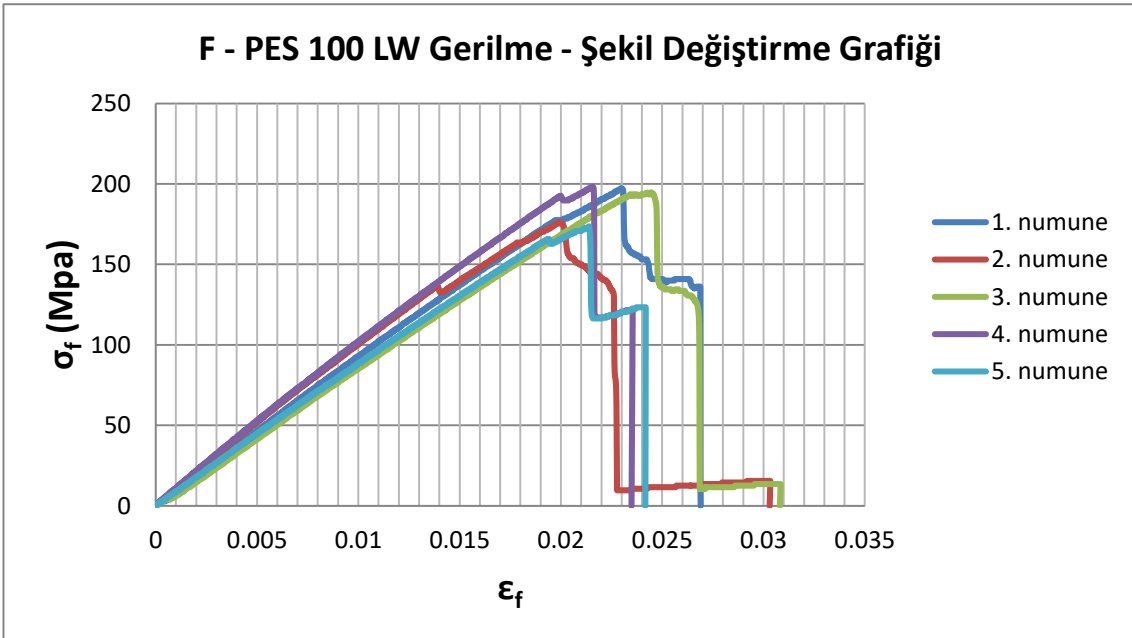
Şekil 4.22. D numunesi CW (İğne yönüne dik) eğilme testi.



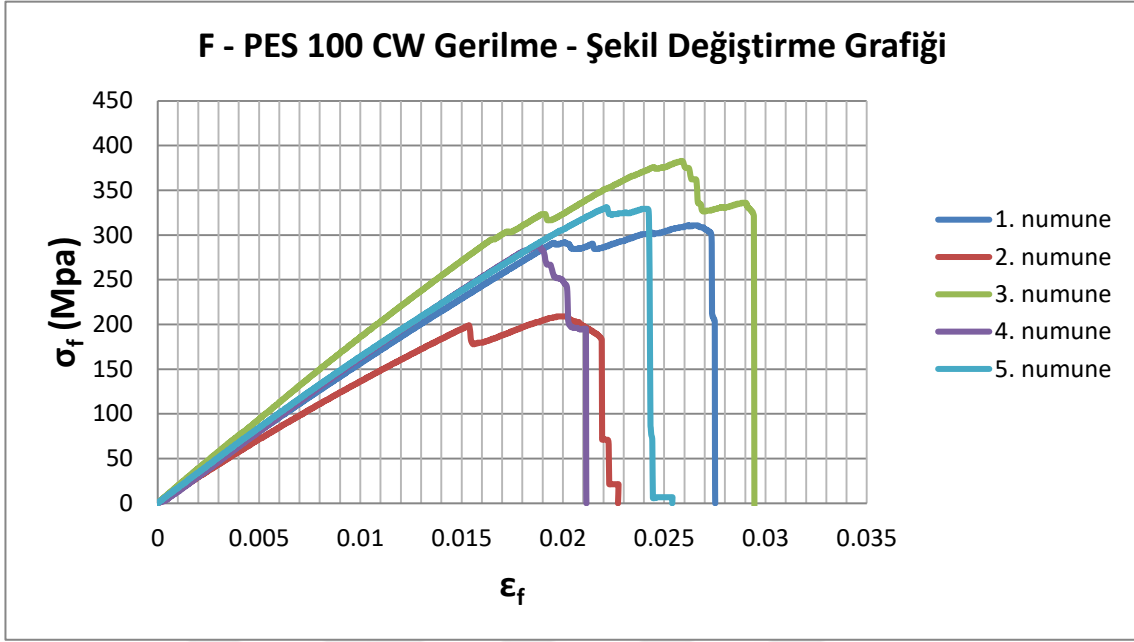
Şekil 4.23. E numunesi LW (İğne yönünde) eğilme testi.



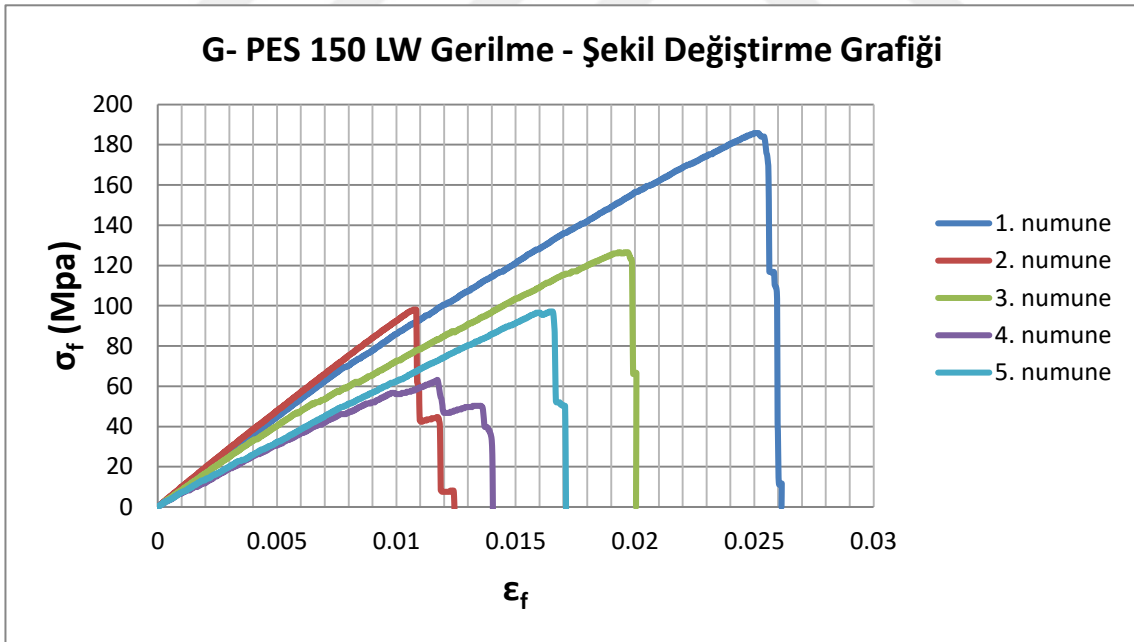
Şekil 4.24. E numunesi CW (İğne yönüne dik) eğilme testi.



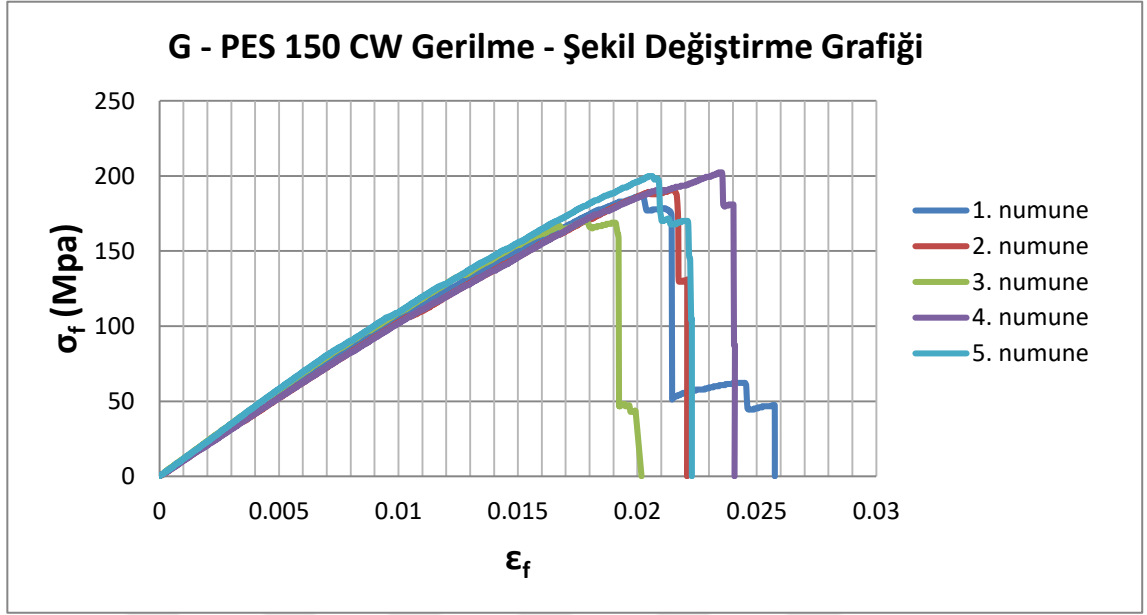
Şekil 4.25. F numunesi LW (İğne yönünde) eğilme testi



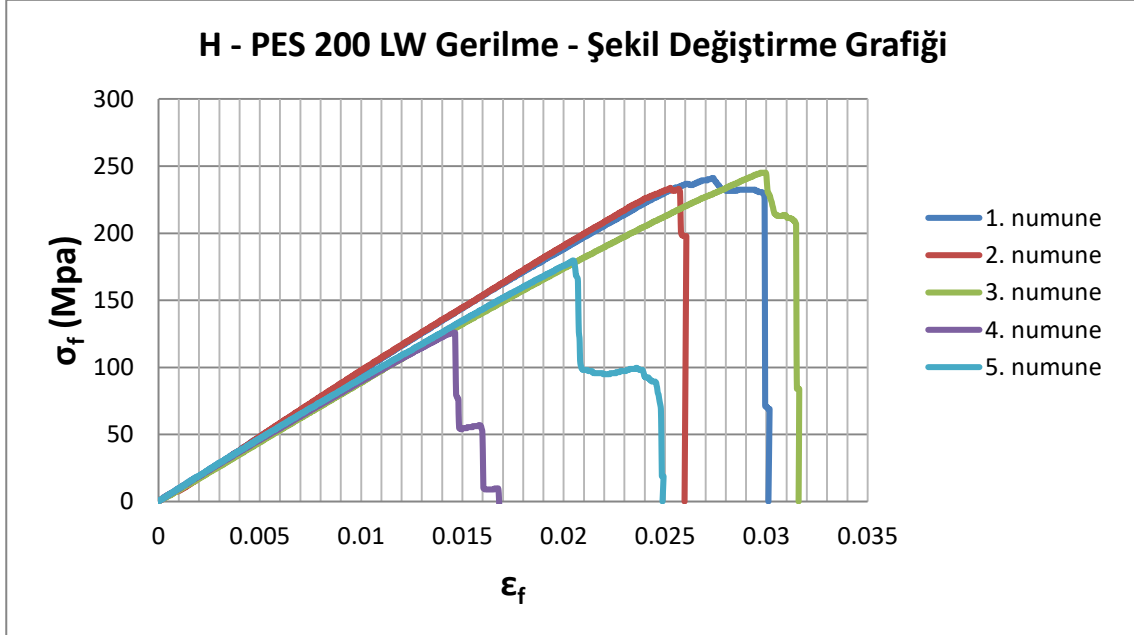
Şekil 4.26. F numunesi CW (İğne yönüne dik) eğilme testi.



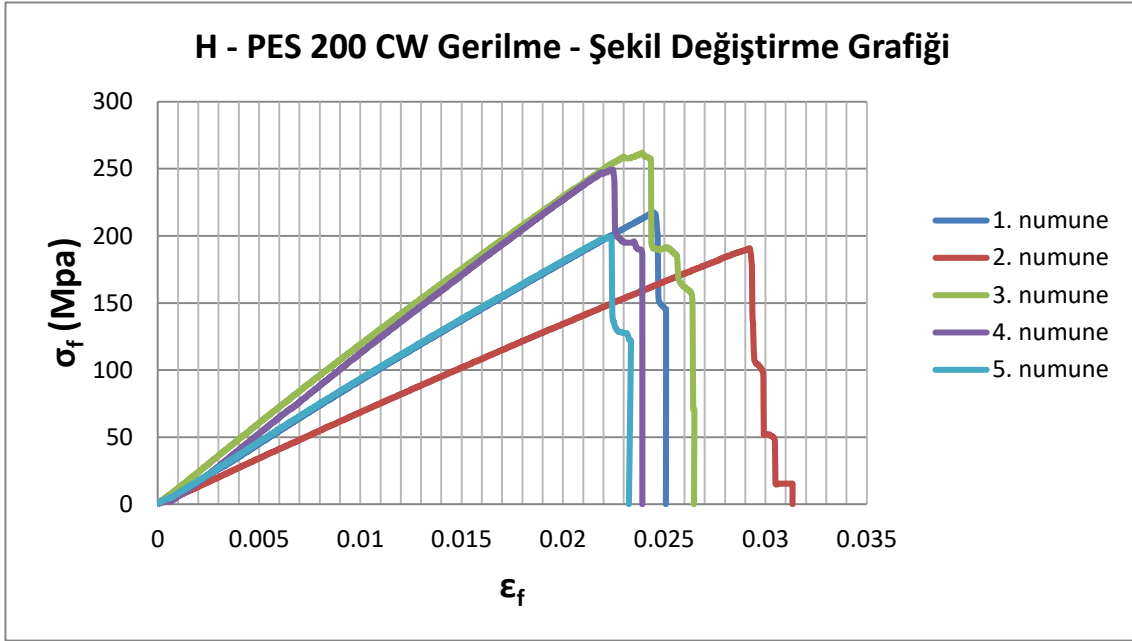
Şekil 4.27. G numunesi LW (İğne yönünde) eğilme testi



Şekil 4.28. G numunesi CW (İğne yönüne dik) eğilme testi.



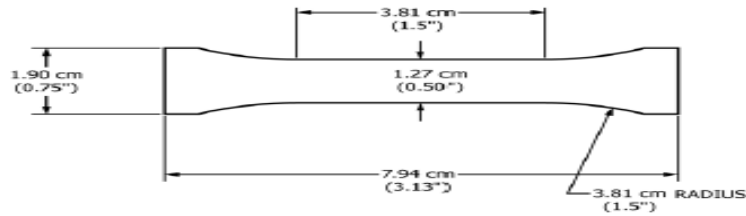
Şekil 4.29. H numunesi LW (İğne yönünde) eğilme testi.



Şekil 4.30. H numunesi CW (İğne yönüne dik) eğilme testi.

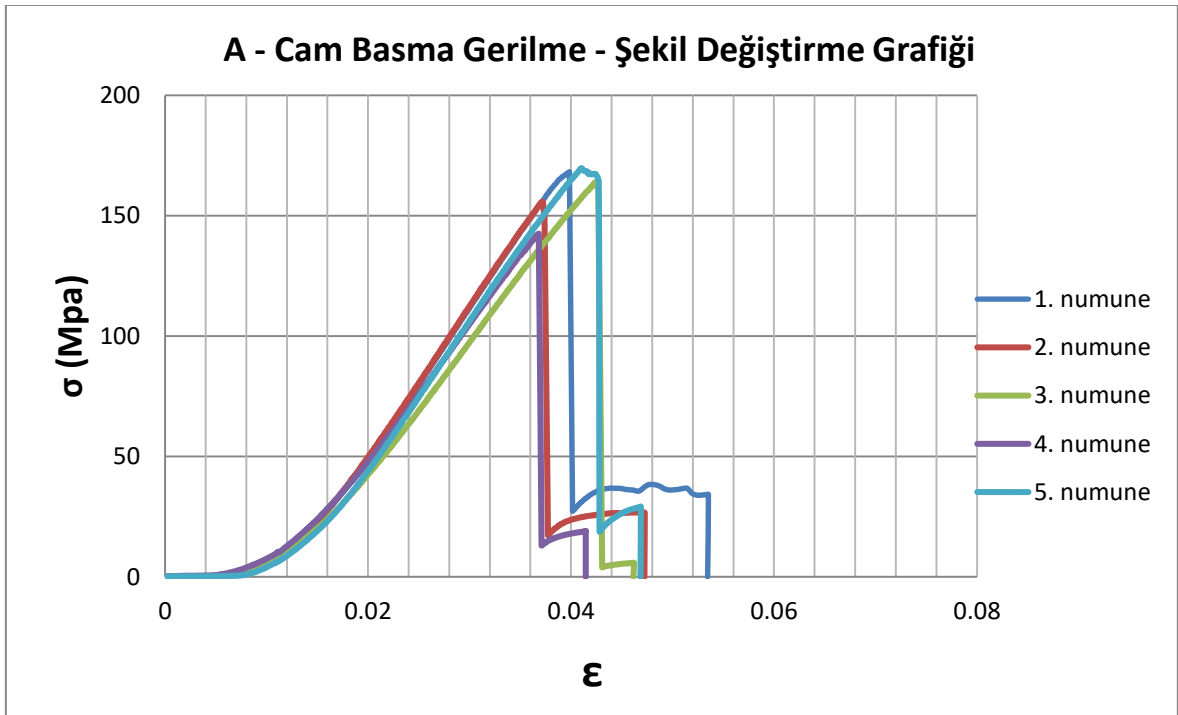
4.1.1.3. Tabakalı Kompozit Malzemenin Basma Özelliklerinin Belirlenmesi

Üç noktada yapılan basma testi için numuneler CTI 137 – ASTM D 695’de belirtilen boyutlarda kesilerek $1,3 \pm 0,3$ mm/dk hızda basma testleri yapılmıştır. Basma testleri, destekler arası açıklık ve destek yarıçapları standarda uygun olarak yapılmıştır (Resim 4.3). Her numune grubu için basma dayanımı sonuç grafikleri bilgisayar yazılımı aracılığı ile Şekil 4.31 – 4.44’de verilmiştir.

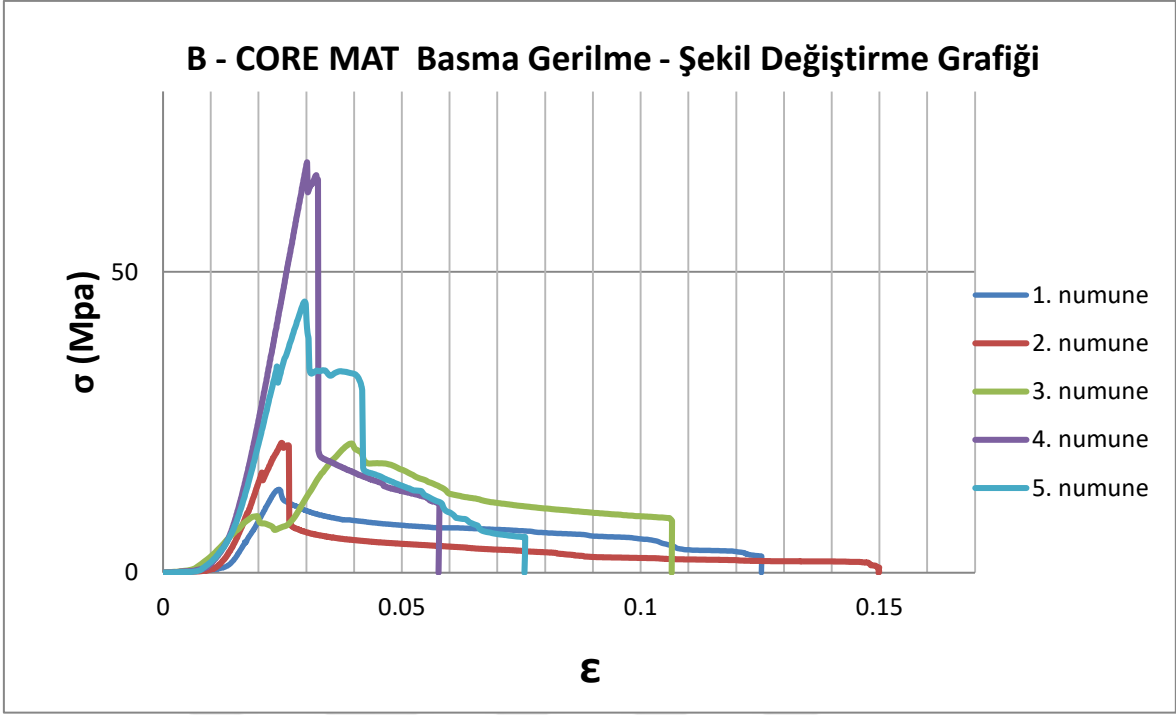




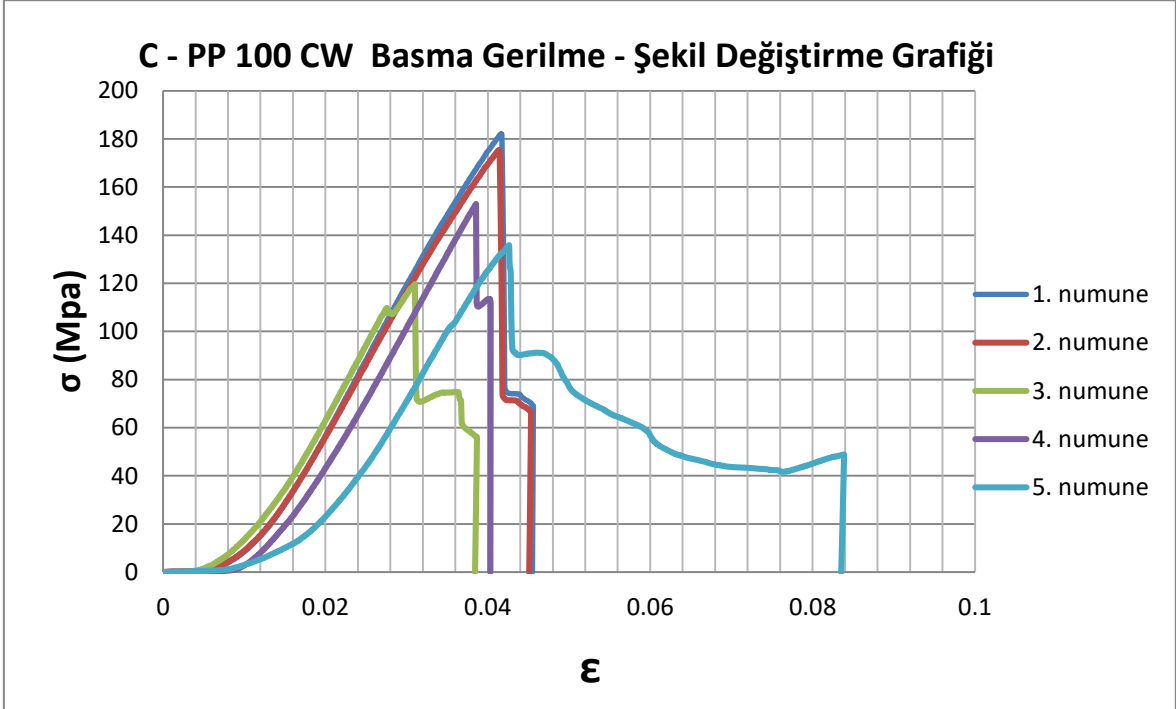
Resim 4.3. Basma testi



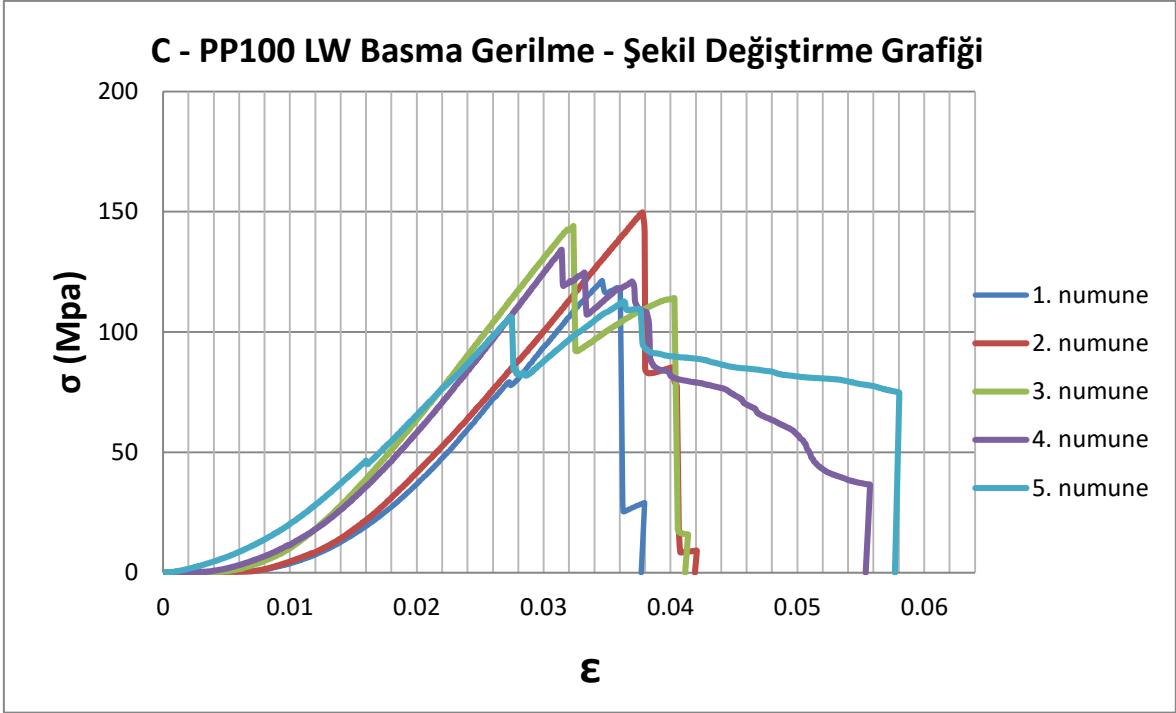
Şekil 4.31. A Numunesi Basma Testi



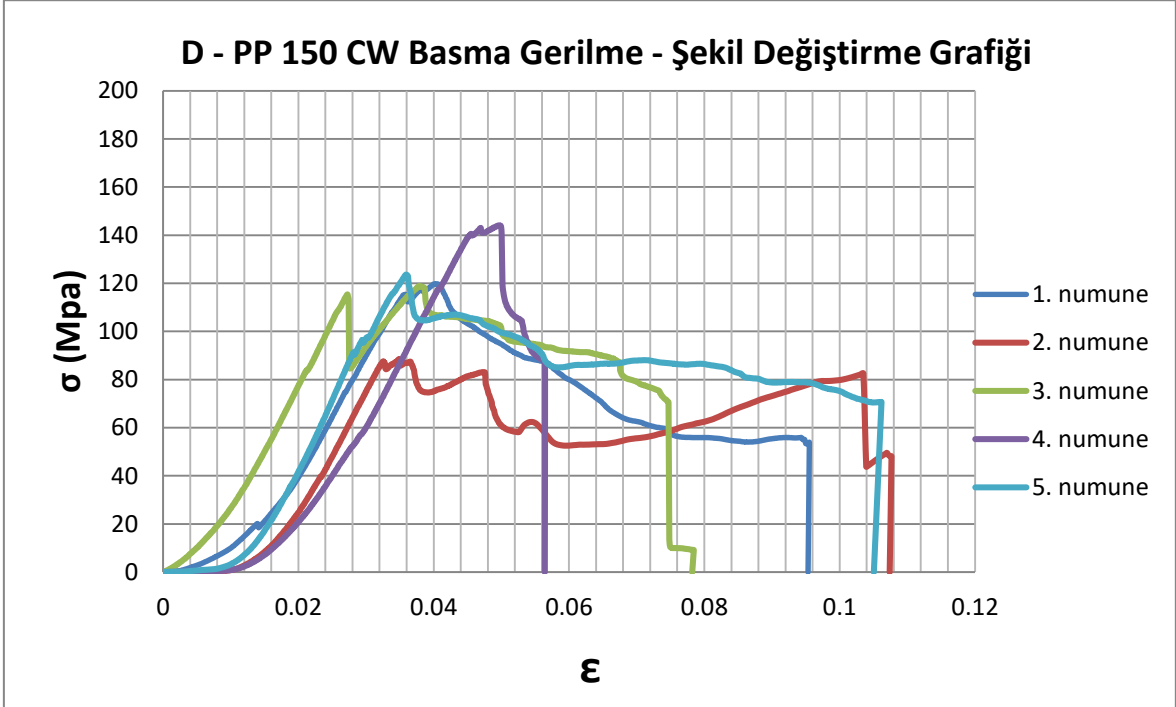
Şekil 4.32. B Numunesi Basma Testi



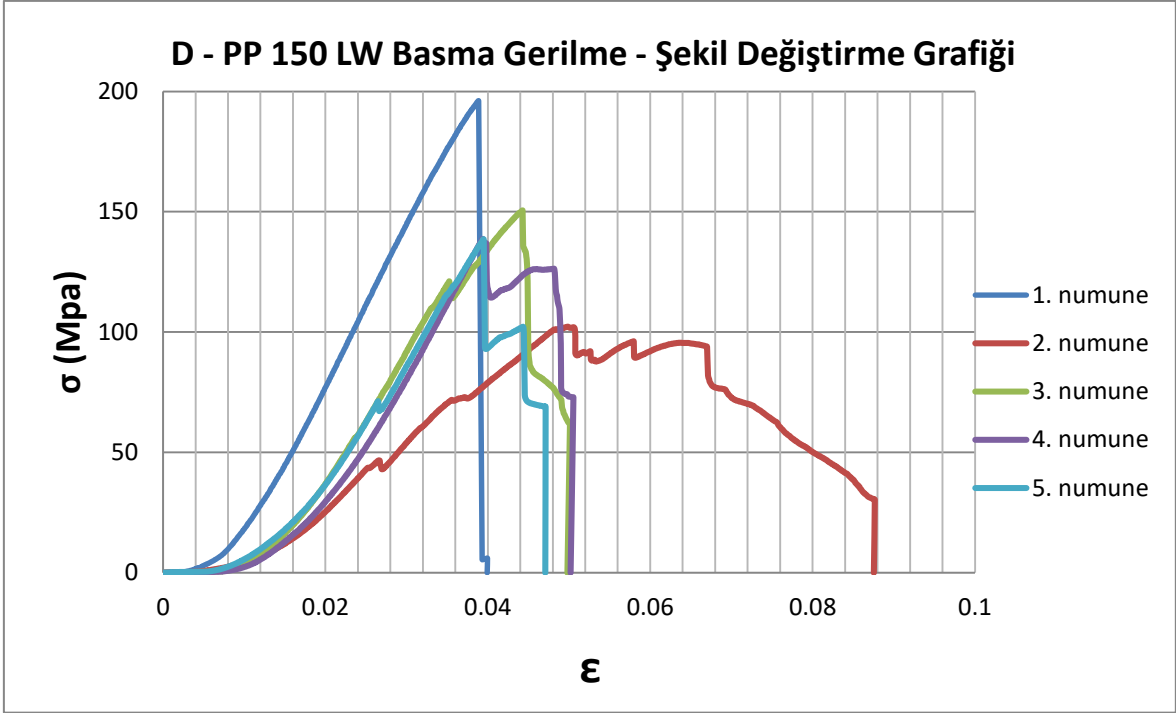
Şekil 4.33. C numunesi CW (İğne yönüne dik) basma testi.



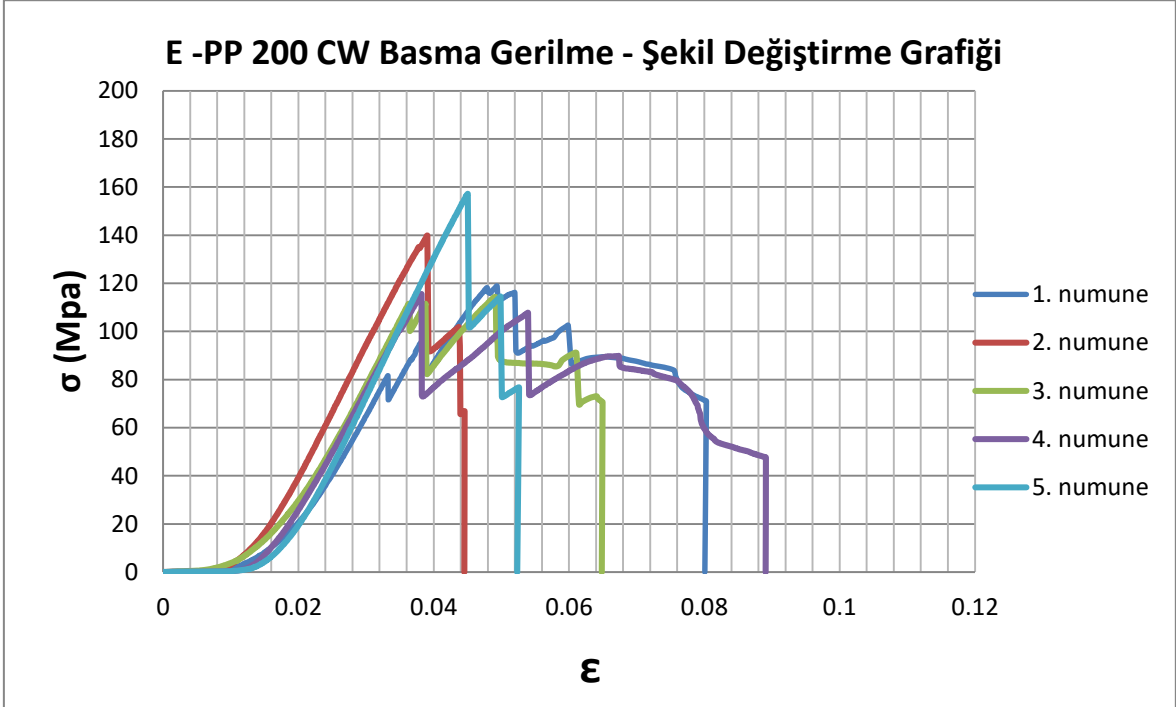
Şekil 4.34. C numunesi LW (İğne yönünde) basma testi.



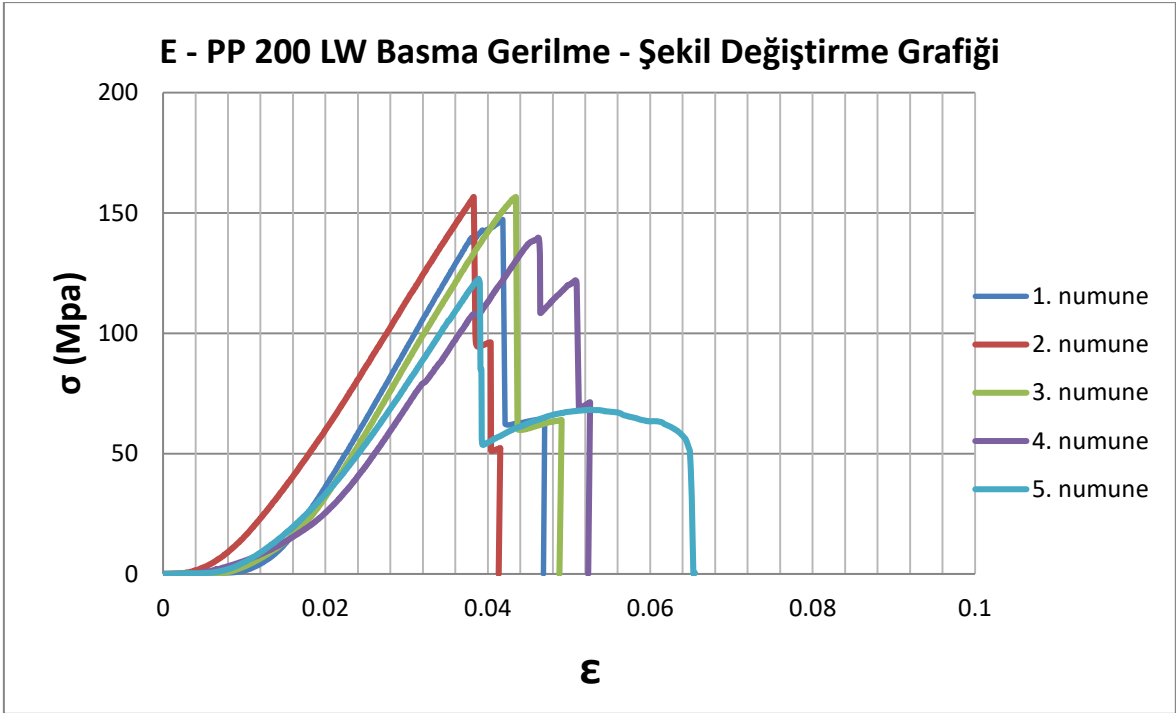
Şekil 4.35. D numunesi CW (İğne yönüne dik) basma testi.



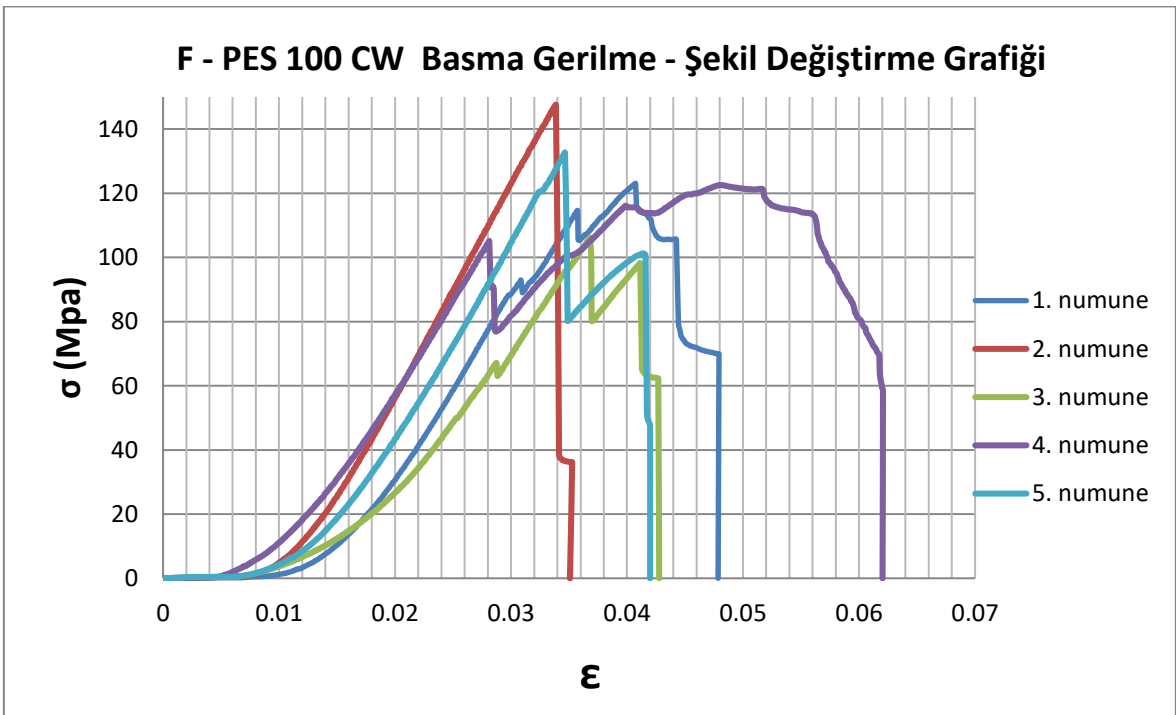
Şekil 4.36. D numunesi LW (İğne yönünde) basma testi.



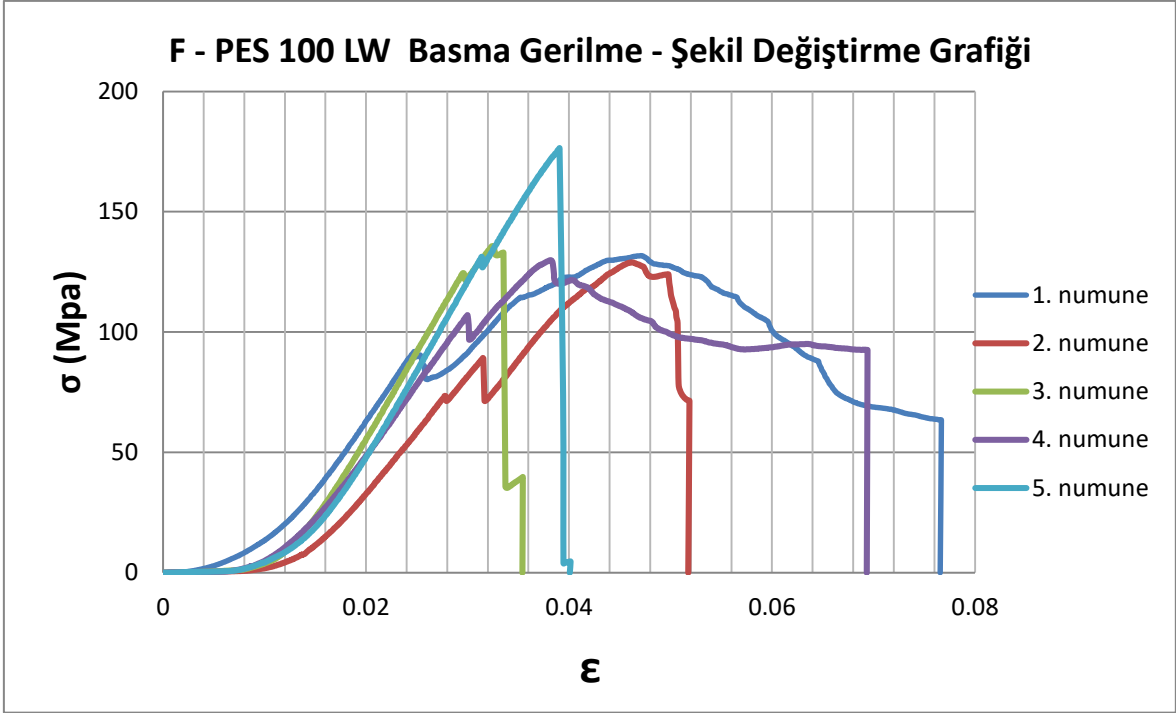
Şekil 4.37. E numunesi CW (İğne yönüne dik) basma testi.



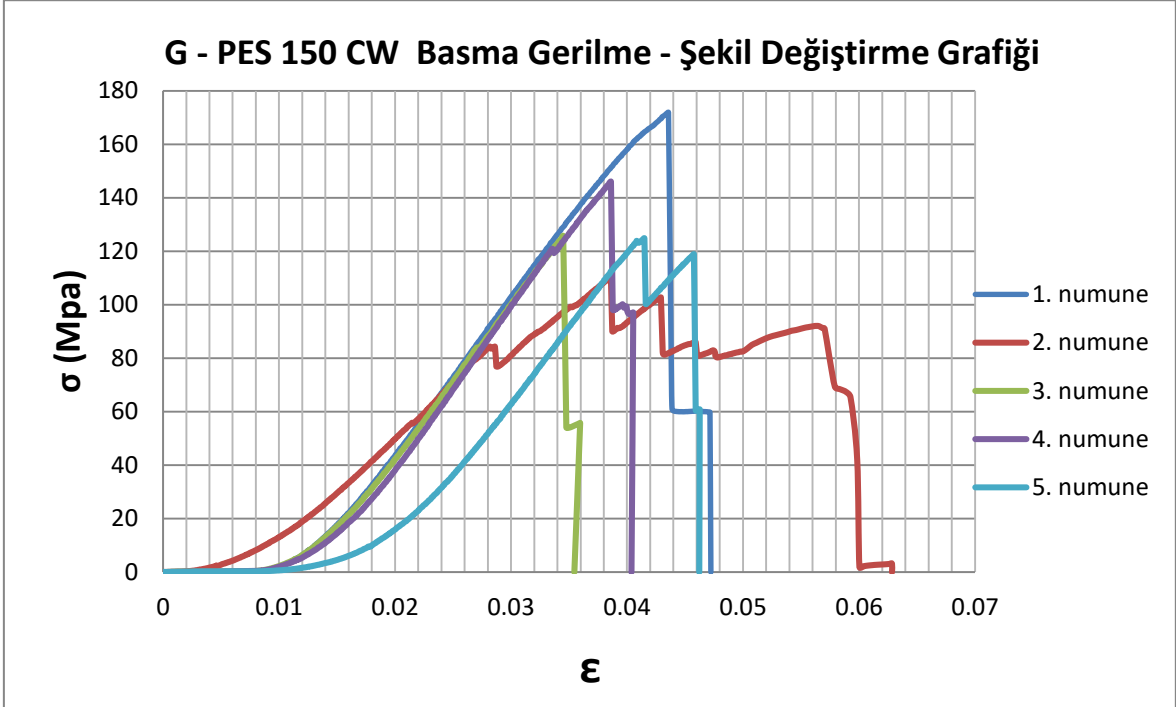
Şekil 4.38. E numunesi LW (İğne yönünde) basma testi



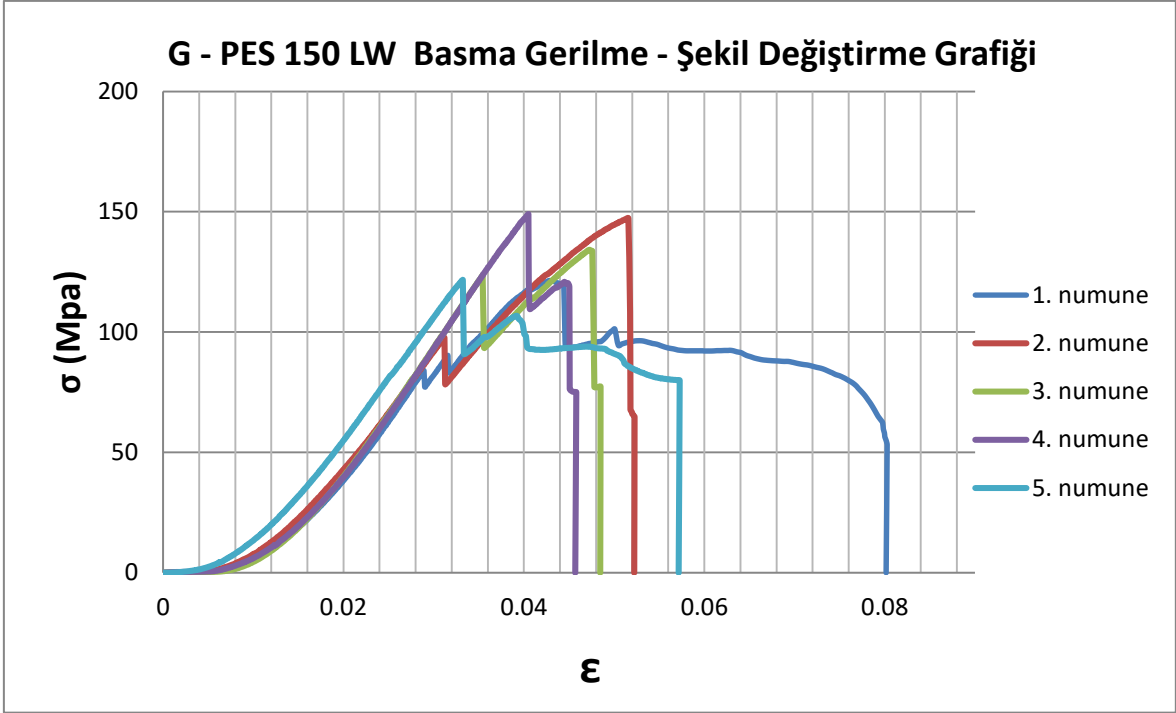
Şekil 4.39. F numunesi CW (İğne yönüne dik) basma testi



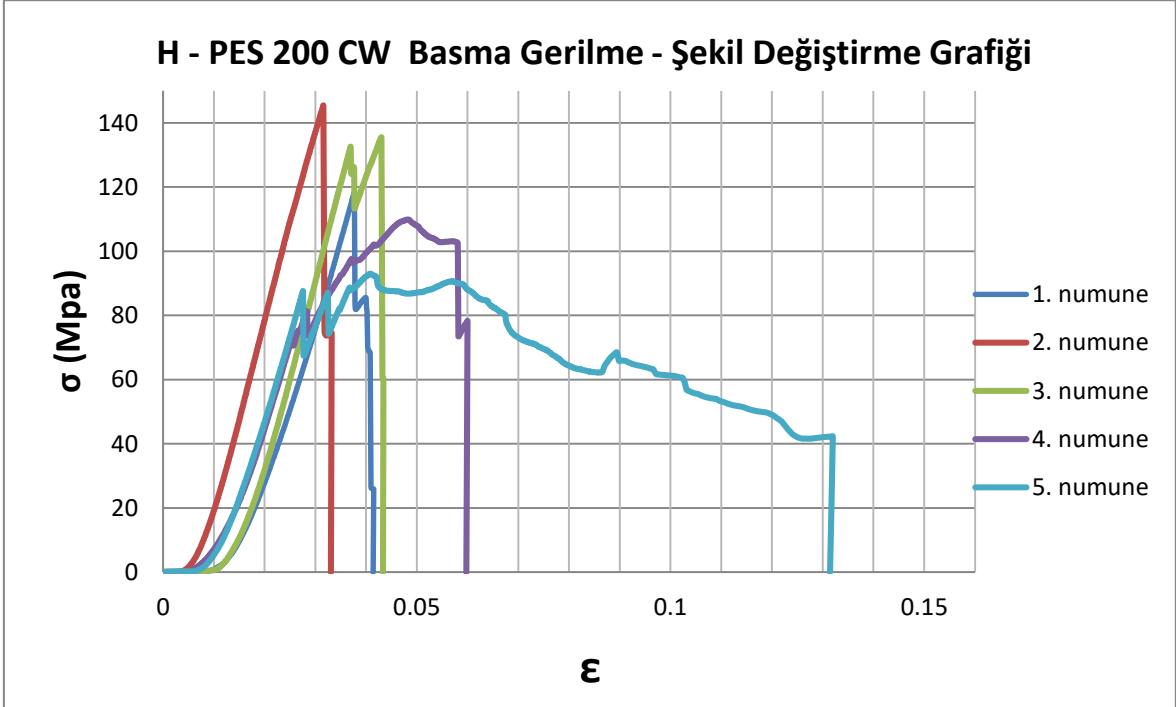
Şekil 4.40. F numunesi LW (İğne yönünde) basma testi



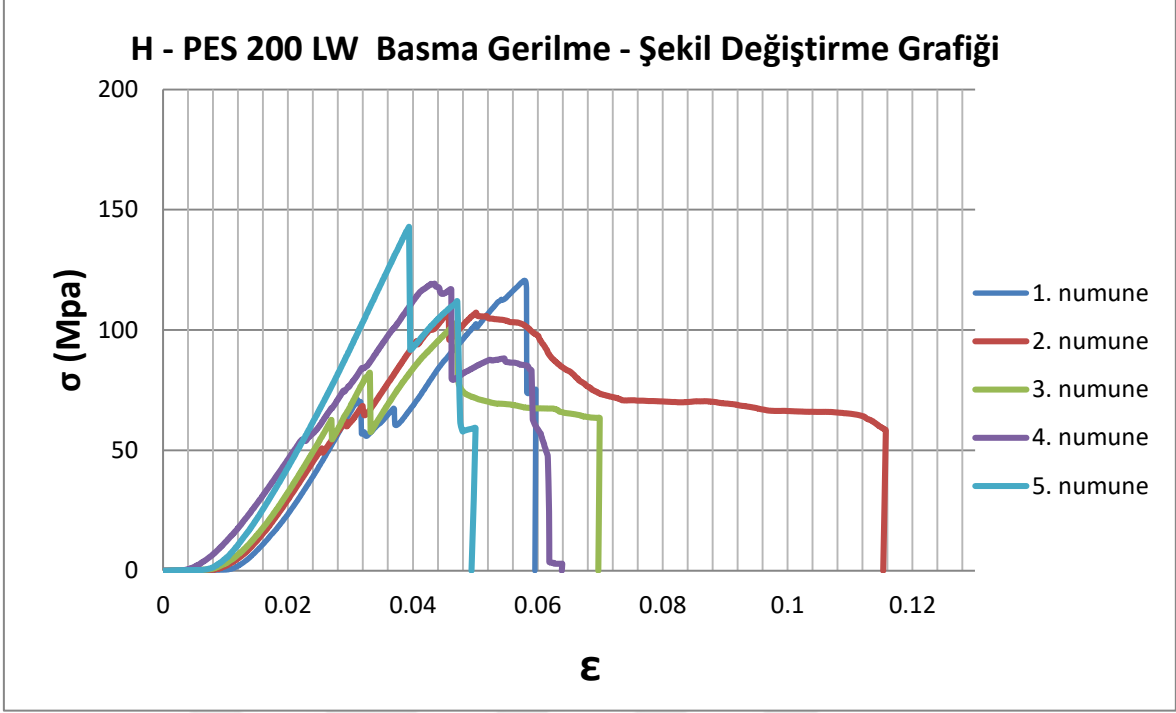
Şekil 4.41. G numunesi CW (İğne yönüne dik) basma testi



Şekil 4.42. G numunesi LW (İğne yönünde) basma testi



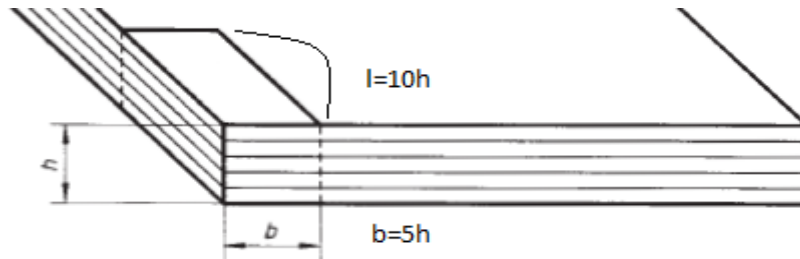
Şekil 4.43. H numunesi CW (İğne yönüne dik) basma testi

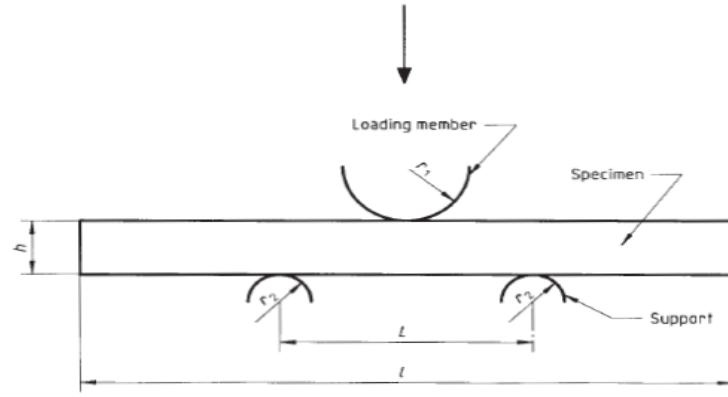


Şekil 4.44. H numunesi LW (İğne yönünde) basma testi

4.1.1.4. Tabakalı Kompozit Malzemenin Katmanlar Arası Kayma Özelliklerinin Belirlenmesi

Katmanlar arası kayma testi için numuneler TS EN ISO 13706-2 – TS EN ISO 14130'da belirtilen boyutlarda kesilerek 1 mm/dk.hızda ve 15 °C ve 30 °C sıcaklıkta katmanlar arası kayma testleri yapılmıştır. Katmanlar arası kayma testleri, destekler arası açıklık ve destek yarıçapları standarda uygun olarak yapılmıştır(Şekil 4.45 ve Resim 4.4). Her numune grubu için katmanlar arası kayma testi sonuç grafikleri bilgisayar yazılımı aracılığı ile Şekil 4.46 – 4.53'de verilmiştir.

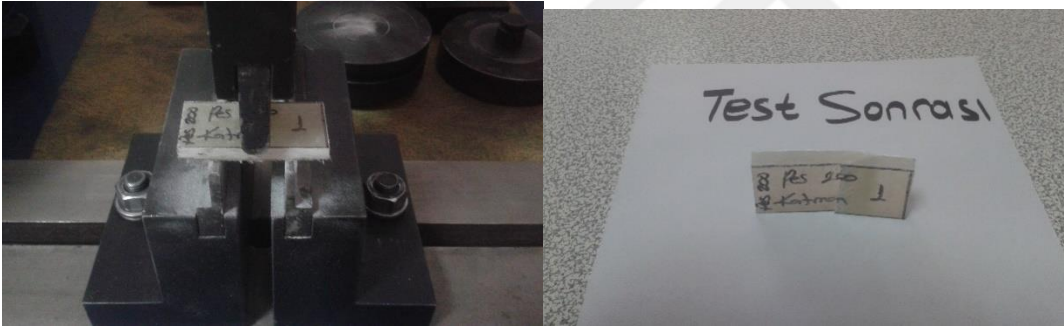




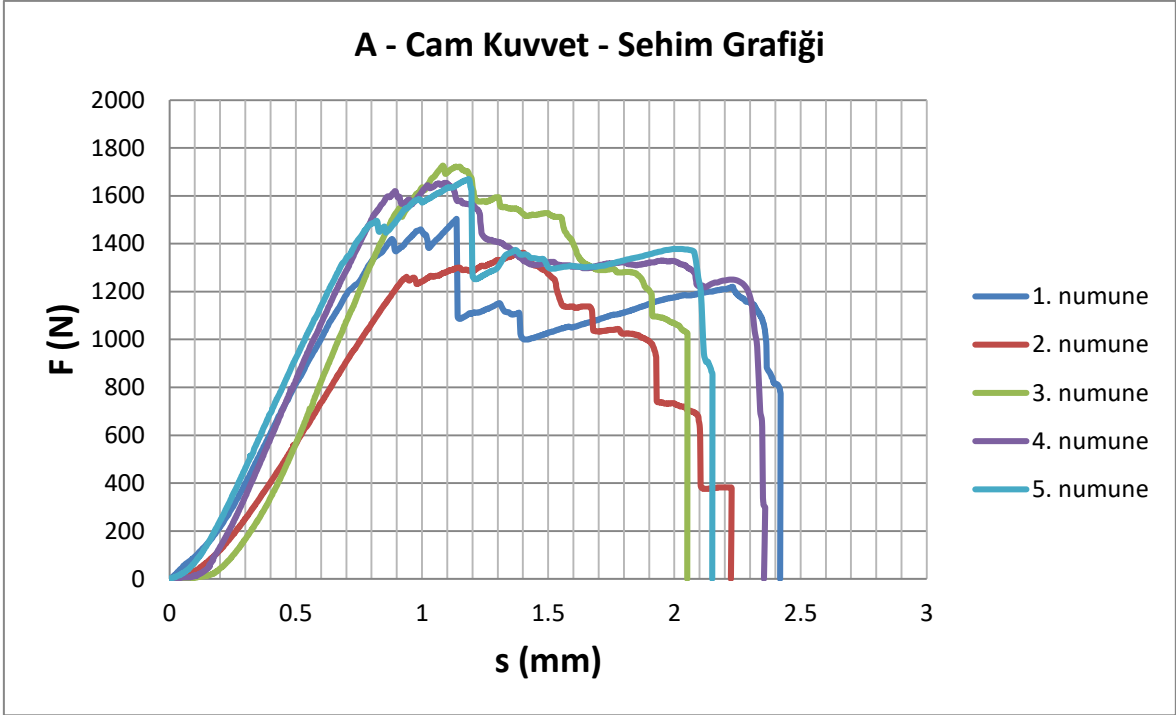
$$L = 5 \times h \pm 3r_1 = 5 \text{ mm}$$

$$r_2 = 2 \text{ mm}$$

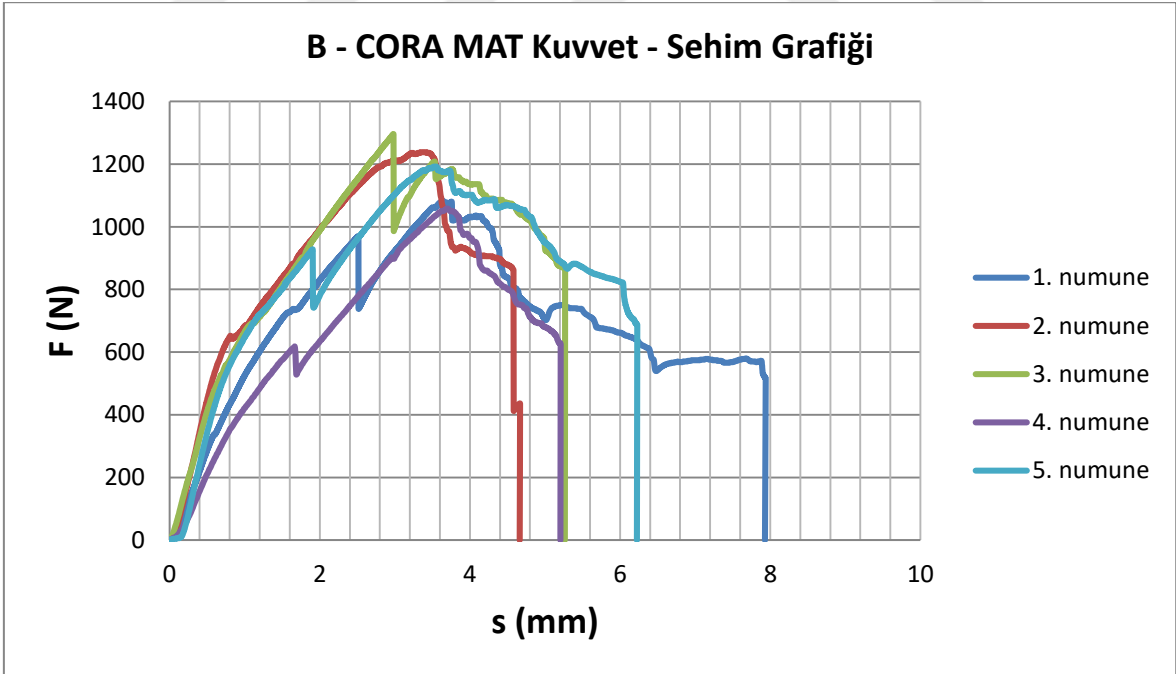
Şekil 4.45. Katmanlar arası kayma test numune ölçüsü



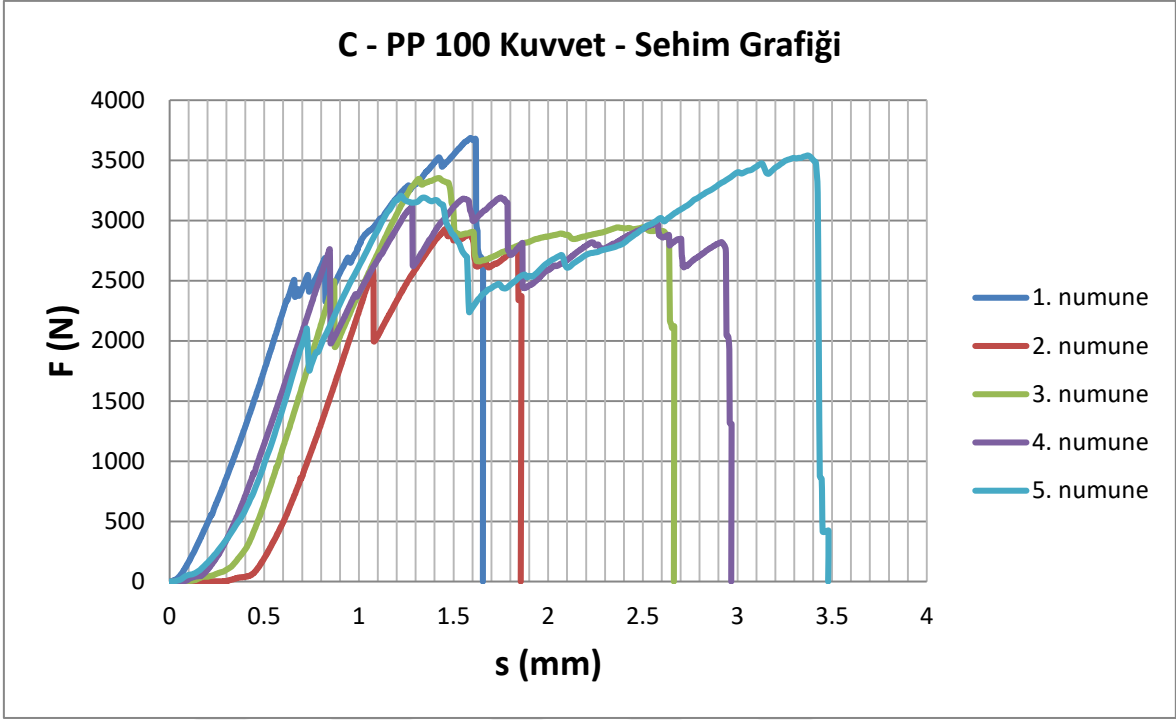
Resim 4.4. Katmanlar arası kayma testi



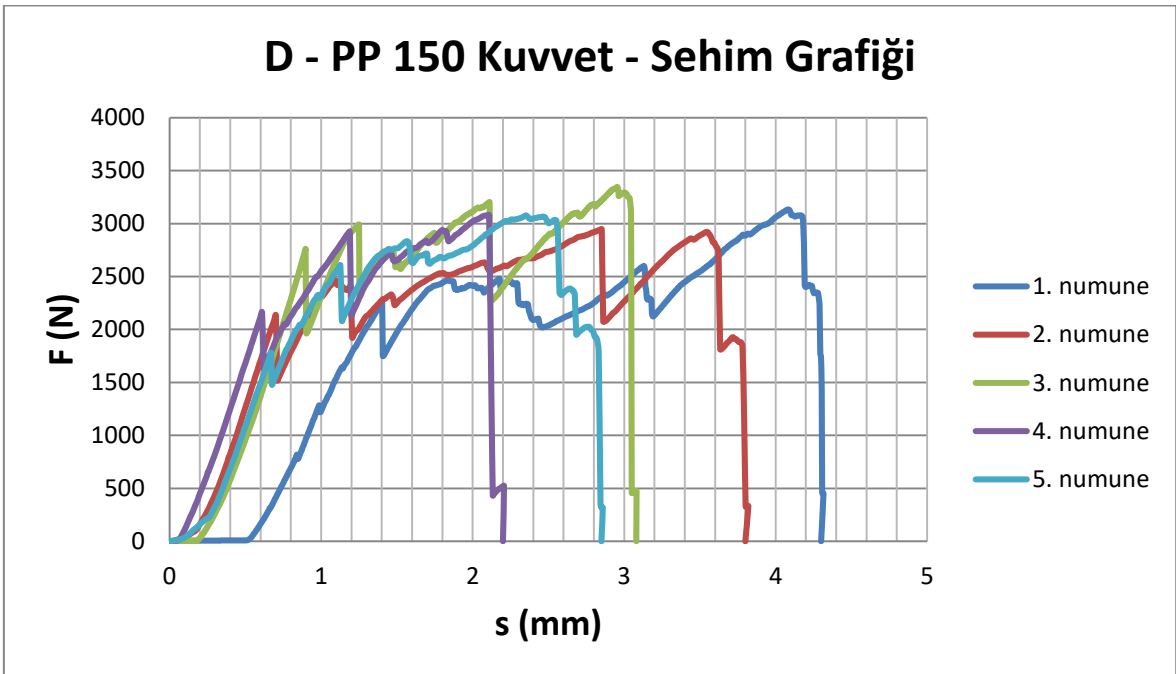
Şekil 4.46. A numunesi cam LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



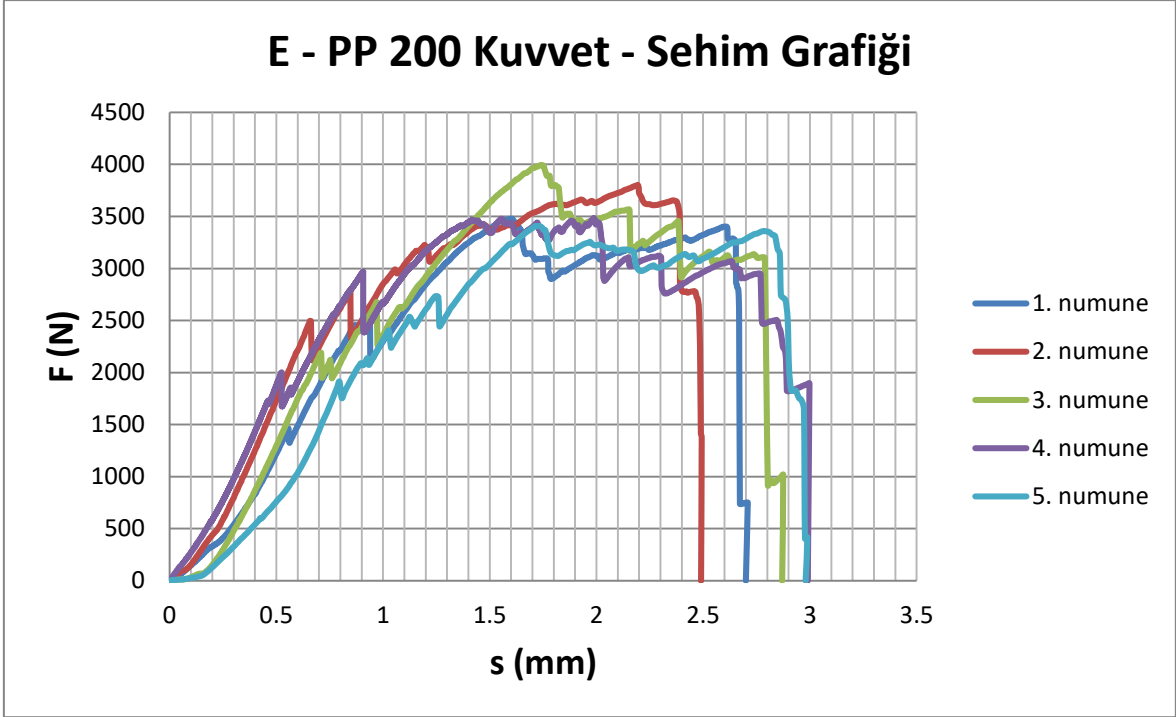
Şekil 4.47. B numunesi Cora Mat LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



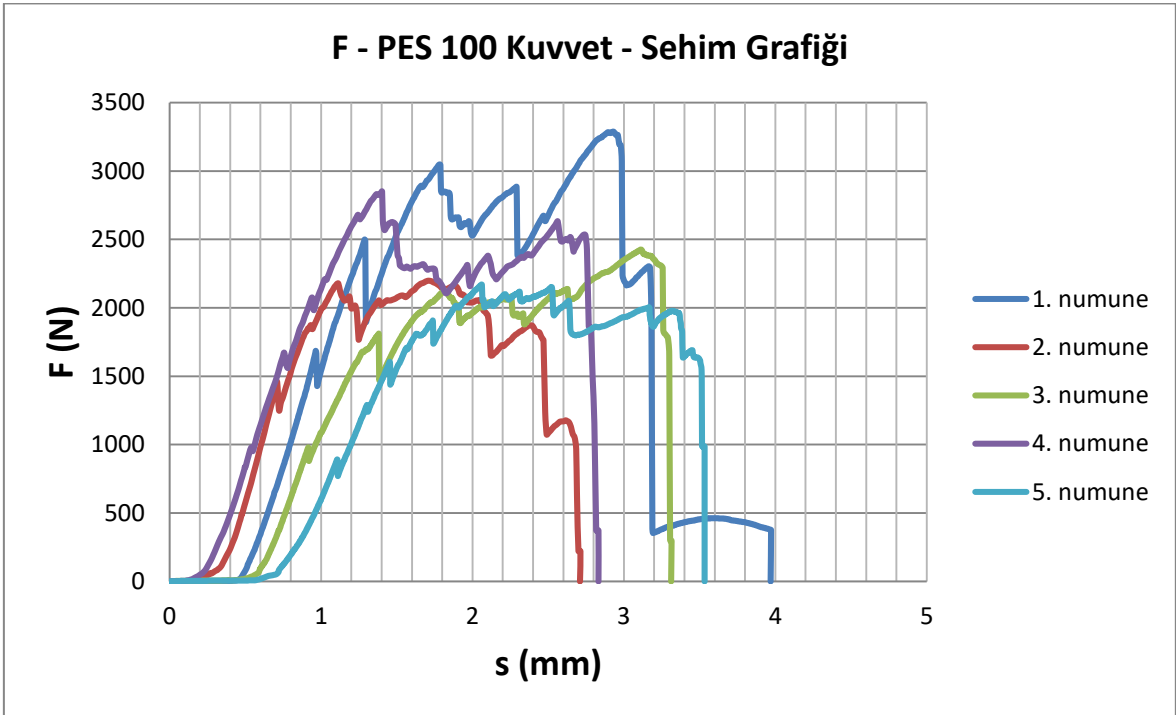
Şekil 4.48. C numunesi LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



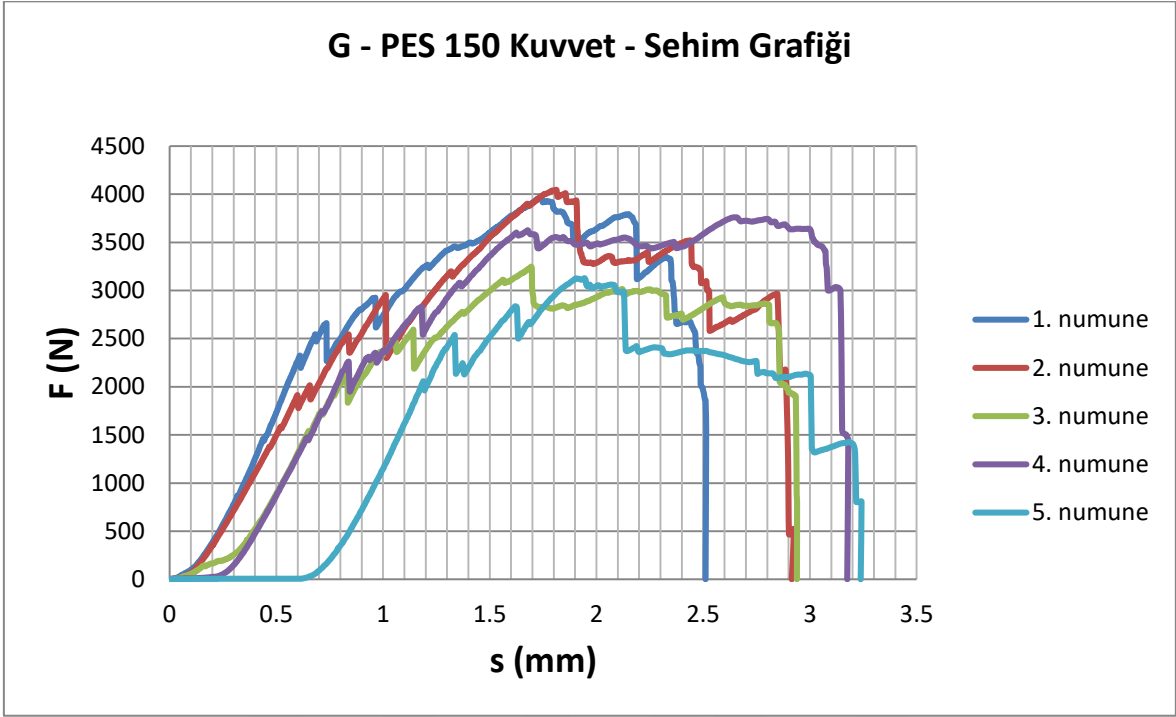
Şekil 4.49. D numunesi LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



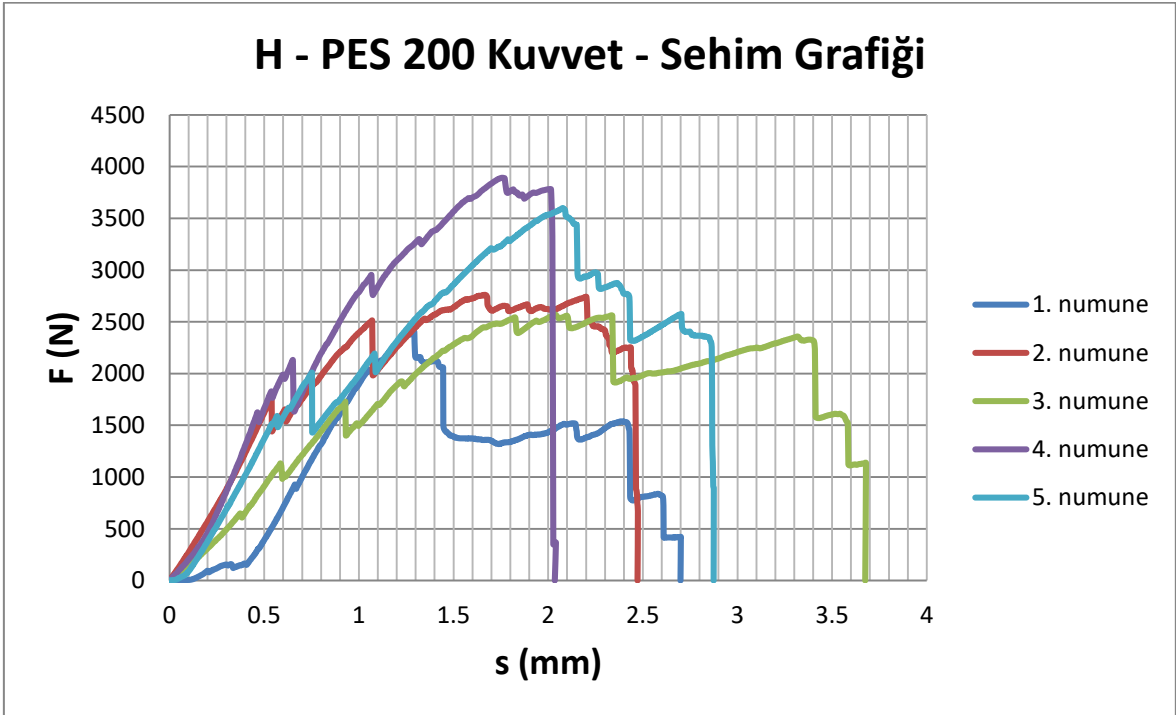
Şekil 4.50. E numunesi LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



Şekil 4.51. F numunesi LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



Şekil 4.52. G numunesi LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi



Şekil 4.53. H numunesi LW (iğne yönünde) katmanlar arası kayma testi

Çizelge 4.1. CW (iğne yönüne dik) yönlü numunelerin testi sonuçları.

GRUP KODU	EĞİLME		ÇEKME		BASMA	
	Mukavemet MPa	E. Modülü	Mukavemet MPa	E. Modülü	Mukavemet MPa	E. Modülü
A	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-
C	327,5	3614,7	113,6	6761,6	134,5	5649,1
D	186,3	10938	99,8	5899,98	135,5	4309,9
E	242,8	9694,75	79,4	5516,57	118,9	5227,7
F	198,7	10367,7	94,8	5843,5	164,4	5180,3
G	228	10134,7	95,1	6057,95	110,7	4753,9
H	254,7	11190,5	75,4	4899,54	138,6	4223,01

Çizelge 4.2. LW (iğne yönünde) yönlü numunelerin testi sonuçları.

GRUP KODU	EĞİLME		ÇEKME		BASMA		KATMANLAR ARASI KAYMA
	Mukavemet MPa	E. Modülü	Mukavemet MPa	E. Modülü	Mukavemet MPa	E. Modülü	Mukavemet MPa
A	163,8	8025,75	144,7	7292,04	159	5338,4	23,5
B	115,6	7253,25	74,4	3206,79	37,1	2111,82	7,04
C	196,6	7240,25	104,5	4915,56	141,7	5871,29	22,3
D	125,2	8282,05	61,2	4678,58	134,8	4558,88	14,6
E	204	9786	80,9	5839,84	119,3	3926,46	16,2
F	233	9354,5	91,4	5031,61	129,5	5341,61	21,9
G	262,4	12013,75	112,5	7121,60	143,9	4603,17	27,4
H	194	12418	74,8	5220,45	156,1	4657,25	18,5

Çizelge 4.3. Çekme mukavemetinin plaka kalınlığı ile kıyaslanması.

GRUP KODU	TABAKA SAYISI	ORTALAMA PLAKA KALINLIĞI (mm)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	
			Fiber Oryantasyon Açısı	
			CW	LW
A	5	3,72	-	144,7
B	5	5,86	-	74,4
C	5	3,88	134,5	104,5
D	5	5,56	135,5	61,2
E	5	5,14	118,9	80,9
F	5	4,18	164,4	91,4
G	5	4,64	110,7	112,5
H	5	5,66	138,6	74,8

Çizelge 4.4. Eğilme mukavemetinin plaka kalınlığı ile kıyaslanması.

GRUP KODU	TABAKA SAYISI	ORTALAMA PLAKA KALINLIĞI (mm)	EĞİLME MUKAVEMETİ (MPa)	
			Fiber Oryantasyon Açısı	
			CW	LW
A	5	3,78	-	163,8
B	5	4,26	-	115,6
C	5	4,7	327,5	196,6
D	5	3,72	186,3	125,2
E	5	5,16	242,8	204
F	5	4,08	198,7	233
G	5	5,96	228	262,4
H	5	4,8	254,7	194

Çizelge 4.5. Basma mukavemetinin plaka kalınlığı ile kıyaslanması.

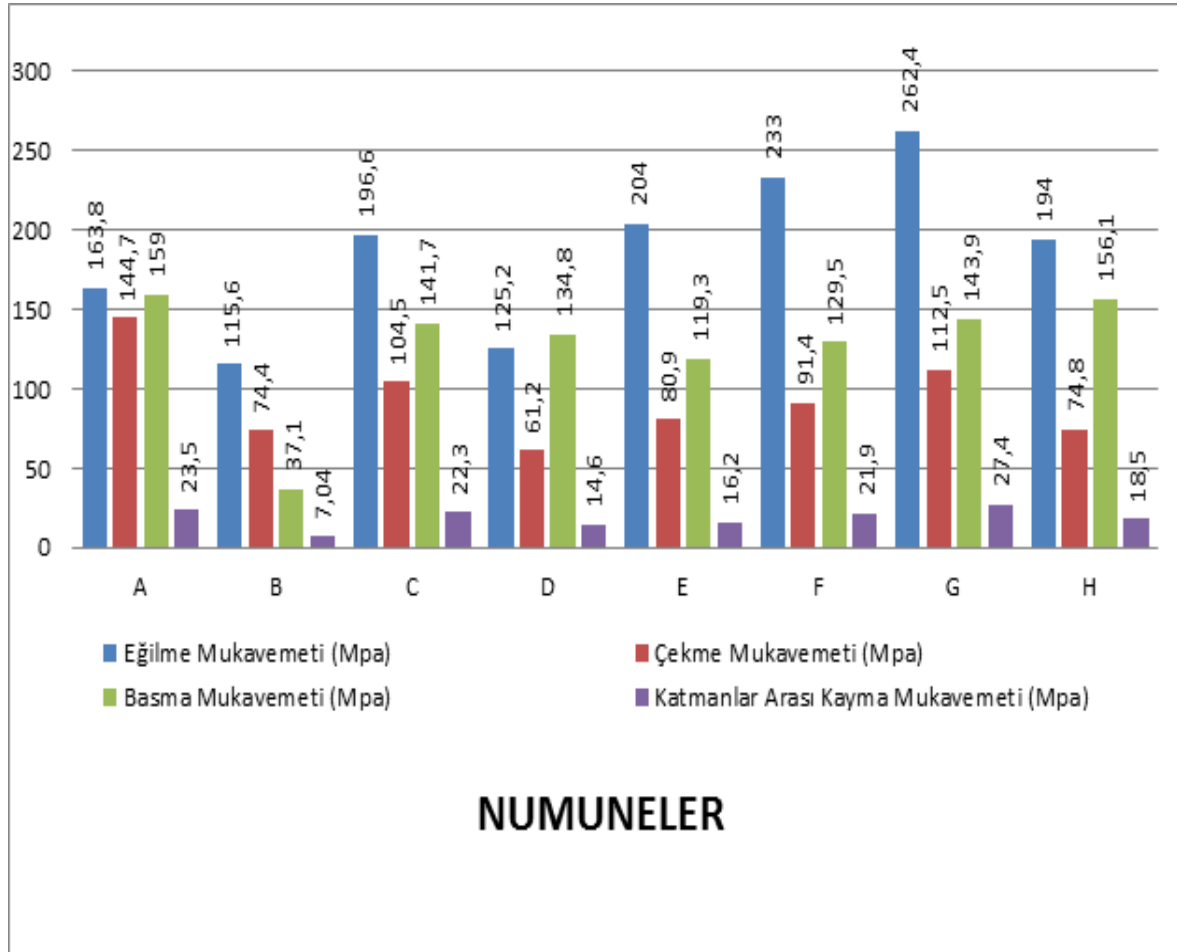
GRUP KODU	TABAKA SAYISI	ORTALAMA PLAKA KALINLIĞI (mm)	BASMA MUKAVEMETİ (MPa)	
			Fiber Oryantasyon Açısı	
			CW	LW
A	5	4,81	-	159
B	5	5,08	-	37,1
C	5	4,02	134,5	141,7
D	5	5,44	135,5	134,8
E	5	5,1	118,9	119,3
F	5	4,49	164,4	129,5
G	5	4,1	110,7	143,9
H	5	6,1	138,6	156,1

Çizelge 4.6. Katman arası kayma mukavemetinin plaka kalınlığı ile kıyaslanması.

GRUP KODU	TABAKA SAYISI	ORTALAMA PLAKA KALINLIĞI (mm)	KATMANLAR ARASI KAYMA MUKAVEMETİ (MPa)	
			Fiber Oryantasyon Açısı	
			CW	LW
A	5	3,29	-	23,5
B	5	5,15	-	7,04
C	5	4,1	-	22,3
D	5	5,92	-	14,6
E	5	5,34	-	16,2
F	5	4,56	-	21,9
G	5	4,13	-	27,4
H	5	5,58	-	18,5

4.1.2. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Cam keçe- cam dokuma – Core Mat – PES – PP tipi, istifleme sırası ve tabaka sayısı farklı olarak üretilen sekiz farklı dizilimi olan tabakalı kompozit plaka için elde edilen çekme, eğilme, basma, katmanlar arası kayma testi sonuçları Şekil 4.54.'deki grafikte karşılaştırılma olarak gösterilmiştir.

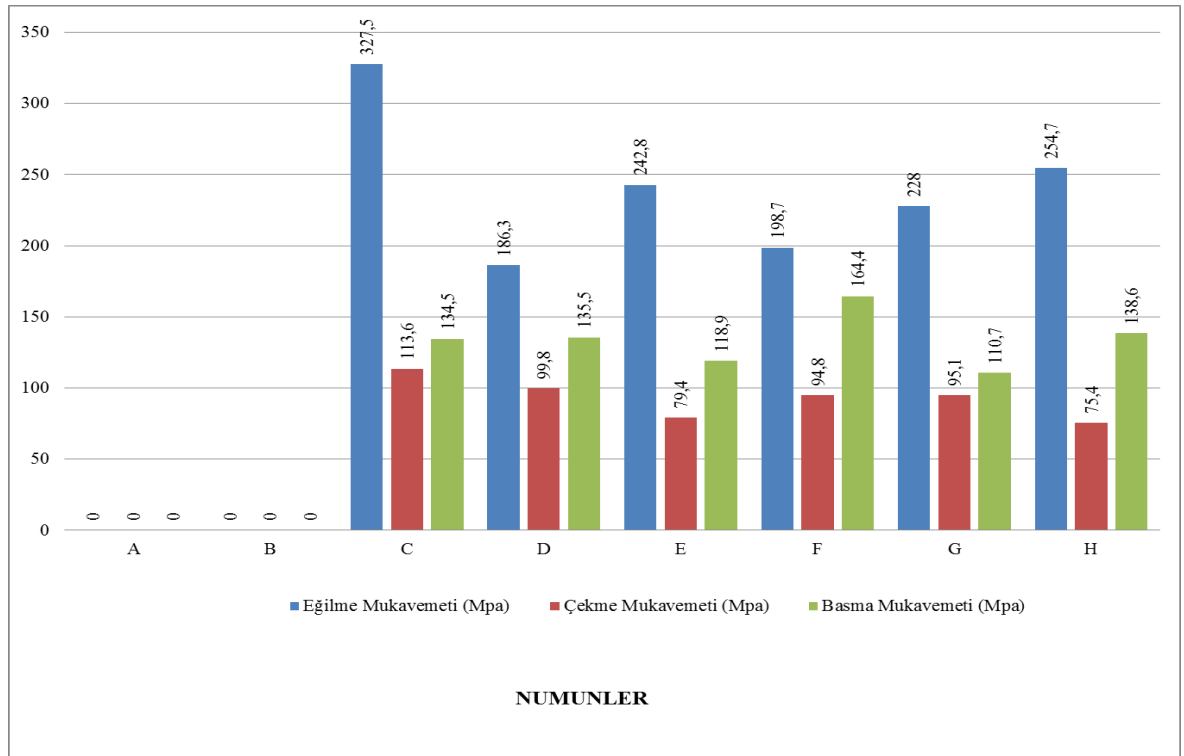


Şekil 4.54. LW yönlü numunelerin çekme, eğilme, basma, katmanlar arası kayma mukavemeti.

Fiber yönlendirmesi LW olan numunelerde en yüksek çekme mukavemeti beş tabakalı H grubu numunelerde, en düşük çekme mukavemeti ise beş tabakalı C plakalarda elde edilmiştir. İstifleme sırasında reçine geçirgenliği en düşük olan PP100 Polipropilen lifleri içeren kumaşın merkezde olması reçine geçirgenliğini olumsuz yönde etkilemiştir.

Reçine geçirgenliğinin düşmesi çekme mukavemetinin düşmesine neden olmuştur. En yüksek eğilme mukavemeti beş tabakalı H plakalarda elde edilirken, en düşük eğilme mukavemeti ise beş tabakalı A plakalarda elde edilmiştir. En yüksek basma mukavemeti beş tabakalı E plakalarda elde edilirken, en düşük basma mukavemeti ise beş tabakalı E plakalarda elde edilmiştir.

En yüksek katmanlar arası kayma mukavemeti beş tabakalı H plakalarda elde edilirken, en düşük katmanlar arası kayma mukavemeti ise beş tabakalı B plakalarda elde edilmiştir.



Şekil 4.55. CW Yönlü numunelerin çekme, eğilme, basma mukavemeti.

Fiber yönlendirmesi CW olan numunelerde en yüksek çekme mukavemeti beş tabakalı E grubu numunelerde, en düşük çekme mukavemeti ise beş tabakalı D plakalarda elde edilmiştir. En yüksek eğilme mukavemeti beş tabakalı G plakalarda elde edilirken, en düşük eğilme mukavemeti ise beş tabakalı C plakalarda elde edilmiştir. En yüksek basma mukavemeti beş tabakalı F plakalarda elde edilirken, en düşük basma mukavemeti ise beş tabakalı D plakalarda elde edilmiştir.

GRUP KODU	TABAKA SAYISI	KALINLIK (mm)	FİBER HACMİ (%)	LW				CW		
				Mukavemet (MPa)				Mukavemet (MPa)		
				Eğilme	Çekme	Basma	Katman	Çekme	Basma	Eğilme
A	5	3,9	47,1	163,8	144,7	159	23,5	-	-	-
B	5	5,08	30,8	115,6	74,4	37,1	7,04	-	-	-
C	5	4,11	33	196,6	104,5	141,7	22,3	113,6	134,5	327,5
D	5	5,16	27,5	125,2	61,2	134,8	14,6	99,8	135,5	186,3
E	5	5,18	23,9	204	80,9	119,3	16,2	79,4	118,9	242,8
F	5	4,50	28	233	91,4	129,5	21,9	94,8	164,4	198,7
G	5	4,70	32,5	262,4	112,5	143,9	27,4	95,1	110,7	228
H	5	5,53	23,4	194	74,8	156,1	18,5	75,4	138,6	254,7

Şekil 4.56. Plaka kalınlığı, çekme, eğilme, basma, katmanlar arası kayma mukavemeti karşılaştırması.

Test numunelerinin ortalama kalınlığı hesap edilmiş ve plaka kalınlığı olarak kabul edilmiştir. Sonuçların daha iyi gözükebilmesi için plaka kalınlıkları ve mukavemet değerleri Şekil 4.56 'da sayısal değerlerine göre renkli olarak gösterilmiştir. Yeşil renk en yüksek mukavemet değerlerini ve en düşük plaka kalınlığını ifade etmektedir. Kırmızı renk ise en düşük mukavemet değerini ve en yüksek plaka kalınlığını ifade etmektedir. Plaka kalınlıkları ve tabaka sayısına göre çekme, eğilme, basma, katmanlar arası kayma mukavemeti incelendiğinde plaka kalınlığı arttıkça mukavemet değerlerinin arttığı gözükmemektedir. Tabaka sayısının artması ise plaka kalınlığının genellikle artmasına neden olmaktadır.

Plakaların içerisinde bulunan birim alandaki fiber ağırlığı sabit olduğu için plaka kalınlığının azalması fiber oranının artmasını ve mukavemet değerlerinin daha yüksek çıkmasını sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar literatür araştırmasını destekler niteliktedir.

GRUP KODU	TABAKA SAYISI	BİRİM MALİYET	MALİYET DÜŞÜŞÜ %
A	5	5,0	
B	5	4,8	-3,8
C	5	4,3	-13,6
D	5	4,4	-11,3
E	5	4,6	-8,2
F	5	4,4	-12,1
G	5	4,6	-9,0
H	5	4,8	-5,0

Şekil 4.57. Tabaka sayısı 5 olarak sabit tutulduğunda A-B-C-D-E-F-G-H grup kodlarına göre birim maliyet ve % maliyet düşüşü.

Şekil 4.57’de cam elyaf tabaka sayısı 5 olarak sabit tutulduğunda A-B-C-D-E-F-G-H grup kodlarına göre oluşan birim maliyet ile A grup kodu baz alınarak %maliyet düşüşleri tabloda kıyaslı olarak gösterilmiştir. Bu maliyetler hesaplanırken kullanılan polyester, sertleştirici ve katalizör miktarları her bir grup için aynı olduğundan sadece cam elyaf katmanın maliyeti hesaba katılmıştır. Bu birim maliyetler A grup kodundaki ürün birim maliyetine göre kıyaslanarak her bir ürün grubu için maliyet % düşüşleri değerlendirilmiştir. Buna göre birim maliyet ve dolayısıyla %maliyet düşüşü en iyi C grubunda sağlanmıştır (%13,6 maliyet azalması). C grubunu F, D, G, E, H ve B takip etmektedir. Çalışmamızda B grubuna (Core SP) alternatif ve iyileştirme amaçlı yapılan tüm C-H gruplarında amaçlandığı şekliyle başarılı olduğu ve maliyet avantajı yaptığı görülmektedir. Bununla birlikte C grubunun tüm mukavemet değerleri B grubuna kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.56).

GRUP KODU	KALINLIK (mm)	BİRİM MALİYET *	MALİYET DÜŞÜŞÜ %
A	5,53	7,0	
B	5,53	5,3	-24,4
C	5,53	5,8	-17,3
D	5,53	4,85	-30,7
E	5,53	4,87	-30,5
F	5,53	5,4	-23,4
G	5,53	5,4	-23,3
H	5,53	4,8	-32,1

* Birim maliyet hesabı için sadece keçe fiyatları kullanılmıştır. Aynı kalınlığı elde

etmek için A grup kodu için polyester çok daha fazla kullanılması gerekmektedir. Aynı kalınlığı elde etmek için kullanılması gereken polyester miktarı, A-C-F-G-B-D-E-H grup kodları için bu sırayla azalmaktadır. Fazla polyester, katalizör ve sertleştirici fiyatları girilmemiştir.

Şekil 4.58. Plaka kalınlığı 5,53 mm olarak sabit tutulduğunda A-B-C-D-E-F-G-H grup kodlarına göre birim maliyet ve % maliyet düşüşü.

Şekil 4.58'de plaka kalınlığı 5,53 mm olarak sabit tutulduğunda A-B-C-D-E-F-G-H grup kodlarına göre oluşan birim maliyet ile A grup kodu baz alınarak %maliyet düşüşleri tabloda kıyaslı olarak gösterilmiştir. Bu birim maliyetler A grup kodundaki ürün birim maliyetine göre kıyaslanarak her bir ürün grubu için maliyet % düşüşleri değerlendirilmiştir. Buna göre birim maliyet ve dolayısıyla %maliyet düşüşü en iyi H grubunda sağlanmıştır (%32,1 maliyet azalması). H grubunu D, E, B, F, G ve C takip etmektedir. Maliyet düşüşünün yanısıra H grubu ürünlerinin eğilme, çekme, basma ve katmanlar arası kayma mukavemetleri sırasıyla 194 MPa, 74,8 MPa, 156,1 MPa, 18,5 MPa'dır. Tüm bu değerler B grubuna kıyasla (115,6 MPa, 74,4 MPa, 37,1 MPa, 7,04 MPa) çok daha yüksektir (Şekil 4.56).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Elde edilen kompozit plakalar için çekme ve üç noktadan eğilme gibi temel mekanik özellikler incelenmiştir. Test verilerine dayanarak optimum istifleme sırası ve tabaka sayısı plakanın kullanım yerine göre sonuçlara bakılarak karar verilebilir. Genel olarak aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Sabit koşullarda (ortam sıcaklığı 20 °C ve operatörün aynı olması) üretilen plakalarda iyi ıslanan cam dokumalar, kompozit plakanın mekanik özelliklerini arttırmıştır.
- Çekme ve Eğilme Mukavemet değerleri fiber açısından ciddi olarak etkilenmiştir. Bkz. Şekil 4.56 'da görüldüğü gibi fiber açısı LW 'den CW 'ye doğru yönde mukavemet değerleri düşmektedir.
- Katmanlar arası kayma mukavemeti LW (iğne yönünde) yönünden alınarak incelenmiştir. İncelemeler göz önüne alındığında Pes grubunun H 150 gr/m² numunesi en yüksek iken, Core SP B 90 gr/m² numunesi en düşük çıkmıştır.
- Basma mukavemeti hem LW (iğne yönünde) hem de CW (iğne yönüne dik) olarak incelenmiştir. İncelemeler göz önüne alındığında her iki yönde de PP grubunun E 200 gr/m² numunesi en yüksek iken Core SP B 90 gr/m² numunesi en düşük çıkmıştır.
- Çekme mukavemetine bakıldığında Cam A 450 gr/m² numunesi en yüksek çıktığını gözlemlerken, çekmede en düşük değeri Core SP B 90 gr/m² numunesinin aldığını gözlemledik. Eğilme mukavemetin de PES 150 gr/m² numunesi en yüksek değer çıkarken en düşük değer yine Core SP B 90 gr/m² numunesinin olduğunu gözlemlenmiştir.
- Türkmen ve Köksal (2013) 'nın çalışmalarıyla tutarlı olarak bu çalışmada da benzer şekilde plaka et kalınlığı arttıkça mukavemet sonuçlarının da arttığı tespit edilmiştir.
- Bu çalışmada, geri dönüşüm ürünü olan Poliester (PES) keçelerinde cam elyaf miktarı arttıkça (%23,4'den %32,5'a) mekanik mukavemet hem iğne yönünde (194 MPa'dan 262,4 MPa'ya) hem de iğne yönüne dik olarak (75,4 MPa'dan 95,1 MPa'ya) artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçları Lee ve arkadaşlarının farklı cam elyaf yüzde oranları içeren kompozit malzemeler üzerinde bulmuş oldukları çalışma

desteklemektedir [34]. Bahsi geçen çalışmada cam elyaf içeriği arttıkça mekanik mukavemetin de arttığı bulunmuştur.

- Yukarıda tablolarla verilen mukavemet ve maliyet değerlerine bakıldığında (Şekil 4.56-58 arası), sanayide birim zamanda daha fazla ürün üretimine olanak sağlaması açısından PES grubundan H grubunun B grubu yerine kullanılması tavsiye edilebilir. Öte yandan yüksek cam oranı ve aynı katman sayısı kullanıldığındaki en iyi maliyet düşüşü sağlaması açısından PP grubundan C grubu tavsiye edilebilir.
- Gerek PES grubu gerekse de PP grubu numuneleri çalışmamızda da amaçlandığı üzere, Grup B'ye maliyet, uygulama kolaylığı ve mukavemet açısından üstün gelmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] http://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit_malzemeler
- [2] <http://www.netcomposites.com/education.asp>
- [3] Turhan, M., "Ctp'lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya, (2007).
- [4] Öğrenci, H.D., "Mekanik Olarak Bağlanmış Kompozitlerin Dayanımı", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2012).
- [5] Kaw, A.K., Mechanics of composite materials, USA: CRC press, (2005).
- [6] Kovan, V., "Plastik Malzeme Türleri ve Bunların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Deney ve Yöntemler", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Denizli, (2002).
- [7] Ünal, O., Yapı Malzemeleri Ders Notları, Afyonkarahisar: AK Ü. Teknik Eğitim Fak., (2006).
- [8] Şahin, M., "Burkulmaya Maruz Tabakalı Kompozit Plakların Deneysel ve Nümerik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, (2008).
- [9] Koruvatan, A., "Farklı Kür Sıcaklığı ve Sürelerinde Üretilen Tabakalı Kompozit Plakaların Pimli/Civatalı Bağlantılarının Hasar Analizinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2008).
- [10] Demirel, A., "Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [11] (5 Aralık 2015) <http://www.camelyaf.com.tr/>, (2015).
- [12] Sakin, R., "Bilgisayar Destekli, Çok Numuneli Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve Cam-Fiber Fiber Takviyeli Polyester Kompozitlerde Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi ", Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2004).
- [13] <http://www.mkn.itu.edu.tr/~arana/IML212-N9.pdf>
- [14] http://www.camelyaf.com/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php

- [15] Schwartz, M. M., 1984. Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, Inc., United States of America.
- [16] Mazumdar, S. K., 2002. Composite Manufacturing Materials, Product and Process Engineering, CRC Press LLC, Florida.
- [17] <http://www.bactechnologies.com/images/montage.jpg>
- [18] <http://www.pultechfrp.com/>
- [19] Mazumdar, S. K., 2002. Composite Manufacturing Materials, Product and Process Engineering, CRC Press LLC, Florida.
- [20] <http://www.plastech.co.uk/Images/JEC%20RTM%20Diagram.jpg>
- [21] http://i2.photobucket.com/albums/y32/dandbesales/compression_molding.gif
- [22] <http://cache.eb.com/eb/image?id=1662&rendTypeId=4>
- [23] http://www.djmetalrep.com/injection_molding.jpg
- [24] www.aeroform.co.uk
- [25] <http://www.ilkalem.com.tr>
- [26] <http://www.plasto.com.tr>
- [27] Trajković, D., Stepanović, J., Šarac, T., Stojiljković, D., & Đorđić, D., 2015, “The prediction of elastic limit of nonwoven geotextiles made of virgin and recycled polyester fibers”, Journal Of Textile&Apparel/Tekstil Ve Konfeksiyon, 25(3), 229-235.
- [28] Başer, İ., 1992, Elyaf Bilgisi, Marmara Üniversitesi yayımları, 524, İstanbul, 179.
- [29] Seventekin, N. 2003, Kimyasal Lifler, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi, İzmir, 68.
- [30] TS EN ISO 5079: Tek Lif Kopma Kuvveti
- [31] Erdoğan, Ü. H., 2008, “Jeotekstillerde kullanılan polipropilen liflerin kullanımındaki özelliklerinin çeşitli metodlarda incelenmesi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [32] Yazıcı M., Ülkü S., —İki Boyutlu Rasgele Dağılı E-Cam Lifi/Polyester Matris Kompozitlerde Yükleme Hızının Mukavemet Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 2003.

- [33] Lee N. J., Jang J., —The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibre mat/polypropylene composites, Composites Part A, 815-822 pp., 1999.
- [34] Jang J., Han S., —Mechanical properties of glass-fibre mat/PMMA functionally gradient composites, Composites Part A, 1045-1053 pp., 1999.
- [35] Uysal A., —Rüzgar Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, İSTANBUL.
- [36] Türkmen, İ., Köksal, N.S., 2013. Cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde (CTP) elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2), 17-30.
- [37] Sakin, R., Daban, Y., 2015. Rtm yöntemiyle üretilen cam/polyester kompozit plakalarda cam-dokuma tipi, istifleme sırası ve tabaka sayısının mekanik özelliklere etkisi. Uluslar Arası Katılımlı III. Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, Kuşadası.
- [38] CAN, M. U., GÖK SADIKOĞLU, T.: “Anaokulları için koruyucu kompozit duvar kaplaması tasarımı” (2009)
- [39] ENG, K.M., M. MARIATTI. 2006. Effect of Different Woven Linear Densities on the Properties of Polymer Composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites. (25) 13: 1375-1383.
- [40] Sarıbyık M., Turhan M. ve Sarıbyık A., “Cam elyaf takviyeli plastiklerin mekanik özelliklerine elyaf hacim oranının etkileri”, Beşinci Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, (2009).
- [41] Calvin D. and Austin, “Buckling of symmetric laminated fiberglass reinforced plastic (FRP) plates”, Master’s Thesis, B.S. in Civil Engineering University, Pittsburgh, 2: 5-62 (2003).
- [42] TS EN ISO 527-4: Plâstikler - Çekme özelliklerinin tayini - Bölüm 4: İzotropik ve ortotropik elyaf takviyeli plâstik kompozitler için deney şartları
- [43] TS EN ISO 14125: Plastik kompozitler - Elyaf takviyeli - Eğilme özelliklerinin tayini
- [44] ASTM D 695-15: Plastik kompozitler - Elyaf takviyeli - Basma özelliklerinin tayini
- [45] TS EN ISO 14130: Plastik kompozitler - Elyaf takviyeli - Katmanlar arası kayma mukavemeti - Kısa kiriş metodu

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖRGÜLÜ, Gülşah
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.10.1991 Kocasinan/KAYSERİ
Medeni hali : Evli
e-mail : gulsahheken@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Uşak Üniversitesi/ Tekstil Mühendisliği	2015
Lise	Behice Yazgan Kız Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-	Pultech-FRP Kompozit Yapı Tekno. İmalat San. Ve Tic. A.Ş.	Kalite Kontrol Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce