

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
BAĞLANTILARINDA HİGROTHERMAL ETKİLER**

FATMA EBRU ALTINSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İrfan AY (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Sare ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Can Çivi

BALIKESİR, 17.01.2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fatma Ebru ALTINSOY tarafından hazırlanan “KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK BAĞLANTIRLARINDA HİGROTHERMAL ETKİLER” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 17.01.2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman

Prof. Dr. İrfan AY
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Prof. Dr. Sare ÇELİK
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Can Çivi
Celal Bayar Üniversitesi

İmza



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR



ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK BAĞLANTILARINDA HİGROTERMAL ETKİLER**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.


Fatma Ebru Altınsoy

ÖZET

**KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK BAĞLANTILARINDA
HİGROTERMAL ETKİLER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FATMA EBRU ALTINSOY
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. İRFAN AY)

BALIKESİR, OCAK - 2020

Günümüzde kompozit malzemeler artan öneme ve uygulama alanına sahiptir. Bu uygulama alanlarında sağlıklı ve uzun ömürlü şekilde kullanılabilmesi için çevresel etmenlere ve diğer malzemelerle bağlantı şekillerine önem verilmektedir. Bu tez çalışmasında cam elyaf takviyeli epoksiden üretilmiş kompozit numunelerin mekanik bağlantıları üzerinde çalışılmıştır. Çapraz katlı ve yarı izotropik cam elyaf / epoksi kompozit numuneler standartlarda belirtildiği şekilde higrotermal şartlandırılmıştır. Ardından yine standartlara bağlı kalarak mekanik bağlantılarındaki dayanımlarını belirlemek için mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Higrotermal şartlandırılmayan numunelerin mekanik özellikleri ile karşılaştırılıp higrotermal etkinin cam elyaf/epoksi kompozit malzemelerin mekanik bağlantısı üzerindeki etkileri sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Cam fiber takviyeli polimer (CFTP) kompozitler, kompozitlerde mekanik bağlantı, kompozitlere higrotermal etki.

Bilim Kod / Kodları : 91417/93103/91512

Sayfa Sayısı : 69

ABSTRACT

HYGROTHERMAL EFFECTS ON MECHANICAL JOINTS OF COMPOSITE MATERIALS

MSC THESIS

FATMA EBRU ALTINSOY

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF.DR. İRFAN AY)

BALIKESİR, JANUARY - 2020

Nowadays, composite materials are of increasing importance and application area. In this application areas, environmental factors and joints with other materials are given importance in order to be used in a healthy and long lasting way. In this thesis, mechanical joints of e-glass fiber reinforced epoxy composite samples were studied. Cross-ply and quasi-isotropic e-glass fiber / epoxy composite samples were hygrothermal conditioned as specified in the standards. Then, mechanical tests were performed to determine the strength of the mechanical joints. The impacts of hygrothermal effect on the mechanical joint of e-glass fiber / epoxy composite materials are presented by comparing the mechanical properties of hygrothermal conditioned and non-hygrothermal conditioned samples.

KEYWORDS: E-glass fiber reinforced polymers(GFRP) composites, mechanical joints of composites, hygrothermal effect on the composites.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
Fatma Ebru Altınsoy	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Malzemeler	2
1.2 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. GENEL BİLGİLER	14
3.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	14
3.1.1 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	14
3.1.2 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler	15
1.3.2.1 Cam Fiberler.....	16
3.2 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları.....	17
3.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	19
3.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	20
3.4.1 Sürekli Fiber Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	21
3.4.1.1 Vakum İnfüzyon Üretim Yöntemi	24
3.4.1.1.1 Vakum İnfüzyon Yönteminin Avantajları Ve Dezavantajları	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMASI	27
4.1 Deney Numuneleri Malzemeleri	27
4.2 Deney Numunelerinin Üretimi	28
4.2.1 Deney Numunelerinin Üretim Aşamaları	28
4.3 Deney Numunelerinin Higrotermal Şartlandırılması.....	32
4.4 Higrotermal Şartlandırılmış Mekanik Bağlantılı Numunelerin Çekme Testleri.....	36
5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	39
5.1 Higrotermal Şartlandırılmış Çapraz Katlı Numuneler	39
5.1.1 Higrotermal Şartlandırılmış ve Şartlandırılmamış Çapraz Katlı Numunelerin Karşılaştırılması	43
5.2 Higrotermal Şartlandırılmış Yarı İzotropik Numuneler	50
5.2.1 Higrotermal Şartlandırılmış ve Şartlandırılmamış Yarı İzotropik Numunelerin Karşılaştırılması	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
7. KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Polimer matrisli kompozitlerde takviye çeşitleri.....	15
Şekil 3.2: Kompozit malzemelerin uygulama alanları.....	18
Şekil 3.3: Kompozit malzemelerin uygulama alanları.....	18
Şekil 3.4: Kompozit Malzemeler Üretim Yöntemleri [43].	21
Şekil 3.5: Fiber sarma yöntemi[43].....	22
Şekil 3.6: Pultrüzyon üretim yöntemi[44].....	22
Şekil 3.7: El yatırma üretim yöntemi[44].	23
Şekil 3.8: Otoklav üretim yöntemi[44].	24
Şekil 3.9: Vakum İnfüzyon Yöntemi Uygulaması[48].	25
Şekil 4.1: Metyx L300-E10C cam elyaf kumaş görüntüsü[53].	27
Şekil 4.2: Cam elyaf kumaşından numune üretimi için parça kesimi.....	28
Şekil 4.3: Üretim yapılan masanın üzerine akış filesinin yerleştirilmesi.....	29
Şekil 4.4: Soyma kumaşı ve elyafların dizilimi.	29
Şekil 4.5: Elyafların üzerine soyma kumaşı ve akış filesinin yerleştirilmesi.	30
Şekil 4.6: Reçine hattının kurulumu.	30
Şekil 4.7: Vakum hattının tamamlanması ve sistemin kapatılması.....	31
Şekil 4.8: Reçinenin elyaflara gönderilmesi.	31
Şekil 4.9: Numune teknik resmi.....	32
Şekil 4.10: Numunenin CNC tezgâhta kesimi.	32
Şekil 4.11: 100x100 mm numuneler.	33
Şekil 4.12: 100x100 numunelerin su banyosunda şartlandırılması.....	33
Şekil 4.13: 100x100 numunelerin torbalarda bekletilme şekli.....	34
Şekil 4.14: 100x100 numunelerin ölçümden önce kurutulması.....	34
Şekil 4.15: 100x100 numunelerin kütlelerinin ölçümü.	35
Şekil 4.16: Nem absorpsiyon grafiği.....	35
Şekil 4.17: Numunelerin su banyosunda şartlandırılması.....	36
Şekil 4.18: Numunelerin örnek fotoğrafı[42].....	37
Şekil 4.19: Test metal aparatları ve pim.....	37
Şekil 4.20: Numune bağlantı resmi ve test makinesi.	38
Şekil 5.1: Şartlandırılmış C1 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.	39
Şekil 5.2: Bir C1 numunesinin temsili resmi.	40
Şekil 5.3: Şartlandırılmış C2 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.	41
Şekil 5.4: Bir C2 numunesinin temsili resmi.	41
Şekil 5.5: Şartlandırılmış C3 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.	42
Şekil 5.6: Bir C3 numunesinin temsili resmi.	42
Şekil 5.7: C1 şartlandırılmamış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.	44
Şekil 5.8: C1 şartlandırılmış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.	44
Şekil 5.9: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış C1 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği..	45
Şekil 5.10: C2 şartlandırılmamış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.	46
Şekil 5.11: C2 şartlandırılmış bir numune kuvvet –uzama grafiği.	46
Şekil 5.12: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış C2 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.	47
Şekil 5.13: C3 şartlandırılmamış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.	48
Şekil 5.14: C3 şartlandırılmış bir numune kuvvet –uzama grafiği.	48
Şekil 5.15: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış C3 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.	49
Şekil 5.16: Şartlandırılmış Q1 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.	50

Şekil 5.17: Bir Q1 numunesinin temsili resmi.....	50
Şekil 5.18: Şartlandırılmış Q2 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.....	51
Şekil 5.19: Bir Q2 numunesinin temsili resmi.....	52
Şekil 5.20: Şartlandırılmış Q3 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.....	53
Şekil 5.21: Bir Q3 numunesinin temsili resmi.....	53
Şekil 5.22: Şartlandırılmamış bir Q1 numunesinin kuvvet –uzama grafiği.....	54
Şekil 5.23: Q1 şartlandırılmış numune kuvvet –uzama grafiği.....	55
Şekil 5.24: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış Q1 numuneleri.....	55
Şekil 5.25: Q2 şartlandırılmamış numune kuvvet –uzama grafiği.....	56
Şekil 5.26: Q2 şartlandırılmış numune kuvvet –uzama grafiği.....	57
Şekil 5.27: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış Q2 numuneleri.....	57
Şekil 5.28: Q3 şartlandırılmamış numune kuvvet –uzama grafiği.....	58
Şekil 5.29: Q3 şartlandırılmış numune kuvvet –uzama grafiği.....	59
Şekil 5.30: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış Q3 numuneleri.....	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi [2].....	1
Tablo 4.1: Metyx L300-E10C cam elyaf kumaş özellikleri [53].....	27
Tablo 4.2: Hexion Marka LR160 epoksi reçine mekanik özellikleri [53].....	28
Tablo 5.1: C1 ve C1-H numunelerinin çekme testi sonuçları.....	45
Tablo 5.2: C2 ve C2-H numunelerinin çekme testi sonuçları.	47
Tablo 5.3: C3 ve C3-H numunelerinin çekme testi sonuçları.....	49
Tablo 5.4: Q1 ve Q1-H numunelerinin çekme testi sonuçları.	56
Tablo 5.5: Q2 ve Q2-H numunelerinin çekme testi sonuçları.	58
Tablo 5.6: Q3 ve Q3-H numunelerinin çekme testi sonuçları.....	60

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında kompozit malzemelerin mekanik bağlantısında higrotermal etkiler araştırılmıştır. Öncelikle değerli tecrübeleriyle yol gösteren danışmanım Prof. Dr. İrfan Ay hocama, bu çalışmayı yapabilmem için ihtiyacım olan dersleri ve alt yapıyı sağlayan ve bir yıl boyunca danışmanım olarak akademik alanda beni donatan Sn. Akın Ataş hocama; deney çalışmasını gerçekleştirebilmem için numune hazırlama sürecinde çabalarını ve yardımlarını eksik etmeyen Arş.Gör. Fatih Balıkoğlu'na, Oğuzcan İnal'a, sevgili aileme, ağabeyim Onur Kalender ve ailesine; tez sürecinde teorik ve pratikteki tüm çalışmalarımda desteğini esirgemeyen yine Arş. Gör. Fatih Balıkoğlu, Arş.Gör.Tayfur Kerem Demircioğlu, Arş. Gör. Türker Türkoğlu' na, zorlandığım her konuda bana destek olan Özge Biçer ve Berat Yıldırım arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Fatma Ebru Altınsoy

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze çağlar boyunca insanlar yaşamlarını sürdürebilmek için birçok yöntem aramışlardır. İnsanların taşları kullanarak başlayan bu yolculuğu günümüzde kompozit malzemelerle ve birçok farklı malzemelerle devam etmektedir. İnsanlar kompozit malzemeleri yüzyıllar öncesinde doğada bulunan haliyle kullanmaya başlamıştır. Doğada bulunan ağaç reçinesi, ağaç gövdesi ise kompozit malzeme için en iyi örneklerdendir. Özellikle çam ağaçlarının gövdeleri doğada bulunan kompozit malzemelerin güzel bir örneğidir. Çam ağacının içi kışın sert ve kırılkan, yazın ise yumuşak ve esnektir. En ilkel kompozit malzeme örneği ise saman takviyeli kerpiçlerdir. Günümüzde en çok kullanılanlar ise; cam fiber takviyeli reçine, tungsten-molibden takviyeli alüminyum, karbon ve fiber takviyeli plastiklerdir [1]. Kompozit malzemelerin geçmişten günümüze gelişimi aşağıdaki Tablo 1. 1 gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi [2].

Saman takviyeli kerpiç	M.Ö. 800, Mısır
Hayvan tendonları ve ipekten yapılmış tabakalı yay	M.Ö. 700'ler Moğolistan
Katkılı elyaftan havacılık malzemeleri	1910'lar
Elyaf takviyeli fenolik reçine	1930'lar
Cam fiber takviyeli plastikler	1940'lar
Boron ve karbon fiber ve kompozitleri	1960'lar
Kevlar 49® (Aramid) ve kompozitleri	1970'ler

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin de hızlanmasıyla otomotiv sektöründen havacılık ve uzaya, sağlık sektöründen savunma sanayisine kadar birçok alanda kompozit malzemeler geliştirilerek kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin bu kadar geniş alana yayılmasının en önemli nedeni iki malzemenin üstün özelliklerinin buluşmasıyla ve bu malzemelerin zayıflıklarının giderilerek kullanım alanına göre güçlü bir malzeme üretilebilmesidir. Böylece günümüz teknolojisinin gereksinimini karşılayabilecek nitelikte malzeme üretilebilmektedir.

1.1 Kompozit Malzemeler

En az iki farklı malzemenin makroskopik düzeyde, birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Amaç ise bileşenlerde tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerin (hafiflik, dayanım, esneklik, vb.) geliştirilmesi ve bir araya getirilmesidir [3].

1.2 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzemeler metaller, seramikler ve plastikler gibi malzemelere göre sağladıkları avantajlardan dolayı özellikle mekanik ve termal alanda pek çok mühendislik problemine yenilikçi çözümler sunmuştur.

Metallerin yoğun olarak kullanımının ardından 1900'ü yılların ortalarından itibaren plastikler hayatımıza girmiştir. Plastiklere kolay şekil verilebilmesi, yoğunluklarının daha az olması, korozyona karşı dayanıklı olması ve yüzey kalitesinin çok daha iyi olması gibi önemli avantajlarıyla kullanım alanları oldukça artmıştır. Ancak bu üstün özelliklere rağmen sertlik ve mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle bunları iyileştirmek ve plastikleri daha güçlü bir malzeme haline getirebilmek için çalışmalara başlanmış 1950'li yıllarda polimer esaslı kompozitler ortaya çıkmıştır. Mukavemetin yüksek olması, sertlik, termal ve boyutsal kararlılık sağlaması ve aşınmaya karşı dayanım kompozit malzemelerin başlıca özellikleridir. Günümüzde enerji tasarrufunu göz önüne aldığımızda aynı zamanda daha hafif olan malzemeler tercih sebebi olmaktadır. Tüm bu özellikleriyle kompozit malzemeler pek çok alanda avantaj sahibidir [1].

Metaller, yüksek mukavemet ve mekanik özellikleri sebebiyle çok fazla tercih edilmelerine rağmen korozyon gibi çevresel etkenlerden dolayı tasarımları ve uygulama alanları sınırlı kalmıştır. Korozyon aynı zamanda yapısal uygulamalar, köprüler, gemiler, bisikletler vb. gibi birçok aracın ömrünü azaltmaktadır. Bu da kompozit malzemelerin uygulama alanlarının artmasının diğer bir nedenidir.

Metaller ve plastikler dışında yaygın olarak seramikler kullanılmaktadır. Seramikler ise düşük yoğunlukları sebebiyle hafiftirler ve yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Ancak bu yüksek mukavemet değeri seramikleri gevrek kılmaktadır, bu da kolayca kırılmalarına sebep olur. Kompozit malzemeler ise hem düşük yoğunlukları ve hafiflikleri sebebiyle hem

de yüksek mukavemet değerleriyle günümüzde daha yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir.

Teknolojide kompozit malzemeler, 1940'lı yıllarda havacılık sektörüne hizmet vermek üzerine geliştirilmeye başlanmıştır. Amaç çelik ve alüminyum alaşımları gibi konvansiyonel malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı ancak daha mukavemetli ve daha yüksek sertlik değeri, aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu değerlerine sahip malzemelerin geliştirilmesiydi [4].

Kompozit malzemeler fiber ve matris dediğimiz iki ayrı bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Kompozit malzeme içindeki fiberin görevi yükü taşımak ve rijitliği sağlamaktır. Matrisin görevi ise yükü fiberlere iletirken malzemeyi darbe gibi çevresel etmenlerden koruması ve tokluğunu sağlamasıdır. Malzemeye gelecek herhangi bir darbeye yükü homojen olarak malzeme içine dağıtarak yük altındaki malzemenin daha az zarar görmesini sağlamaktır. Bazı geleneksel malzemeler ve en çok kullanılan fiber çeşitlerinin mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo 1. 2 gibidir.

Tablo 1.2: Bazı geleneksel malzemeler ve fiberlerin mekanik özellikleri [3].

	Özgül Ağırlık	Young Modülü (GPa)	E/ρ (GPa m ³ /kg)	E ^{1/2} / ρ (Pa ^{1/2} -m ³ /kg)	E ^{1/3} / ρ (Pa ^{1/3} -m ³ /kg)
Grafit fiber	1,8	230	0,1278	266,4	3.404
Kevlar fiber	1,4	124	0,08857	251,5	3.562
Glass fiber	2,5	85	0,034	116,6	1.759
Tekyönlü grafit/epoksi	1,6	181	0,1131	265,9	3.535
Tekyönlü cam/epoksi	1,8	38,6	0,02144	109,1	1.878
Çapraz-katlı grafit/epoksi	1,6	95,98	0,06	193,6	2.862
Çapraz-katlı cam/epoksi	1,8	23,58	0,0131	85,31	1.593
Yarı-izotropik grafit/epoksi	1,6	69,64	0,04353	164,9	2.571
Yarı-izotropik cam/epoksi	1,8	18,96	0,01053	76,5	1.481
Çelik	7,8	206,84	0,02652	58,3	0,7582

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kumar ve diğerleri [5] V913 polimer matris ve tek yönlü Rcam elyaf kullanarak higrotermal etkiyi araştırmışlardır. Bunun için 0.24 mm nominal kat kalınlığı ve fiber /hacim oranı 0.5 olan bir lamina kullanmışlardır. Numune %1 nem emilimi için 71 ± 2 °C ve 85 ± 4 Rh (bağıl nem) bir çevrede tutularak şartlandırılmıştır. Rcam takviyeli kompozit malzemenin nihai çekme dayanımının %8, ortalama eğilme dayanımının %11, laminar kayma dayanımının da %13 oranında azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca bu çalışmayla nemin epoksi matrisini plastikleştirdiğini ve camsı geçiş sıcaklığını düşürdüğünü göstermişlerdir. Fiber ve matris ara yüzünde nem varlığı kompozit malzemenin mukavemetini azaltmaktadır. Bu nedenle nem genellikle matris ve/veya matris-fiber ara yüzünde hakim olan özellikleri olumsuz etkiler. Matris hakim özelliklerden biri olan ILSS (laminalar arası kayma mukavemeti) nemli koşullarda azalır. Ancak gerilme dayanımı ve bükülme, fiber hakim özelliklerden olduğundan mukavemet azalması sadece fiberlerin nemden etkilenmesiyle meydana geldiğini belirtmişlerdir..

Doğan ve Ataşın [6] yapmış olduğu çalışmada cam elyaf-epoksi numuneler bir ve iki hafta boyunca 50-70-90°C suya daldırılmıştır. Hem daldırma süresinin hem de sıcaklığın malzemeye etkisini araştırmışlardır. Yaşlandırma süresi arttıkça gerilme dayanımı, Poisson oranı, elastik modülü gibi mekanik özelliklerin azaldığı görülmüştür. Yaşlandırılmayan numunenin kayma dayanımı 77 MPa iken, 1000 saatlik maruz kalmanın sonunda numunelerin kayma dayanımı 52 MPa olduğu görülmüştür. Bu, bozulmanın yaklaşık %32,4 olduğu anlamına gelir. Yaşlanma süresi arttıkça Poisson oranı giderek azalmıştır. Bu çalışmada Poisson oranı, yaşlanma süresi 500 saate çıktıkça yavaş yavaş azalmış, ardından küçük bir artış gerçekleşip sabit kalmıştır ve azalma yaklaşık % 17. 7 olarak belirtilmiştir. Numuneler yaşlanma sonucu daha kırılğan hale geldikleri belirtilmiştir.

Cunha ve diğerleri [7] karbon bant-epoksi kompozit malzemeleri oda sıcaklığında, yüksek sıcaklıkta ve tuz spreyli ortamda şartlandırarak test etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda şartlandırılmayan ve oda sıcaklığında test edilen kompozit malzemeler yüksek sıcaklıkta test edilenlerle karşılaştırıldığında mekanik özelliklerin (mukavemetin) %16. 2' lik bir düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. Öte yandan, tuz sprey odasında şartlandırılan ve yüksek sıcaklıkta test edilen numuneler, oda sıcaklığında test edilen numunelere göre mukavemeti %25. 8 azalma göstermiştir. Bu sonuçlar, yüksek sıcaklık testinin etkisinin, polimerik

matrisin ve / veya fiber-matris ara yüzünün bozulmasına bağlı olarak basma dayanımını düşürdüğünü doğrulamışlardır.

Soutis ve Türkmen [8] yaptıkları çalışmada karbon fiber takviyeli numuneleri sıcak-kuru ve sıcak-ıslak ortamda şartlandırmışlardır. Ardından numunelerin mekanik testleri yapılarak şartlandırıldıkları ortamın etkileri incelenmiştir. Yaptıkları deneyler ve testler sonucunda;

- Nemin sadece reçine tarafından emildiğini, fiberlerin nem emmediğini, bunun sonucunda da nem emmiş reçinenin camsı geçiş sıcaklığının azalıp reçinenin yumuşamasına neden olduğuna ve fiberlerin mikro hasara uğrayıp laminanın erken hasar vermesi sonucuna ulaşılmıştır.
- Çok yönlü laminanın difüzyon hızının tek yönlü laminadan yaklaşık %30 daha yüksek olduğunu bunun da muhtemelen suyun plaka boyunca dağılabilmesi için daha fazla girişe ve 45° tabakanın daha fazla ara yüzey emilimine sahip olduğunu belirtmişlerdir.
- 100° kuru-sıcak ortamda yapılan çalışmayla malzemenin basma mukavemeti %30 azalma, hasar gerinmesinde %0,96'dan %0,73'e düşüş görülmüştür. Bunun nedeni, epoksi reçinesinin sertliğinin, artan sıcaklık ile önemli ölçüde azalmasıdır; kayma modülü yaklaşık % 20 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Tek eksenli matris modülündeki basıncın azalması, fiberlerin daha az desteklenmesi anlamına gelir ve bu da kompozit malzemenin düzlem dışı fiber mikro kırılmalara neden olarak erken hasara uğramasına yol açacağını belirtmişlerdir.

Numunelerin incelenmesiyle sıcak-nemli koşullarda yapılan şartlandırma sonucunda numunenin ortasında hasar olduğu ve yüklem eksenine neredeyse dik olarak büyüdüğü görülmüştür. Artan sıcaklık fiber/matris ara yüzünün zayıflamasına yol açtığını, fiberlerin düzlemsel bükülmesini artırdığını ve sonucunda bozulmuş basma mukavemeti oluştuğunu söylemişlerdir.

100° nemli-sıcak ortamda yapılan çalışmada malzemenin basma dayanımı %38 oranında azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak sıcak-ıslak koşullarda test edilen numunelerin mukavemet özellikleri önemli ölçüde azaldığını ve nihai hasar, daima düzlem dışı elyaf mikro kırılmasıyla meydana geldiğini söylemişlerdir. Bunun ana nedeni artan sıcaklık ve

çevresel şartlandırmanın yol açtığı ara yüzdeki zayıflamalar ve matris mukavemet özelliklerindeki azalmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Kumar ve diğerleri [9] ASTM D 5529/D 5229-92 standardına göre numuneler hazırlamışlar ve numuneleri su içine koymadan önce 24 saat fırında tutularak numunelerin nemi almışlardır. Deney sırasında ise her 7 günde bir numuneler damıtılmış su banyosundan çıkarılmış, ağırlık ve boyutları ölçülmüştür. Numunelerin her 4 haftada bir mekanik testleri yapılmış ve deney 24 hafta sürmüştür. Bu çalışmanın sonucunda boyuna gerilme mukavemeti, şartlandırma sürecinin ilk ayında %25-30 azalmış ve sürecin geri kalanında sabit kaldığını söylemişlerdir. Enine gerilme mukavemeti, maruz kalma süresi boyunca azalan bir eğilim göstermiş, boyuna gerilme modülü ise ilk 2 aylık süre boyunca azalmış daha sonra da sabit kalarak devam ettiğini belirtmişlerdir. Düzlem dışı kayma mukavemeti maruz kalma süresi boyunca artan – azalan eğilim göstermiş olduğunu söylemişlerdir. Enine gerilme modülü, düzlem dışı kayma modülü ve Poisson oranı maruz kalma süresi boyunca sabit kalmıştır.

Collings ve Stone [10] karbon fiber malzemeden ürettikleri numuneleri 5 farklı çevre şartlarına göre incelemişlerdir. Bunlardan biri de laminaların neme maruz kalması ve nemin malzemeye olan etkisini incelemek olmuştur. Bunun için 60°C ve %96 RH (bağıl nem) ortam seçilmiştir. Sonuç olarak 0°/90° laminaların nem alma oranı, tek yönlü laminalarinkinden yüksek olduğu bunun da sürekli artık gerilmelere bağlı olduğunu göstermişlerdir. Bu ortama maruz kalma süresi boyunca laminalar arası kayma mukavemetinin de azaldığı görülmüştür. 256 gün maruz kalma sonrasında laminalar arası kayma mukavemeti, maruz kalma öncesi mukavemetinin %83'üne düştüğünü belirtmişlerdir.

Yinghui ve diğerleri [11] cam elyaf / kompozit numunelerle yaptıkları çalışmada yaşlandırma sırasında nem emilimi matris malzeme tarafından gerçekleştiğini görmüşlerdir. Bunun sonucunda da matris malzemesinin plastikleşerek mukavemetinde önemli düşüşler olduğunu göstermişlerdir. Yaşlandırma süresi arttıkça da kayma mukavemetinin azaldığı görülmüştür. 3 ay yaşlandırmadan sonra yorulma dayanımı önemli derecede düşmüştür. Bunun nedeni olarak matris bozulması, plastikleşme, oksidasyon ve zincir kırılması olarak belirtilmiştir.

Sathishkumar ve diğeri [12, 13, 14, 15] cam fiber takviyeli numunelerle çalışmalar yapmışlardır ve bu çalışmalarında su absorpsiyonunu çeşitli periyodlarla ve çevresel şartlarda test etmiştir. Sıcaklık ve bağıl nem arttıkça malzemenin daha fazla nem emdiğini görmüşlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda da absorbe edilen nem miktarı arttıkça ve maruz kalınan sıcaklık arttıkça malzemenin mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiği görülmüştür.

Alvarez ve Vazquez'in [16] yaptıkları çalışmada cam fiber/vinilester kompozit malzemelerdeki nemle birlikte mekanik özelliklerinin azalmasındaki temel sebeplerinden birinin ara yüzdeki adezyonun olumsuz etkilenmesi olduğunu söylemişlerdir. Malzemenin, başlangıçta $E=8.3$ GPa ; $\sigma =79.2$ MPa iken;

- 20°C şartlandırma sonucunda $E=8$ GPa ; $\sigma =68.9$ MPa,
- 40°C şartlandırma sonucunda $E= 7.4$ GPa ; $\sigma =58.1$ MPa,
- 60°C şartlandırma sonucunda $E= 6.6$ GPa ; $\sigma =48.2$ MPa

olduğu görülmüştür. Bu deneyler sonucunda da sıcaklık ve neme maruz kalma süresi arttıkça malzemenin ara yüzündeki bozulmalar sebebiyle mekanik özelliklerin düştüğü gösterilmiştir.

Guzman ve Brondsted [17] cam fiber takviyeli kompozit malzemeler üzerinde uzun süre boyunca nemin etkisini incelemek için çalışmalar yapmışlardır. Bunların sonucunda da tek yönlü numunelerin elastik özelliklerinde %12-%16 arasında bozulmalar olduğunu göstermişlerdir. Çok yönlü numunelerin elastik modülünde ise boyuna %7 enine %13 oranlarında azalmalar olduğunu görmüşlerdir. Bu elastik özelliklerdeki azalmayı elyaf ve matris arasındaki bozulmalardan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Hu ve diğerlerinin [18] cam fiber /polydicyclopentadiene (pDCPD) numuneleriyle yaptıkları yaşlandırma çalışmalarında cam elyafın bozulmasının esas olarak yaşlandırma süresine göre belirlenirken, ara yüz bozulmasının ise matristeki nem seviyesine göre belirlendiğini göstermişlerdir. Matris tarafından daha fazla su emilimi ara yüzün bozulma hızını arttırmış ve ara yüz kılcal difüzyon yolları haline gelmiştir bunun sonucunda da temas alanı artmış ve malzemeye su difüzyonunun hızlanmış olduğunu göstermişlerdir.

Hem pDCPD kompozitler hem de epoksilerde arayüz bozulmaları nem emme seviyeleriyle doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Person ve diğerleri [19] flax fiber/epoksi malzemeleriyle çalışmışlardır. Numuneleri 70°C sıcaklıkta ve %85RH ortamda şartlandırmışlardır. Malzemenin absorbe ettiği su miktarı arttıkça, gerilme-gerinim eğrisinde önemli değişiklikler meydana gelmiş, dinamik elastisite modülünde azalma ve sönüm oranında yaklaşık %50 gibi büyük bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Barjasteh ve Nutt [20] cam ve karbon fiberlerle takviye edilmiş hibrit malzemelerle çalışmalar yapmışlardır. Numuneler 100 gün boyunca 60°C-%85RH ortamda şartlandırılmıştır. Şartlandırma sırasında malzemede meydana gelen plastikleşme ve şişme malzemenin çekme geriliminde, ara yüz dayanımında ve yük transfer kabiliyetinde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Çekme dayanımının şartlandırma sonucunda %6 oranında azaldığını göstermişlerdir. Neme maruz kalmış malzemede artık gerilmelerin oluştuğunu ve bu artık gerilmelerin de malzemede higrotermal etkiyi artırarak malzemenin nem alımındaki artışa ve malzemenin mekanik özelliklerinin daha kötü etkilenmesine neden olduğunu söylemişlerdir.

Fitriah ve diğerleri [21] 45°, 55°, 63° sarma açıları olan cam elyaf takviyeli-epoksi boru numunelerini 80°C musluk suyunda 500, 1000 ve 1500 saat şartlandırmışlardır. Basma testleri sırasında da oda sıcaklığı, 45°C ve 65°C sıcaklık uygulanmış, sıcaklık arttıkça numunelerin mukavemetinin önemli ölçüde azaldığını görmüşlerdir. En yüksek basma dayanımını 45° dizilimi gösterirken açı arttıkça basma dayanımının azaldığını göstermişlerdir. Yaşlandırma süresi arttıkça malzeme daha fazla nem absorbe etmiş, matris fiber bozulması daha fazla gözlenmiş ve matris plastikleşmesi meydana gelmiştir. Yapılan mekanik testler sırasında da enine kayma kırılması, lokal burkulma ve ilerleyici burkulma olmak üzere 3 hasar moduna rastlamışlardır.

Zafar ve diğerleri [22] karbon ve cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerde uzun dönem higrotermal etkinin sonuçlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda higrotermal etkiye maruz kalmanın, matris alanının rijitliğini ve matrisin fiberle olan bağlarını zayıflattığını göstermişlerdir. Neme maruz kalma aynı zamanda matrisin camı geçiş sıcaklığını da düşürmüştür. Şartlandırma süresinin arttıkça malzemenin mekanik

özelliklerindeki azalmanın arttığını bunu da matris malzemenin nem absorpsiyonundan sonra şişmesine bağlamışlardır.

Guermazi ve diğerleri [23] cam epoksi, karbon epoksi ve hibrit numunelerle higrotermal etkiyi inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre malzemenin nem emme davranışının sıcaklığa bağlı olduğunu söylemişlerdir ve bu sıcaklığın malzeme bozulmasındaki ana faktör olduğunu söylemişlerdir. Uzun süre nem ve sıcaklığa maruz kalan numuneleri modüllerinde ve dayanımlarında azalma, hasar dayanımında ve aşınma direncinde ciddi azalmalar meydana gelmiştir. Tüm bu mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesinin temel nedeni olarak matris plastikleşmesini göstermişlerdir.

Eslami ve diğerleri [24] cam elyaf takviyeli vinilester kompozit numunelerle çalışmışlardır. Nemli koşullara maruz kalan numunelerde mekanik bozulmalar meydana geldiğini görmüşlerdir ve sıcaklık arttıkça bu bozulmaların da arttığını söylemişlerdir. Sıcaklık arttıkça difüzyon kat sayısı artmış ve malzemedeki nem yüzdesi de artmıştır. Nem absorbe etmiş malzemelerin hasar dayanımında ciddi azalma ve burkulma testlerinde maksimum yer değiştirme meydana geldiğini söylemişlerdir. Elyaf matris bağının ve sonuç olarak kompozit malzemenin stabilitesinin nem absorpsiyonuna karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermişlerdir.

Vauthier ve diğerleri [25] tek yönlü cam elyaf takviyeli epoksi numunelerinin mekanik olarak testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yorulma testleri sırasında özellikle nem ve yüksek sıcaklık (70°C) varlığında çatlakların ilerleme oranında önemli artışlar olduğunu söylemişlerdir. Kompozit malzeme ömrünün nemin varlığında önemli derecede azaldığını gözlemlemişlerdir. Bunun nedeni olarak da matris malzemesinin plastikleşmesini ve çatlak olan bölgede fiberlerin zayıflamasını ileri sürmüşlerdir.

Boukhoulde ve diğerleri [26,27] cam elyaf takviyeli epoksilerle yaptıkları çalışmada fiberlerin oryantasyonunun nem absorpsiyonunu etkileyip etkilemediğini incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin imalat kalitesinin nem emilimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu, malzemede var olan kusurlar su emilimini önemli ölçüde artırıp malzeme bozulmasını hızlandırdığını belirtmişlerdir. En düşük nem konsantrasyonunun 90° diziliminde olduğunu, en yüksek nem konsantrasyonunun ise 0° diziliminde olduğunu ve bunun nedeni olarak da dizilimlerin nem dağılımını etkilemesinden kaynaklı olduğunu

göstermişlerdir. Düşük açılarda nem difüzyonunun daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Yine sıcaklık arttıkça difüzyon katsayısının arttığını ve difüzyonun hızlandığını, nemin esas olarak reçine tarafından absorbe edildiğini ve reçinenin bu durumdan olumsuz etkilenerek önemli derecede rijitlik kaybına sebep olduğunu söylemişlerdir. Bu oryantasyon çalışmasıyla ilgili olarak Larbi ve diğerleri de fiber açılarını incelemişlerdir. 0 °, ± 30 °, ± 45 °, ±55° ve 90 ° cam elyaf takviyeli epoksi numuneleri 6 ay boyunca 60°C suda yaşlandırarak çalışmalar yapmışlardır ve tek yönlü laminaların daha fazla nem absorbe ettiğini göstermişlerdir.

Miyano ve Nakada [28] karbon fiber takviyeli numunelerin mekanik bağlantısında higrotermal etkiyi incelemişlerdir. Kürlenmiş örnekleri fırında 150°C’ de 2 saat bekleterek ‘kuru’ örnekler, kuru örnekleri 80°C sıcak suda 48 saat yaşlandırarak ‘ıslak’ örnekler ve bu ıslak örnekleri 150°C fırında bekleterek ‘ıslak-kuru’ örnekler hazırlamışlardır. Numunelerin su içeriğini, şartlandırmadan önce ve sonra tartarak belirlemişlerdir. Yapılan testler sonucunda su emiliminin malzeme ömrüne önemli derecede etkisinin olduğunu göstermişlerdir. Yapıda oluşan herhangi bir mikro çatlakın nem varlığında laminaların ayrılmasına yol açabileceğini söylemişlerdir.

Altan ve Topçu [29] cam elyaf takviyeli epoksi ile yaptıkları çalışmada higrotermal etkinin kelebek bağlantılarına etkisini araştırmışlardır. Numuneleri %50±5 bağıl nemde (oda koşulları) ve %95±5 bağıl nemde (nemli koşul) şartlandırmışlardır. Nemli koşulda bulunan numunelerin esneklik modülünün oda koşullarında bulunanlarda %1 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda bu azalmanın %1,4 civarında olduğunu göstermişlerdir. Nemli koşullarda oda sıcaklığından 100°C ‘ye çıkılması durumunda elastik modülün %18,9 civarında düştüğünü göstermişlerdir. Ortamın neminin %50 civarında olduğu ve sıcaklıkta aynı artış olduğu zaman bu düşüşün %17 civarında olduğu görülmüştür. Bunlar da sıcaklığın mekanik özellikler üzerindeki etkisinin daha fazla olduğunu göstermiştir. Kelebek bağlantılardaki yük taşıma değerlerinin ise cam elyaflar ve matris arasındaki ara yüze yerleşen su kütesinin etkisinden dolayı bir miktar azaldığını belirtmişlerdir.

Alamri ve Low [30] higrotermal etkinin geri dönüştürülmüş selüloz fiber takviyeli epoksi kompozitler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 2 hafta boyunca neme maruz kalmış numunelerle kuru numuneleri karşılaştırmışlardır. Bunun sonucunda da 2 hafta neme

maruz kalmak fiber-matris ara yüzünde adezyonun bozulması nedeniyle bükülme mukavemetinde, bükülme modülünde ve kırılma tokluğunda bir azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Nem absorpsiyonunun mekanik özelliklere olan etkisi yüksek fiber içeriği olan numunelerde daha belirgin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Berketis ve diğerleri [31] cam elyaf takviyeli epoksi kompozit numunelerle çalışmışlardır. 30 aya kadar 65°C suda şartlandırılan numunelerin mikro yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Higrotermal etkinin, malzemenin mikro yapısal bütünlüğünü etkileyerek birçok hasara neden olduğunu söylemişlerdir. Bu şartlandırmanın aynı zamanda malzemenin elastik özelliklerini de azalttığını belirtmişlerdir. Higrotermal şartlandırma sebebiyle başlangıçta fiber/matris ara yüzü boyunca kılcal çatlaklar görülmüş daha sonra bu kılcal çatlakların büyüyerek yüzey çatlakları haline geldiğini söylemişlerdir. Bunun da muhtemel ozmotik etkilerin, suyun kompozit malzemeye nüfuz etmesine neden olacağını belirtmişlerdir.

Fang ve diğerleri [32] cam elyaf takviyeli epoksi kompozit numunelerle çalışmışlardır. Nem emiliminin, malzeme suya ilk daldırıldığında hızlı bir şekilde olduğu ve malzeme doygunluğa ulaştıkça su emiliminin azaldığını gözlemlemişlerdir. GFRP malzeme su emdikçe Tg düşmüş ve plastikleşme belirtileri göstermiştir. 6 aylık şartlandırma sürecinden sonra numunelerin;

- Tg → %2.9
- Çekme mukavemeti → %15.5
- Bükülme dayanımı → %13.5
- Bükülme modülü → %5.8

azalmıştır. Bu düşüşlerin ana sebebinin ara yüzdeki reçine hidrolizinin ve fiberlerin ayrılmasının neden olduğunu belirtmişlerdir.

Jiang ve diğerleri [33] cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerle çeşitli sıcaklık ve nemlilik koşullarında çalışmışlardır. Nemin elyaf yönü boyunca yayılmaya meyilli olduğunu tespit etmişlerdir. Çevre sıcaklığının, lif yönü boyunca nem difüzyon hızlarına egemen olduğunu göstermişlerdir. Polimer gevşemesinin yüksek sıcaklık tarafından önemli ölçüde

hızlandırıldığını belirtmişlerdir. 40°C–Su koşullarında yaşlandırılmış örnekler 20°C-%50RH (bağıl nem) koşulunda yaşlandırılan örneklerden 6 kat daha fazla nem emdiğini belirtmişlerdir. 40°C–Su koşulunda, fiber takviyeli malzemelerin neme bağlı bozulma sürecini önemli ölçüde hızlandırabileceğini doğrulamışlardır.

Hawa ve diğerleri [34] cam elyaf epoksi numunelerinde higrotermal etkiyi araştırmışlardır. Reçine içeriğinin ve fiber-matris bağının bozulmasındaki artışın yaşlandırma süresinin artmasıyla artacağını söylemişlerdir. Higrotermal etkinin matris bozulmasına ve laminatların ayrılmasına neden olacağını belirtmişlerdir. Numuneler 80°C suda 500, 1000, 1500 saat şartlandırılmışlardır. Yapılan patlama testi sonucuna göre malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki gibi etkilendiğini belirtmişlerdir.

- Başlangıçta eksenel gerilme → 113.80MPa
- 500 sa. sonunda eksenel gerilme → 90.71MPa
- 1000 sa. sonunda eksenel gerilme → 55.57 MPa
- 1500 sa. sonunda eksenel gerilme → 49.49 MPa
- Başlangıçta gerinim → %0.32
- 500 sa. Sonunda gerinim → %0.24
- 1000 sa. Sonunda gerinim → %0.11
- 1500 sa. Sonunda gerinim → %0.06

Bu sonuçlara göre higrotermal etkinin malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediğini doğrulamışlardır.

Soykok ve diğerleri [35] cam elyaf fiber takviyeli epoksi malzemelerin mekanik bağlantıları hakkında çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre;

- Numunelerin şartlandırma süresi ve buldukları su sıcaklığı arttıkça malzemenin nem alma miktarının da artabileceğini,
- Daha yüksek sıcaklıklarda bekletilen numunelerin daha düşük maksimum hasar yükü sergileyebileceğini,
- Sıcak suda şartlandırma süresinin kompozit bağlantıların çekme yükündeki davranışını oldukça etkileyebileceğini, uzun daldırma sürelerinin mekanik

bağlantılı malzemelerde kademeli olarak mukavemet düşüşüne neden olabileceğini,

- 70°C ve 90°C gibi aşırı sıcak suda şartlandırma deneylerinin, mekanik bağlantılı malzemelerde neme bağlı plastikleşme ve kırılan fiber uçlarının matris içinde serbest kalması sebebiyle matris malzemesinin mekanik özelliklerini önemli derecede yitirdiğini belirtmişlerdir.

Sethi ve Ray [36] fiber takviyeli polimerik kompozitlerde higrotermal etkiyi araştırmışlardır. Fiber matris ara yüzünün malzeme içerisinde en çok gerilen bölge olduğunu belirtmişlerdir. Nemli ve sıcak koşullara maruz kalan malzemelerin ara yüz adezyonunun bozulacağını, ara yüzde mikro değişimlerin meydana geleceğini, fiber takviyeli kompozitin yapısında ve performansında önemli değişikliklerin olabileceğini, malzemenin mekanik özelliklerinin bozularak kullanımının sınırlanabileceğini söylemişlerdir. Çünkü nem ve sıcaklığın hasar başlatıp bunun yayılmasına neden olduğunu ve matris çatlağı, delaminasyon büyümesi ve lif kırılması gibi hasar modlarına yol açtığını belirtmişlerdir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin keskin sınırlarla bir sınıflandırma sistemi olmamasına rağmen genel olarak malzemeyi oluşturan matris ve takviye elemanına bağlı olarak sınıflandırılırlar. Kompozit malzemeler temel olarak takviye elemanının ve matris malzemesinin bir araya gelmesiyle oluşturulur. Bu iki bileşen birbirine karışmaz veya birbiri içinde çözünmez. Kompozit malzemelerde fiberler sertlik, mukavemet, rijitlik gibi özellikleri sağlar. Reçine ise fiberin yapısal bütünlüğü korumasını ve birbirine bağlanmasını, aynı zamanda yükün fiberler arasında dengeli dağılmasını ve fiberin kimyasal ve çevresel şartlardan korunmasını sağlar.

Matris malzemeler temel olarak fiberlere desteklik sağlayarak onları bir arada tutmayı, çevresel etkilerden korumayı ve gelen yükü fiberler arasında iletmeyi sağlar. Fiberlerle kıyaslandığında daha düşük rijitlik, mukavemet ve yoğunluğa sahiptirler. Buna rağmen matris malzemesi yorulma, basma, kesme mukavemetleri ile ısıl genleşme katsayısı gibi mekanik özelliklerde kompozit malzeme önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple malzeme tasarımı yapılacak matris malzeme değerlendirmesi iyi yapılmalıdır. Temel olarak metal, seramik ve polimerler olarak 3 gruba ayrılabilirler. Bunlardan en yaygın kullanılan polimer matrislerdir.

3.1.1 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

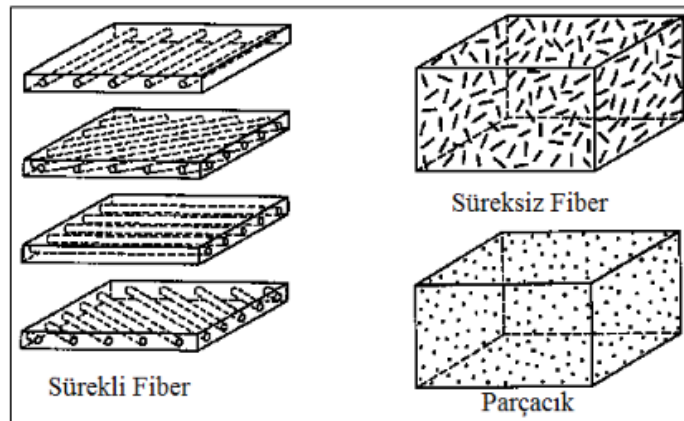
Bir matriste aranan en önemli mekanik özellikler yüksek mukavemet ve sertliktir. Aynı zamanda üretim prosesinin basit olması bir diğer aranan özelliktir. Polimer matrisli kompozit malzemeler telle sarma, sıvı akış tekniği, elle sıvama gibi yöntemler kullanılarak üretilir.

Polimer matrisli malzemeler termoset ve termoplastik olmak üzere iki kısımda incelenir. Termoplastikler ısı enerjisi kullanılarak geri dönüşümü yapılabilir veya bu malzemelere tekrar şekil verilip kullanılabilir. Termoplastikler bu özelliğiyle bakım-onarım kolaylığı da sağlamış olur. Yaygın olarak kullanılan termoplastik matrisler ise poliamit, polieter eter keton (PEEK), polifenilen sülfittir. Termoset malzemeler ise bir kez üretildikten sonra geri dönüşümü mümkün olmayan malzemelerdir, bu yüzden çevreye olumsuz etkileri vardır. En yaygın kullanılan termosetler epoksi, polyester ve fenolik matrislerdir.

Kompozit malzemenin uygulama alanı yüksek mukavemet gerektirmiyorsa en yaygın olarak polyester reçine kullanılırken yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek mukavemet gerektiren durumlarda epoksi reçine kullanılmaktadır. Polimer matrisli malzemeler kullanıldıkları ortam ve çevre şartları dikkate alınarak uygulama alanları oluşturulmalıdır. Özellikle sıcaklık ve nem en çok karşılaşılan ve sorun yaşanan etmenlerdir. Epoksinin sıcaklık ve nem karşısındaki tepkisi bu tez çalışmasında ele alınmıştır.

3.1.2 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Takviye elemanının görevi istenen yerlerde veya istenen yönlerde mukavemeti sağlamaktır. Takviye elemanı olarak bahsettiğimiz fiber aynı zamanda lifler ya da elyaflar olarak da adlandırılmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılan malzemeler fiber olarak üretildiklerinde, rijitlik ve mukavemet gibi değerleri ham hallerinin üstünde olabilmektedir. Buna örnek olarak karbon fiberleri ve cam fiberleri verebiliriz. Karbon fiberin sahip olduğu çekme mukavemeti grafitle karşılaştırıldığında 50 kat yüksek, rijitliği karşılaştırıldığında ise 3 kat daha yüksektir. Cam fiberlerde karşılaştırma yapıldığında ise ham malzemenin çekme mukavemeti 1.5 GPa, cam fiberin çekme mukavemeti 3. GPa'dır [37,38]. Fiberler bu avantajları sebebiyle kompozit malzemelerde tercih edilmektedirler. Yeni oluşturulacak olan malzemedeki takviye elemanının fiziki yapıları oluşacak olan malzemenin mekanik özelliklerini etkileyecek önemli faktörlere sahiptir. Bu fiziksel yapıları temel olarak 3'e ayırmak mümkündür. Bunlara sürekli, süreksiz ve parçacık fiberler denir. Şekillerine göre takviye elemanları genel olarak aşağıdaki (Şekil 3.1) gibidir.



Şekil 3.1: Polimer matrisli kompozitlerde takviye çeşitleri.

Parçacık fiberlerin belirli bir şekli yoktur ancak hemen hemen her yönde eşit boyuttadır. Bu parçacık fiberler nano ve mikro düzeyde tasarlanabilir, örnek olarak reçine tozu verilebilir. Süreksiz fiberlerde ise fiberin bir yönü diğer yönüne göre daha uzundur, örnek olarak öğütülmüş ya da doğranmış elyaf örnekleri verilebilir. Parçacık fiberler ve süreksiz fiberlerin kullanıldığı malzemelerde, fiberlerin şekil ve uzunlukları sebebiyle mukavemet değerleri her yönde hemen hemen aynı olmaktadır. Her yönde yakın mukavemet istenen malzeme tasarımlarında kullanıma uygundur. Sürekli fiberler ise belirli bir ya da birkaç yön boyunca uzanan fiberlere denir. Bu yönler istenilen mekanik özelliklere göre ayarlanabilmektedir.

Fiberler en yüksek mekanik özelliklerini boylarında göstermektedirler. Bu ise kompozit malzemeleri metallere ayırarak onlara anizotropik malzeme özelliği kazandırmaktadır. Anizotropik özelliği göz önünde bulundurarak malzeme tasarımı yapmak oldukça önem taşımaktadır. Malzemenin bu özelliği uygun ve istenilen yerde kullanılarak avantaja dönüştürülebilir ve istenilen şekilde mekanik özelliklere yön verilebilir [1].

1.3.2.1 Cam Fiberler

Takviye elemanı olarak en eski ve en yaygın kullanılan fiber çeşitlerinden biri cam elyaftır. Cam fiberler, silis kumdan meydana gelmekle birlikte belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur. Polimer esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan ve en ucuz olan takviye elemanıdır [39]. Bazı özellikleri aşağıdaki gibidir [4,40].

- Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler. Birim ağırlık başına mukavemeti çelikten daha yüksektir.
- Cam fiberlerin ısıya karşı olan dirençleri düşüktür. Cam fiberler yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir.
- Cam fiberlerin kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nemi absorbe edebilme yetenekleri yoktur. Fakat nemden kaynaklı bir olay ile matris ve cam fiberin arasında bir çözülme görülebilir. Uygulanacak olan birkaç özel işlem ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. Örnek olarak özel fiber kaplama işlemleri verilebilir.

- Cam fiberler elektriği iletmezler. Bu özellikleri sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam fiberli kompozitler kullanılmaktadır.

Silis kumuna ilave edilen katkı maddeleri ile üretilen cam fiber malzemelerin farklı özellikler kazandığı görülmüştür. Dört farklı tipte cam fiber türü mevcuttur [3].

1. A (Alkali) Camı: Alkali oranı yüksek olan bir cam türüdür. Bundan dolayı elektriksel yalıtkanlık özelliği düşüktür. Kimyasal direnci yüksektir.

2. C (Korozyon) Camı: Kimyasal çözeltilere karşı direnci çok yüksek olan bir cam türüdür.

3. E (Elektrik) Camı: Alkali oranının düşük olması sebebiyle elektrik yalıtkanlığı iyidir. E camı nemli ve sulu ortamlara karşı dirençlidir ve mukavemeti de yüksektir

E cam yüksek rijitliğe ve yüksek dayanıma sahiptir. Aynı zamanda iyi kimyasal dirence ve elektrik yalıtım özelliği vardır. Üretim maliyetinin düşük olması ve ısıya karşı dirençli olması özellikleri ile çok yaygın uygulama alanına sahiptir

4. S (Mukavemet) Camı: Yüksek mukavemetli bir cam türüdür. Çekme mukavemeti E camıyla kıyaslandığında daha yüksektir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara ve nemli ortamlara dirençli bir malzemedir.

3.2 Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Kompozit malzemeler sağladıkları yüksek mukavemet, hafiflik, rijitlik gibi birçok avantajından dolayı geniş uygulama alanına sahiptir. Bu alanlardan bazıları havacılık-uzay ve savunma, spor ve eğlence sektörü, elektrik- elektronik sektörü, yapı sektörü, tarım ve gıda sektörü, otomotiv sektörü, korozyon dayanımı gerektiren alanlar, askeri uygulamalar ve denizcilik sektörü sayılabilir.

Kompozit malzemeler sahip oldukları hafiflik ve üstün mekanik özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay sanayinde çok geniş uygulama alanına sahiptir. Özellikle polimer esaslı kompozitler uçakların ve diğer havacılık ve uzay araçlarının gövde ve kanat yapılarında, iç ve dış tasarımlarında önemli yer tutmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Kompozit malzemelerin uygulama alanları.

Kompozit malzemeler otomotiv alanında ise daha çok spor araçlarda olmak üzere araç motorlarında, çamurluklarda, tamponlar ve kaporta parçalarında kullanılabilir. Özellikle mekanik bağlantı çeşitlerinden olan cıvata bağlantısı kolay montaj ve demontaj avantajı sağlamaktadır. Böylece aracın bakım ve onarımı oldukça kolaylaşmaktadır.

İnşaat sektöründe üreticiye sunulan hafiflik, montaj kolaylığı, tasarım esnekliği, nakliye kolaylığı gibi avantajlarla kompozit malzemelerin kullanımı yaygındır. Yüksek mekanik özellikler, bakım ve tasarım kolaylığı da kompozit malzemelerin tercih edilme sebeplerindedir.

Kompozit malzemelerin tenis raketi, gol sopası, bisiklet, yat ve kano gibi spor araçlarında kullanımı önemli yer tutmaktadır (Şekil 3 3). Bunun nedeni ise hafiflik, rijitlik, malzeme yorgunluğu ve yüksek darbe direnci gibi mekanik özelliklerinin sağladığı üstünlüklerdir.



Şekil 3.3: Kompozit malzemelerin uygulama alanları.

Kompozit malzemeler hafif olduğu ve montaj kolaylığı sağladığı için ev eşyalarında da tercih edilmektedir. Evlerde kullanılan masa, sandalye ve çeşitli dekoratif eşyalar gibi ev araçlarında kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çevremizde gördüğümüz çoğu banklar, rögar kapakları, çöp bidonları kompozit malzemeler; estetik görünüm, hafiflik, mekanik dayanımının yüksek olması, kısa zamanda üretilip ucuza mal edilmesi ve sağladığı izolasyon sebebiyle kompozit malzemelerden üretilmektedir.

3.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Günümüzde kompozit malzemeler uygulama alanlarına göre istenen mekanik özelliklere göre üretilmektedir. Çeşitli fiber ve matris kombinasyonu ile istenen özellikler malzemeye kazandırılabilir. Bu nedenle kompozit malzemelerin uygulama alanı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Kompozit malzemelerin avantajları,

- Yüksek mukavemet,
- Aşınma direnci,
- Isı Dayanımı,
- Akustik izolasyon,
- Yorulma ömrü,
- Estetik görünüm,
- Kırılma tokluğu,
- Titreşim sönümlendirme,
- Kimyasal etkilere karşı dayanım sayılabilir.

Her malzemenin olduğu gibi kompozit malzemelerin de avantajlarının yanında dezavantajları vardır. Kompozit malzemenin matris malzemesinin kullanılan ortamlarda zarar görebilecek olması önemli problemlerden biridir. Matris malzemesinin kullanılacak ortamın matrisi çözücü etkisi olması, ortamın sıcaklık ve nemlilik değerleri malzemeyi olumsuz etkileyecek nedenlerdendir. Kompozit malzemelerin dezavantajları olarak;

- Ham maddenin pahalı olması,
- Üretimin ve işlenmesinin güç olması,
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmaması,
- Tamir edilmelerinin yeni problemler yaratabilmesi,
- Malzemenin kalitesinin üretim yönteminin kalitesine bağlı olması sayılabilir [41].

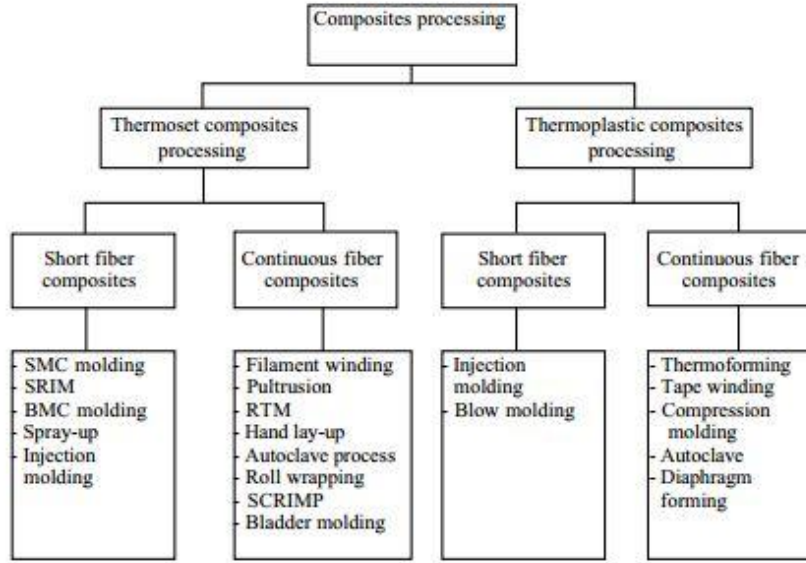
3.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Fiber takviyeli kompozit malzemeler fiber malzemesi ve matris malzemesinin istenen özelliklerini tek bir malzemede toplamak için makro düzeyde bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Bu malzemeleri üretmek için de aşağıdaki gibi bazı şartların yerine getirilmesi gerekmektedir:

- 1) Fiberlerin eşit mesafelerle dağılımı,
- 2) Fiberlerin homojen olarak dağılımı,
- 3) Yüksek dayanımlı fiberlerin mekanik temaslara karşı hassas olduğu için fiberlerin kırılmasının önlenmesi,
- 4) Fiber ve matris arasındaki bağın kuvvetli şekilde oluşturulmasıdır.

Kompozit malzemelerin üretiminde en büyük problem 3. maddenin yerine getirilebilmesidir. Eğer bu gerçekleştirilemezse matris malzemedan fiberlere yük aktarımı olmaz. Bu yüzden istenen özelliklere göre doğru fiber ve matris malzemesinin doğru yöntemlerle bir araya gelmesi çok önemlidir [42].

Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerini (Şekil 3.4) genel olarak 2 şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar Termoset Kompozitlerin Üretim Yöntemleri ve Termoplastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri şeklindedir. Bu tez çalışmasında Termoset Kompozit Üretim Yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntem de kendi içinde kısa fiber kompozitler ve sürekli fiber kompozitler olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 3.4: Kompozit Malzemeler Üretim Yöntemleri [43].

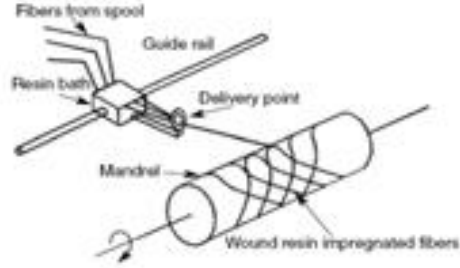
3.4.1 Sürekli Fiber Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Sürekli Fiber Üretim Yöntemleri olarak yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi,

- 1) Fiber Sarma Yöntemi
- 2) Pultrüzyon (Profil Çekme) Yöntemi
- 3) RTM (Reçine Transfer Yöntemi)
- 4) El Yatırma Yöntemi
- 5) Otoklav Yöntemi
- 6) Vakum İnfüzyon Yöntemi (VARTM) sayılabilir.

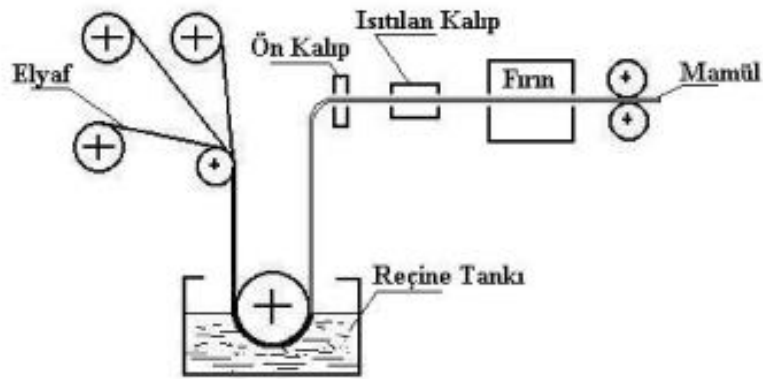
Bu üretim yöntemlerinden kısaca bahsetmek gerekirse;

Fiber sarma yöntemi (Şekil 3. 5) denilen bu metot sürekli fiberlerin reçine ile ıslatılması ve bir mil üzerine hareketli mekanizma yardımı ile istenen açıda sarılmasıdır. Reçine sertleşince mil ve fiberler birbirinden ayrılır ve fiberin sertleşmesi için fiberler oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıkta bir süre bekletilir. Bu yöntem uzun pervaneler, roket gövdesi, kimyasal depolama tankları, borular, basınçlı kaplar gibi malzemelerin üretiminde kullanılır [42, 43, 44, 45].



Şekil 3.5: Fiber sarma yöntemi[43].

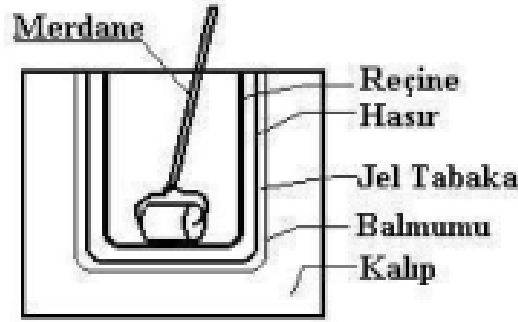
Pultrüzyon yönteminde (Şekil 3.6), fiberler reçine tankına daldırılır ve ardından bir kalıptan çekilerek fazla reçineden arınması ve içindeki havanın giderilmesi sağlanır. Daha sonra ısıtılmış bir kalıptan çekilerek malzemenin pişirilmesi ya da ön pişirilmesi sağlanmış olur. Tam pişmeyen malzeme fırınlara gönderilir ve son kalıptan çekilerek nihai malzeme elde edilmiş olur. Köprüler, binaların kafes sistemleri, merdivenler gibi kullanım alanları mevcuttur [42, 43, 44, 45].



Şekil 3.6: Pultrüzyon üretim yöntemi [44].

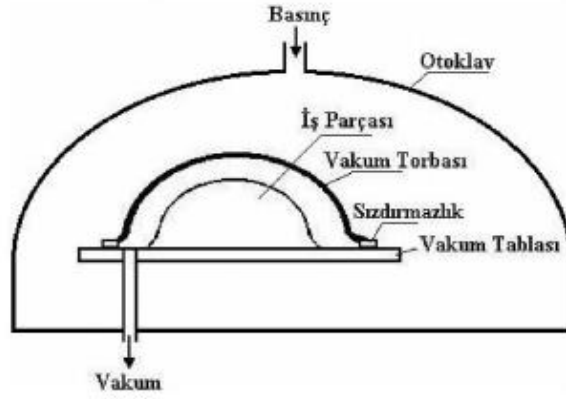
Reçine transfer yöntemi, jelkot uygulanan iki kalıp arasına kullanılacak olan fiber malzeme, konularak reçinenin basınçlı olarak bu kalıplar arasından geçirilmesinden oluşur. Eğer reçine akışında sorun yaşanır ise vakum da kullanılabilir. Bu yöntemle 2-10 mm cidara sahip malzemeler üretilmektedir. Çeşitli sandalye ve koltuklar, otomotiv ve uçak parçaları bu yöntemle üretilir [42, 43, 44, 45].

El yatırma yöntemi (Şekil 3. 7) en yaygın kullanılan ve en basit üretim yöntemidir. Dokuma ve keçe gibi takviye elemanlarının elle kalıba yerleştirilmesi ve ardından bir fırça ya da ruloyla reçinenin elyaflara emdirilmesidir. Bu yöntemle malzeme istenen tabaka sayısında ve kalınlıkta elde edilebilir. Bu yöntem daha çok kayık, tekne, tank imalatı için kullanılır [43, 44, 45, 46].



Şekil 3.7: El yatırma üretim yöntemi [44].

Otoklav yönteminde (Şekil 3. 8) fiberler tabakalar halinde istenen şekilde dizilir ve vakum torbalaması yapılır. Ardından bu sistem otoklav fırınına yerleştirilir. Burada belirli bir basınç ve sıcaklık altında pişme ve katılaşma sağlanır. Basınç, azot gazı ile sağlanır. Fırın içindeki rezistanslar sayesinde de ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Termoset esaslı sistemler, uçak malzemeleri, hassas katılaşma gerektiren malzemelerin üretiminde kullanılır [42, 43, 44, 45].



Şekil 3.8: Otoklav üretim yöntemi [44].

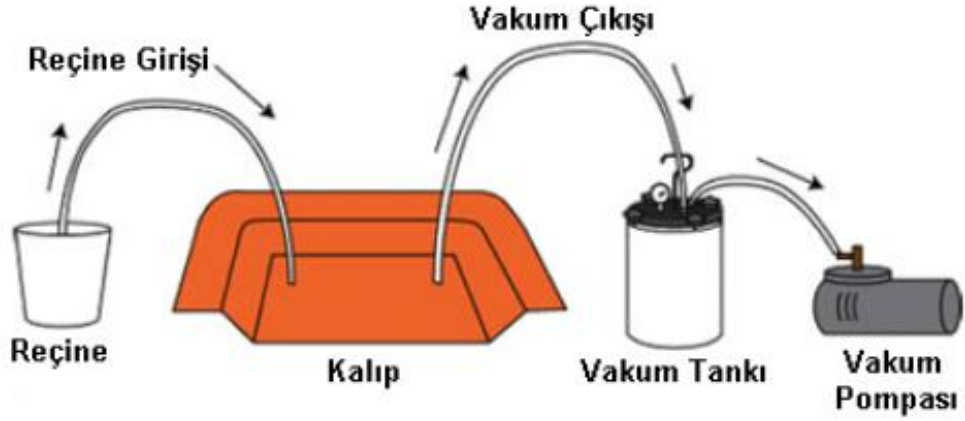
Bu tez için kullanılan numuneler Vakum infüzyon Yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu nedenle bu üretim yöntemi daha detaylı anlatılacaktır.

3.4.1.1 Vakum İnfüzyon Üretim Yöntemi

Kompozit malzemelerin kullanılarak yeni bir ürünün elde edilmesi için çok çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Bu üretim yöntemlerinden bazıları çok ciddi üretim maliyetleri gerektirmektedir. Örneğin fiber sarma yöntemi, otoklav yöntemi kullanarak yapısal sistem üretimi ve pultrüzyon uygulaması ile üretim yöntemleri, altyapı gerektiren ve teknik olarak da uygulamaları zor olan üretim yöntemleridir. Ancak bazı üretim yöntemleri, az maliyet ile kolaylıkla uygulanabilir duruma getirilebilmektedir. Örnek olarak vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzemeden yapısal sistemlerin üretilmesi çok sık uygulanan ve maliyet açısından tercih edilen bir üretim yöntemidir [46,47].

Kullanım alanlarındaki kompozit malzemelerden, tüketim ve satış miktarları bakımından, takviye malzemesi olarak en büyük orana sahip olan cam elyafıdır. Cam Elyaf Takviyeli Plastik'lerin (CTP) üretim yöntemlerinden infüzyon, el yatırması, vakumlama yöntemleri imalat aşamasında en çok kullanılan yöntemlerdir [48,49].

Vakumlanmış bir ortamda reçinenin ilerlemesiyle çalışan bu yöntemde, imalat hazırlıkları yapılmış bir yapının el değmeden üretimi hedeflenmektedir. İnfüzyon yöntemi dört bölümden oluşur: Vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası (Şekil 3. 9). Bu dört bölümün bağlantıları ve şekilleri değişebilir ancak genel sistem mantığı hep aynıdır [50,50].



Şekil 3.9: Vakum İnfüzyon Yöntemi Uygulaması [48].

Karmaşık yapılar sahip kompozit malzemelerin üretimi için kullanılan bu yöntemde, malzemelere emdirilen reçinenin uygun viskoziteli olması gerekmektedir. Dar ölçülerin ve uzun akış yollarının olduğu yerlerde reçinenin mümkün olduğu kadar kısa sürede kullanılan elyaflara emdirilmesi çok önemlidir [48].

3.4.1.1.1 Vakum İnfüzyon Yönteminin Avantajları Ve Dezavantajları

İnfüzyon yönteminin diğer kompozit üretim yöntemlerine göre bazı avantajları vardır. Bu avantajları şöyle sıralayabiliriz [51];

- Düşük reçine / elyaf karışım oranı, el yatırması yöntemindeki %70 reçine %30 elyaf kullanım oranı, infüzyon yönteminde tam tersine dönüp, %70 elyaf %30 reçine kullanım oranını vermektedir. Bu da malzeme yapısının daha sağlam olmasına ve malzemenin daha uzun ömürlü kullanımına olanak sağlar.
- Tutarlı reçine kullanımı, infüzyon yönteminde harcanan reçine miktarı, aynı şartlar altında üretilen her üründe aynıdır. El yatırmasında olduğu gibi kişilere bağlı farklı malzeme tüketimi olmamaktadır.
- Homojen ürün eldesi, infüzyonla ürün eldesinde reçinenin elyaf yüzeyine dağılımı ve emilimi aynı miktarda olduğundan reçine birikmeleri veya elyaf katlanmaları meydana gelmez bu da malzemenin yapısında ve görüntüsünde homojenlik sağlar.
- Temiz imalat, vakum naylonuyla üzeri kapatılmış olan elyaf katlarına reçine ilavesi, naylonun altından boru yardımı ile yapıldığından, ürün yüzeyine ve çevreye reçine

bulaşması gerçekleşmez, reçinenin ve tepkime sonucunda ürün yüzeyinde oluşan gazların da etrafa yayılması engellenir.

- Tek taraflı bir kalıba ihtiyaç vardır.
- Kalıbın yüksek mukavemetli bir malzemeden yapılmasına gerek yoktur.
- Kalıp ve üretim maliyeti RTM' ye oranla daha düşüktür.
- Büyük parçalar bu yöntem ile üretilebilir.
- El yatırma yönteminde kullanılan kalıplar bu yöntem için modifiye edilerek kullanılabilir.

Yöntemin dezavantajları ise [51,52];

- Diğer basit yöntemlere göre kullanılan ekipman sayısı fazla olduğundan daha yüksek iş gücü gerektirir ve bu sebeple de maliyet artar.
- İşlem basamakları kısmen karmaşıktır.
- Düşük viskoziteye, düşük reçine kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir.
- Reçine ile ıslanmamış bölgeler kalabilir; bu da pahalı atık malzeme demektir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMASI

4.1 Deney Numuneleri Malzemeleri

Higrotermal etki ısı ve nemin malzemeye olan etkisidir. Bu etkiyi deneylerle incelemek için öncelikle numune üretimi gerçekleştirildi. Deney numuneleri üretilirken WR6-1200 Cam elyaftan elde edilmiş Metyx L300-E10C yarı tek yönlü kumaş kullanılmıştır. Bu kumaşın özellikleri aşağıdaki Tablo 4. 1' deki gibidir.

Tablo 4.1: Metyx L300-E10C cam elyaf kumaş özellikleri [53].

Metyx L300-E10C		Yön	Fiber Türü	Alan Ağırlığı
Dikiş Ölçüsü	10 dikiş/inç	0°	1200 Tex	283 gr/m ²
Dikiş Tipi	Tricot	90°	68 Tex	37 gr/m ²
Dikiş Uzunluğu	3 mm	Stitch	76 Dtex	10 gr/m ²
			Toplam	330 gr/m ²



Şekil 4.1: Metyx L300-E10C cam elyaf kumaş görüntüsü [53].

Matris malzemesi olarak Hexion Marka LR160 epoksi reçine ve LH160 sertleştirici birlikte 4/1 oranında kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4. 2' de matris malzemesiyle ilgili detaylı bilgi mevcuttur.

Tablo 4.2: Hexion Marka LR160 epoksi reçine mekanik özellikleri [53].

Öz kütle (g/cm ³)	1.18-1.20
Eğilme Mukavemeti (MPa)	110-140
Çekme Mukavemeti (MPa)	3.2-3.5
Basma Mukavemeti (MPa)	80-100
Poisson Oranı	0.36

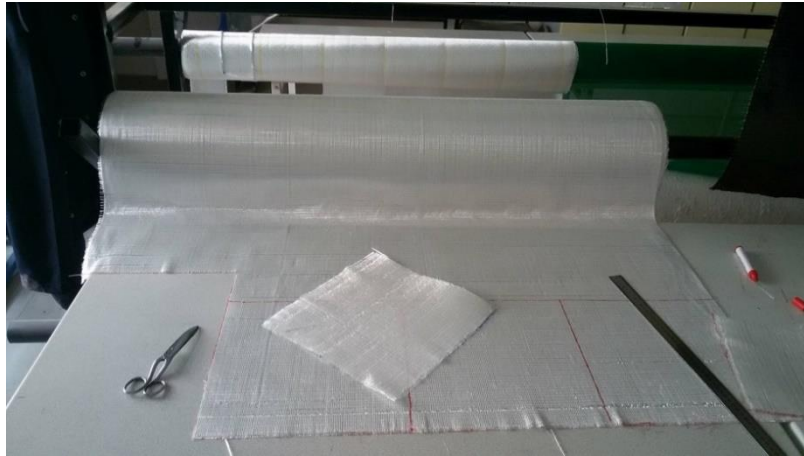
4.2 Deney Numunelerinin Üretimi

Deney numuneleri Balıkesir Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi – Makine Mühendisliği Bölümü – Kompozit Malzemeler ve Mekanik Laboratuvarı’nda üretilmiştir. Numunelerin üretimi için Vakum Takviyeli Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi (VARTM) kullanılmıştır.

4.2.1 Deney Numunelerinin Üretim Aşamaları

Üretim için aşağıda sıralanan adımlar izlenmiştir.

- İlk olarak kullanılacak olan cam elyaf 300x300 mm boyutlarında ve 0^o-90^o ve 45^o doğrultularında cam elyaf kumaş topundan kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Cam elyaf kumaşından numune üretimi için parça kesimi.

- Yüzeyde toz, parçacık gibi yabancı maddelerin bulunmaması için öncelikle yüzey temizliği yapılmıştır.

- Daha sonra ise plakanın yüzeye yapışmasını önlemek için ve plakanın yüzeyden daha kolay çıkarılmasını sağlamak için yüzeye kalıp ayırıcı sürülmüştür.
- Üretim yapılan masanın üzerine ilk olarak akış filesi yerleştirilmiştir (Şekil 4.3). Akış filesinin amacı plakaya emdirilen reçinenin akışının orantılı olarak dağılımını sağlamaktır.



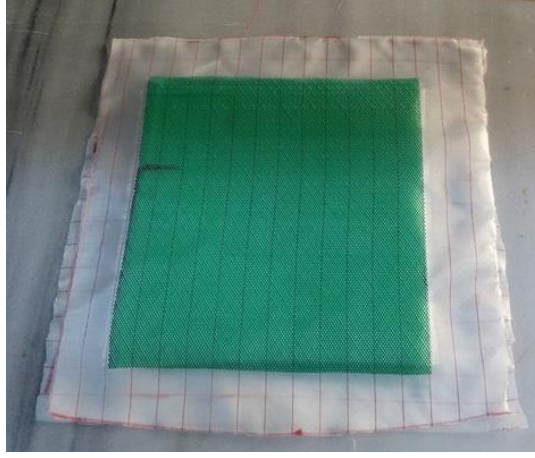
Şekil 4.3: Üretim yapılan masanın üzerine akış filesinin yerleştirilmesi.

- Plakanın yüzeyden kolay çıkarılmasını sağlamak için soyma kumaşı kullanılmıştır. Böylece plakanın yüzeyden zarar görmeden çıkarılması sağlanmıştır.
- Akış filesinin üzerine soyma kumaşı ve sonrasında da elyaflar istenen düzende sıralanmıştır (Şekil 4.4).



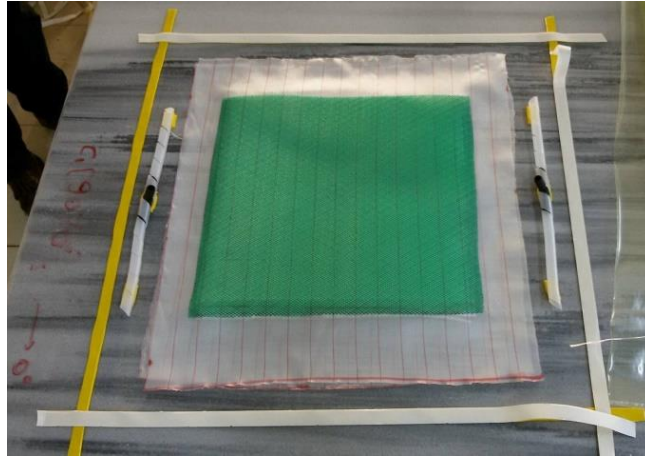
Şekil 4.4: Soyma kumaşı ve elyafların dizilimi.

- Elyafların üzerine tekrar soyma kumaşı ve akış filesi yerleştirilmiştir (Şekil 4.5).



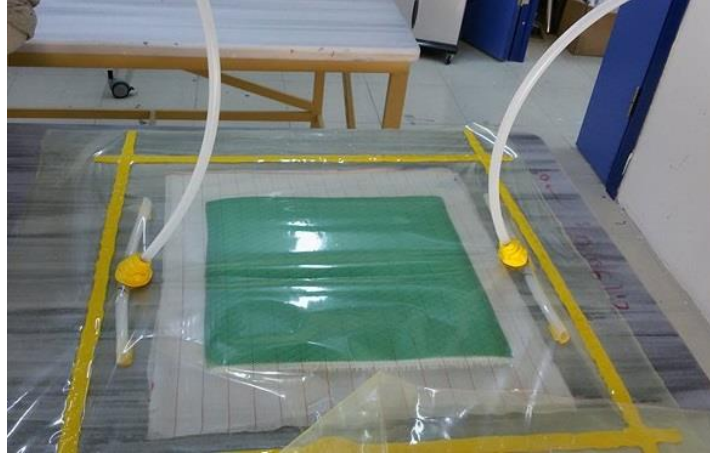
Şekil 4.5: Elyafların üzerine soyma kumaşı ve akış filesinin yerleştirilmesi.

- Reçinenin, reçine tankından akışını sağlayan reçine hattı kurulmuştur. Bunun için spiral hortum ve şeffaf hortumlar kullanılmıştır. Daha sonra da çevresine sızdırmazlık macunu çekilmiştir (Şekil 4.6).



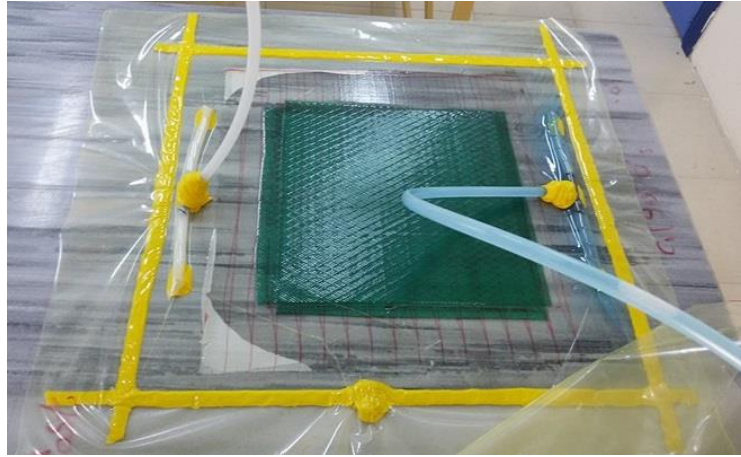
Şekil 4.6: Reçine hattının kurulumu.

- Vakum torbası sızdırmazlık macununa yapıştırılarak sistem kapatılmıştır. Vakum hattı için vakumu sağlayacak şeffaf hortumlar yerleştirilmiştir. Böylelikle sistem tamamlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Vakum hattının tamamlanması ve sistemin kapatılması.

- Vakum pompası çalıştırılarak sistem içindeki hava vakumlanır, böylece olası hava kabarcıkları engellenmiş olur ve torba elyaflara yapışır. Ardından herhangi bir hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Hava kaçağı olmadığından emin olduğunda reçine elyaflara gönderilir (Şekil 4.8).

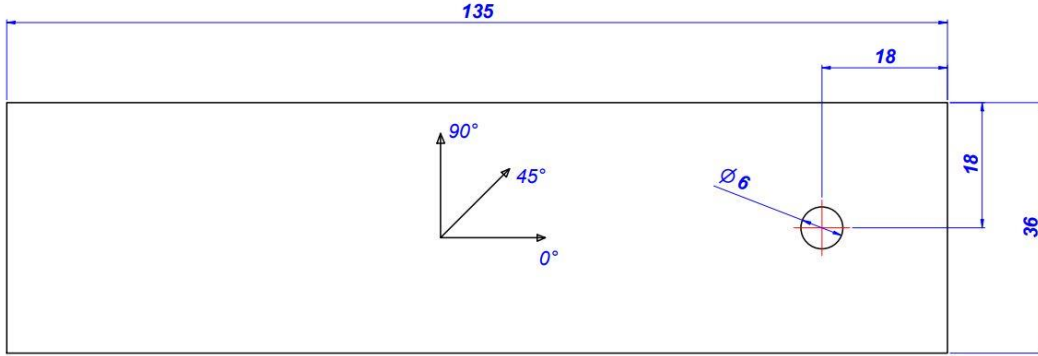


Şekil 4.8: Reçinenin elyaflara gönderilmesi.

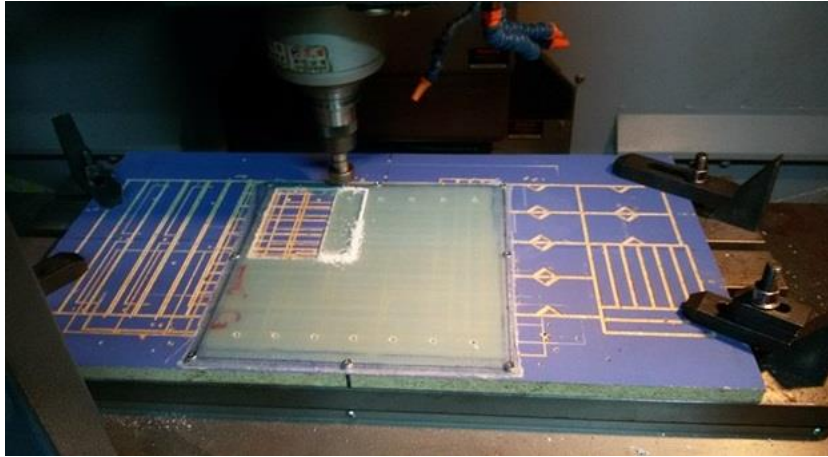
- Reçine elyaflara tamamen emdirildikten sonra vakum pompası kapatılır ve plakanın kürlenmesi için -700mmHg vakum altında yaklaşık 16 saat bekletilir. Kürlenmenin tamamlanması için de plaka oda koşullarında yaklaşık 2 hafta daha bekletilir. Kürlenme tamamlandıktan sonra istenilen boyutlarda numuneler elde edilir.

Plaka üretimi tamamlandıktan sonra yapılacak çalışmalara göre numunelerin boyutları belirlenir. Bu tez çalışmasında ASTM D 5961/D 5961M standardına [54] göre testler

yapılmıştır ve numunelerin boyutu da bu standartta belirtilen şekilde elde edilmiştir (Şekil 4. 9). Plakalar elmas kesici ile kesilmiştir ve karbür uçlu matkap ile 1500 devir 0.2 mm/dak ile delikler delinmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9: Numune teknik resmi.

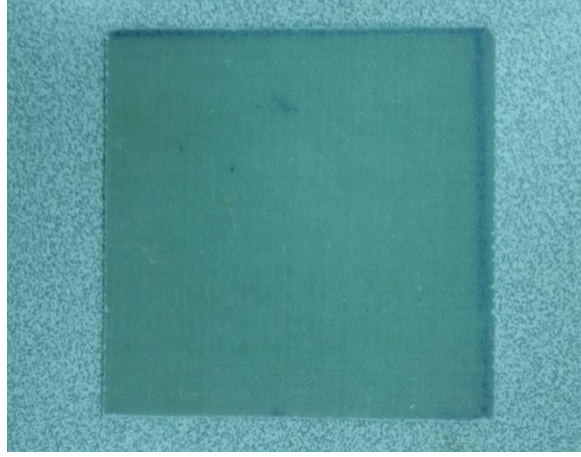


Şekil 4.10: Numunenin CNC tezgâhta kesimi.

4.3 Deney Numunelerinin Higrotermal Şartlandırılması

Astm D 5229/ D 5229M standardına [55] göre numuneler 50°C sıcaklıkta su banyosunda, nem doygunluğuna ulaşmaya kadar şartlandırılmıştır. Nem doygunluğuna ulaşma süresini bulabilmek için öncelikle 5 adet 100x100 numunelerle çalışma yapılmıştır. Bu numunelerin belirli periyotlarla kütleleri ölçülmüş ve numuneler nem doygunluğuna ulaştığında da su banyosundan çıkarılmışlardır.

Öncelikle 100x100mm, 5 adet numune yukarıda anlatıldığı gibi aynı koşullarda aynı şekilde üretilmişlerdir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: 100x100 mm numuneler.

Daha sonra numuneler yalnızca yüzeyden nemi absorbe etmeleri için kenarları sıcaklığa ve suya dayanıklı alüminyum folyo ve silikon ile kapatılmıştır. Ardından 50°C’ deki su banyosunda bekletilmeye başlanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: 100x100 numunelerin su banyosunda şartlandırılması.

Belirlenen periyodlarla numuneler su banyosundan çıkarılıp kütle değişimini belirlemek için tartılmışlardır. Bunu yaparken de numunelerde nem kaybı olmaması için hava almayan torbalarda işlem bitene kadar bekletilmişlerdir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: 100x100 numunelerin torbalarda bekletilme şekli.

Daha sonra numuneler tek tek torbadan alınıp kurulanmış (Şekil 4.14), kütleleri ölçülmüştür. Kütleleri ölçülen numuneler tekrar torbaya alınmıştır (Şekil 4.15).

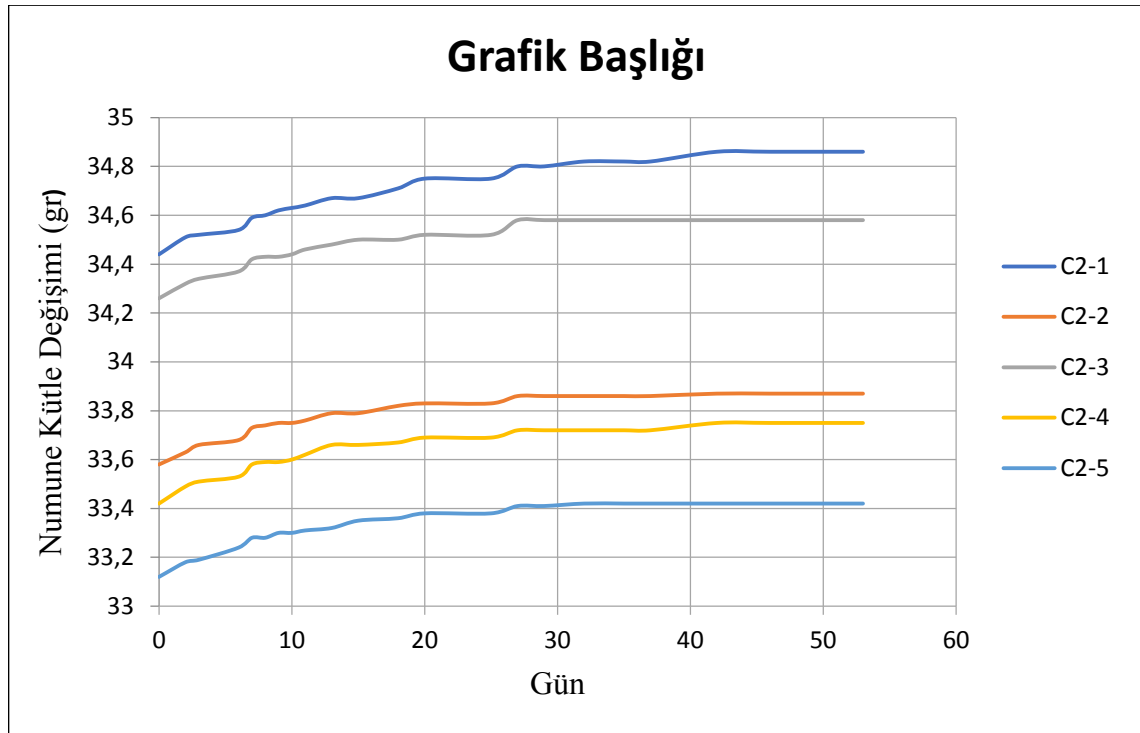


Şekil 4.14: 100x100 numunelerin ölçümden önce kurutulması.



Şekil 4.15: 100x100 numunelerin kütlelerinin ölçümü.

Kütlelerdeki değişimler not alınmış ve zamana bağlı nem absorpsiyon grafiği aşağıdaki Şekil 4. 16' deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.16: Nem absorpsiyon grafiği.

Tüm bu ölçüm ve hesaplamalar sonucunda mekanik testlerde kullanılacak numunelerin su banyosunda ne kadar süre kalacağı bulunmuştur (Şekil 4.17). Buradaki amaç numunelerin su banyosunda kalacağı süre boyunca banyodan hiç çıkarılmadan süreci en verimli şekilde tamamlayabilmektir.



Şekil 4.17: Numunelerin su banyosunda şartlandırılması.

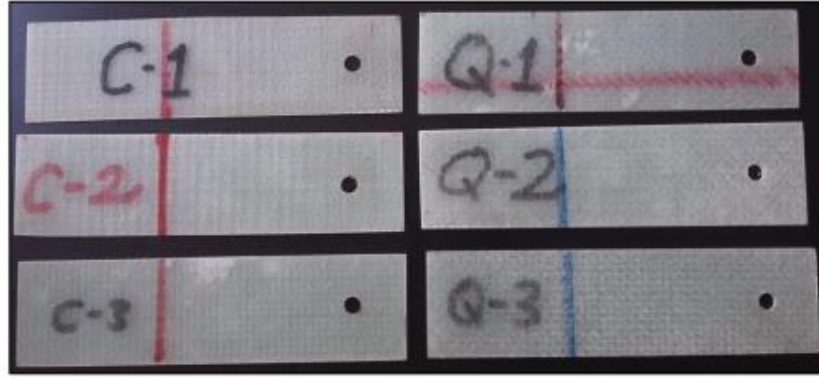
Numunelerin, su banyosunda yaklaşık 60 gün kadar şartlandırma süreci bittikten sonra tekrar hava almayacak torbalara konulup mekanik testleri yapılmıştır.

4.4 Higo-termal Şartlandırılmış Mekanik Bağlantılı Numunelerin Çekme Testleri

Higo-termal olarak şartlandırılan numunelerin mekanik bağlantısındaki değişimleri görmek amacıyla ASTM D 5961/ D 5961M standardına [54] bağlı olarak mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Numuneler yaklaşık olarak %45 fiber hacim oranına sahiptir. Bu hacim oranı hesaplanırken kumaştaki esas yük taşıyan bileşeni 1200 Tex 0° fiberlerin hacim oranı hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.3’ te numunelerin dizilimi ve Şekil 4.18’de numunelerin fotoğrafı verilmiştir.

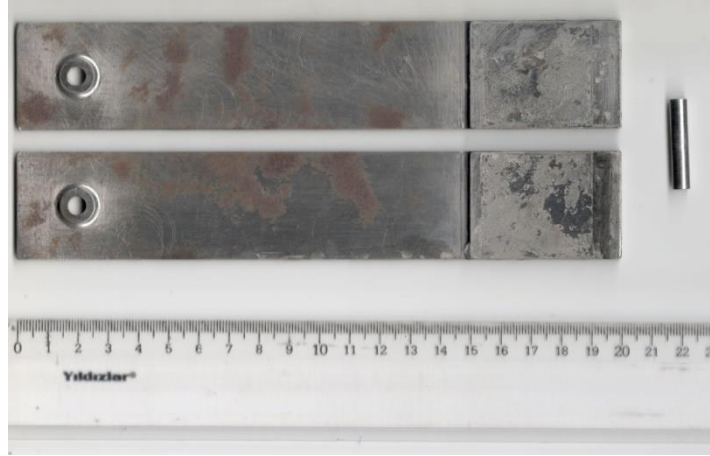
Tablo4.3: Numunelerin Elyaf Dizilimleri

Çapraz Katlı Numuneler	Yarı-İzotropik Numuneler
C1-[90°/0°]s	Q1-[+45°/0°/-45°/90°]s
C2-[90° ₂ /0° ₂]s	Q2-[90°/+45°/-45°/0°]s
C3-[90°/0°]2s	Q3-[0°/90°/+45°/-45°]s



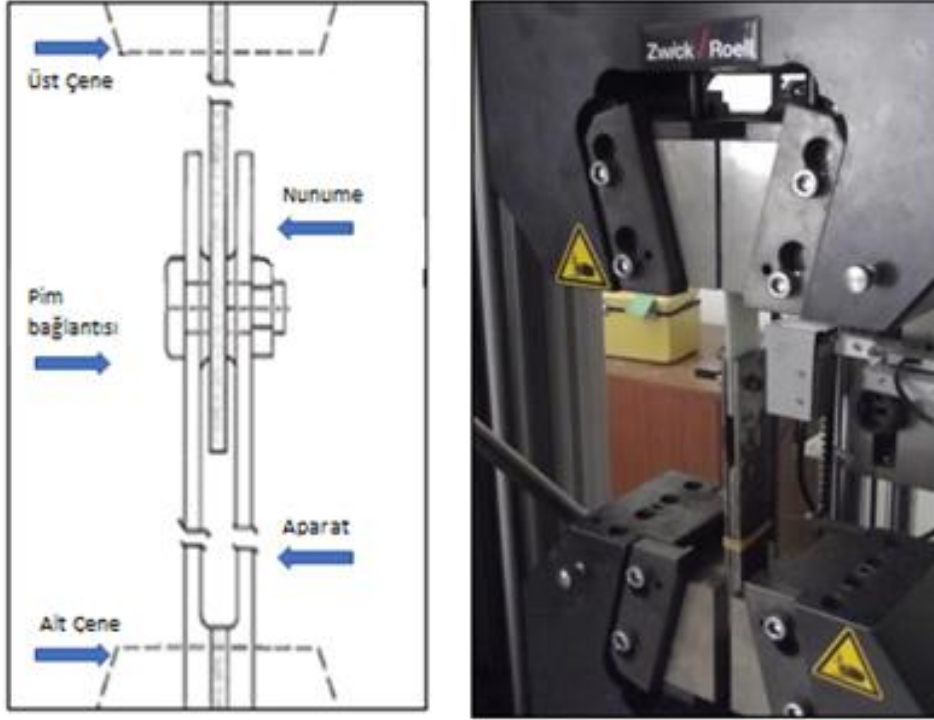
Şekil 4.18: Numunelerin örnek fotoğrafı[42].

Mekanik testler yapılırken, ASTM D 5961/ D 5961M standardında [54] belirtilen ve aşağıdaki Şekil 4.19’ te gösterilen metal aparatın arasına numuneler yerleştirilerek çenelere sıkıştırılmıştır.



Şekil 4.19: Test metal aparatları ve pim.

Numunelerdeki bağlantı deliği Şekil 4.19’ daki metal aparatlar ve pim, mile merkezlenip metal aparat üst çeneye, numunenin diğer kısmı ise alt çeneye sıkıştırılmıştır (Şekil 4. 20).



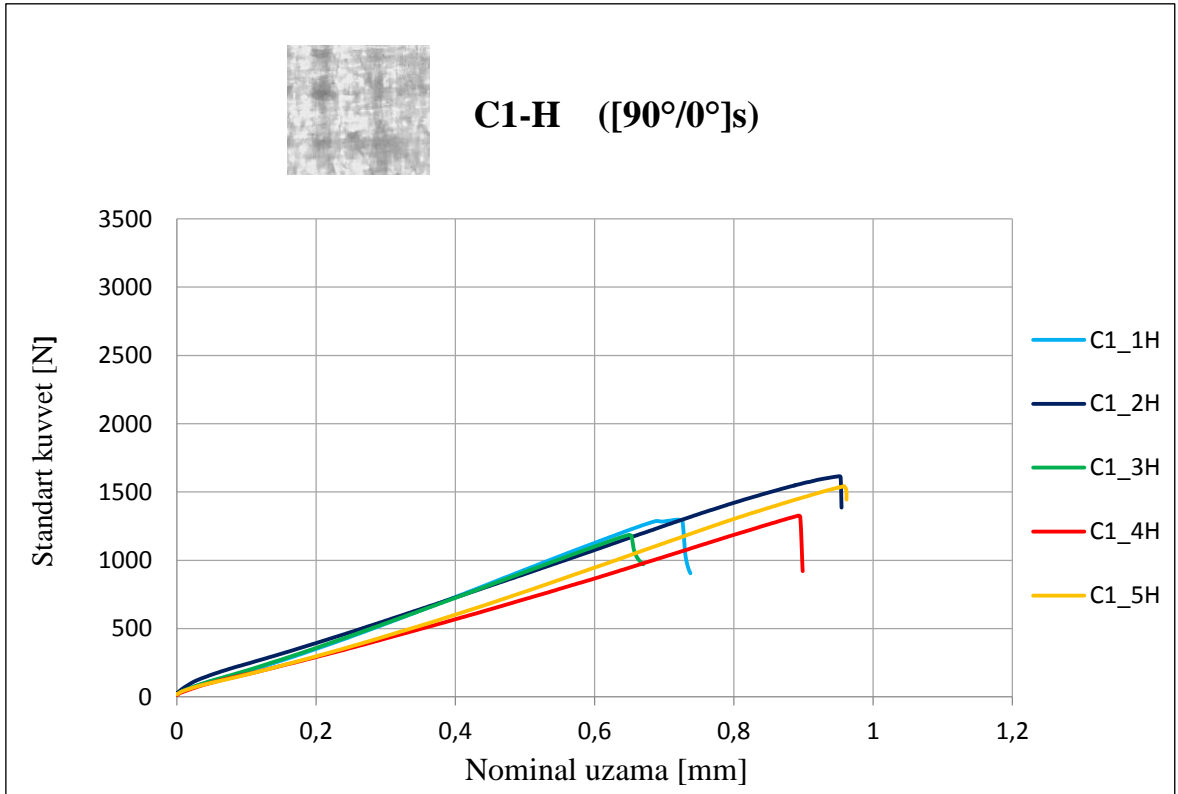
Şekil 4.20: Numune bağlantı resmi ve test makinesi.

Testler 2mm/dak çekme hızıyla gerçekleştirilmiştir. Test sırasında kaydedilen maksimum yük değerinden yaklaşık %30 düşüş olduğu anda test sonlandırılmıştır. Testler sonucunda kuvvet-uzama grafikleri elde edilmiştir, ancak bu grafiklerdeki ilk hasara kadar oluşan kuvvet-uzama eğrileri numunelerle tam çakışmamaktadır. Bunun nedenleri olarak yükleme esnasında pimde meydana gelebilecek kaymalar, bağlantı delikleri delinirken fiberlerdeki bozulmalar ve higrotermal şartlandırma sırasındaki matris-fiber bozulmaları, su birikintileri sayılabilir. Ancak değerlerin birbirine yakın olması testlerin uygun şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

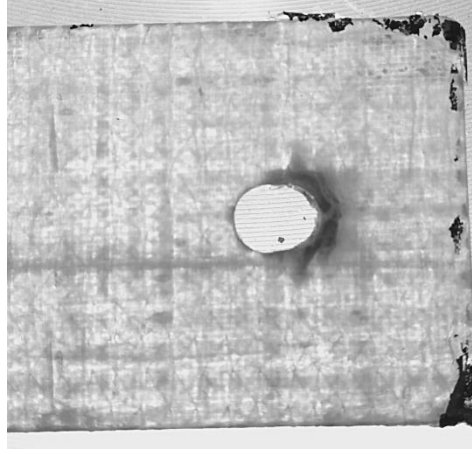
5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Hıgrotermal Şartlandırılmış Çapraz Katlı Numuneler

Çapraz katlı numunelerin pratikte çok fazla kullanım alanı yoktur ancak malzeme davranışları ve hasar modlarını araştırmak için birçok çalışma yapılmaktadır [56, 57, 58, 59, 60]. Dışa kayma hasar modlarında gözlemlenen tabaka-içi aksenal ayrılmaların araştırılması ve incelenmesi için mekanik bağlantılı çapraz katlı malzemeler kullanılmaktadır [61, 42].

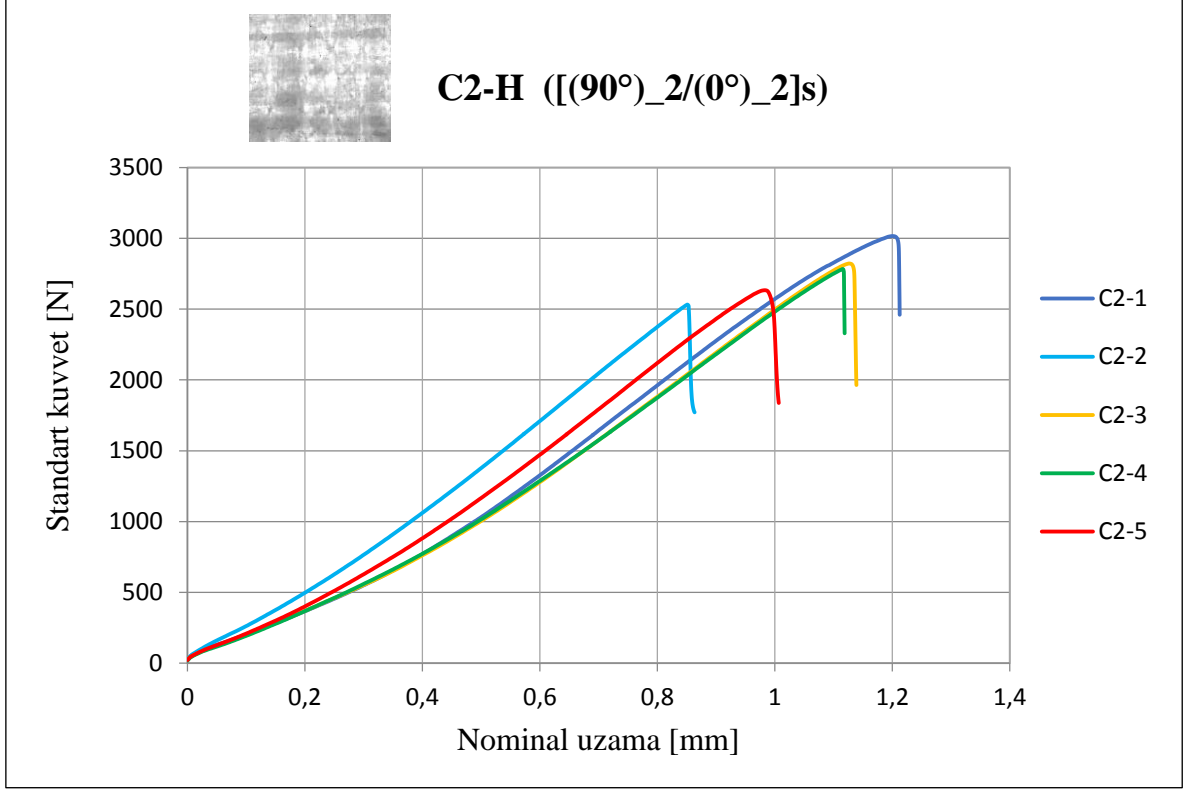


Şekil 5.1: Şartlandırılmış C1 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

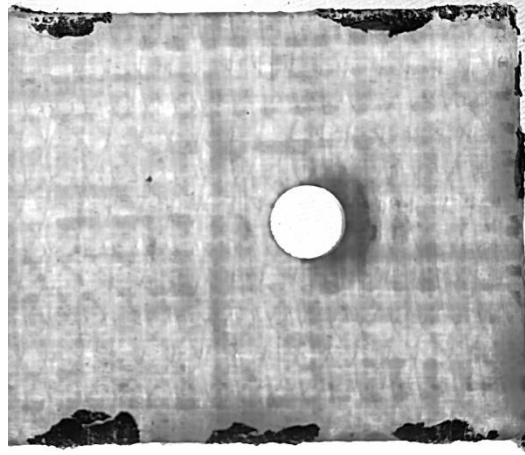


Şekil 5.2: Bir C1 numunesinin hasar temsili resmi.

Tüm C1 numunelerinin bağlantı yerlerinde yatak ve kayma hasar modları meydana gelmiştir (Şekil 5.2). C1 numuneleri, 4 elyaf tabakasına ve $[90^{\circ}/0^{\circ}]_s = 90^{\circ}+0^{\circ}+0^{\circ}+90^{\circ}$ şeklinde bir dizilime sahiptir. 90° yönelimli laminanın dış tabakada olması 0° yönelimli laminaya desteklik sağlamıştır [62]. Bu dizilim sonucunda grafikten de görüleceği gibi numune gevrek özellik gösteren malzemeler gibi aniden kırılarak hasar vermiştir ve test sonlanmıştır. Ancak C1 numuneleri 4 tabakadan oluştuğu için maksimum yükü diğer çapraz katlı numunelere göre daha düşüktür. Nem, fiber ve matris ara yüzüne yerleşerek delaminasyon meydana getirmiştir. Şartlandırılmayan numunelerle karşılaştırıldığında ise bu lamina ayrılmasını nemin artırdığı görülmüştür (Şekil 5.1).



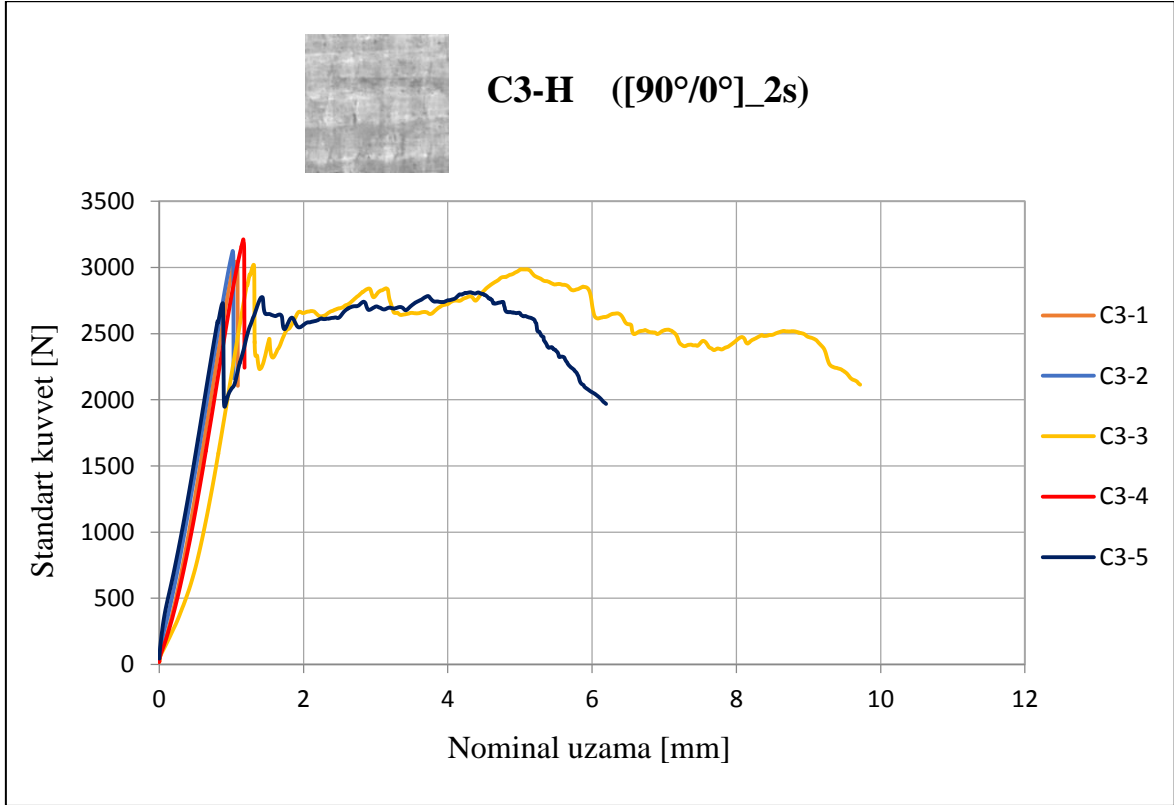
Şekil 5.3: Şartlandırılmış C2 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.



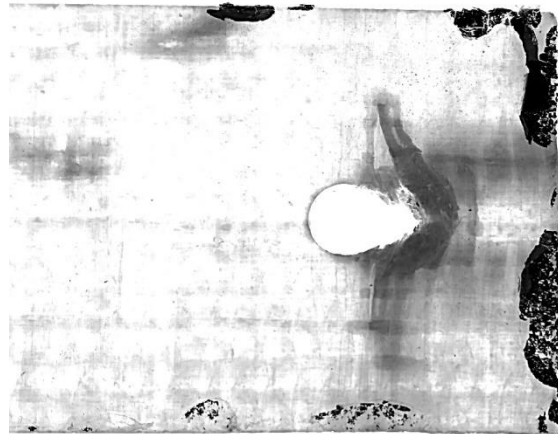
Şekil 5.4: Bir C2 numunesinin hasar temsili resmi.

Tüm C2 numunelerinin bağlantı yerlerinde yatak hasar modu meydana gelmiştir (Şekil 5. 4). 8 tabakadan oluşan C2 numuneleri $[(90^\circ)_2/(0^\circ)_2]_s = 90^\circ+90^\circ+0^\circ+0^\circ+0^\circ+0^\circ+90^\circ+90^\circ$ şeklinde tabakalı dizilime sahiptir. İki tabaka 90° laminaların dış yüzeyde bulunması orta düzlemde bulunan 0° elyaflarda meydana gelebilecek burkulmalara karşı desteklik sağlamış ve malzeme dayanımını artırmıştır [62]. Bu dizilim sonucunda grafikten de görüleceği gibi numune gevrek özellik gösteren

malzemeler gibi aniden kırılarak hasar vermiştir ve test sonlanmıştır. Şartlandırılmayan numunelerle karşılaştırıldığında fiber ve matriste meydana gelmesi beklenen hasarların nemin etkisinden dolayı daha fazla olduğu görülmüştür. Fiber ve matris ayrılması daha düşük çekme yükünde meydana gelmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.5: Şartlandırılmış C3 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.



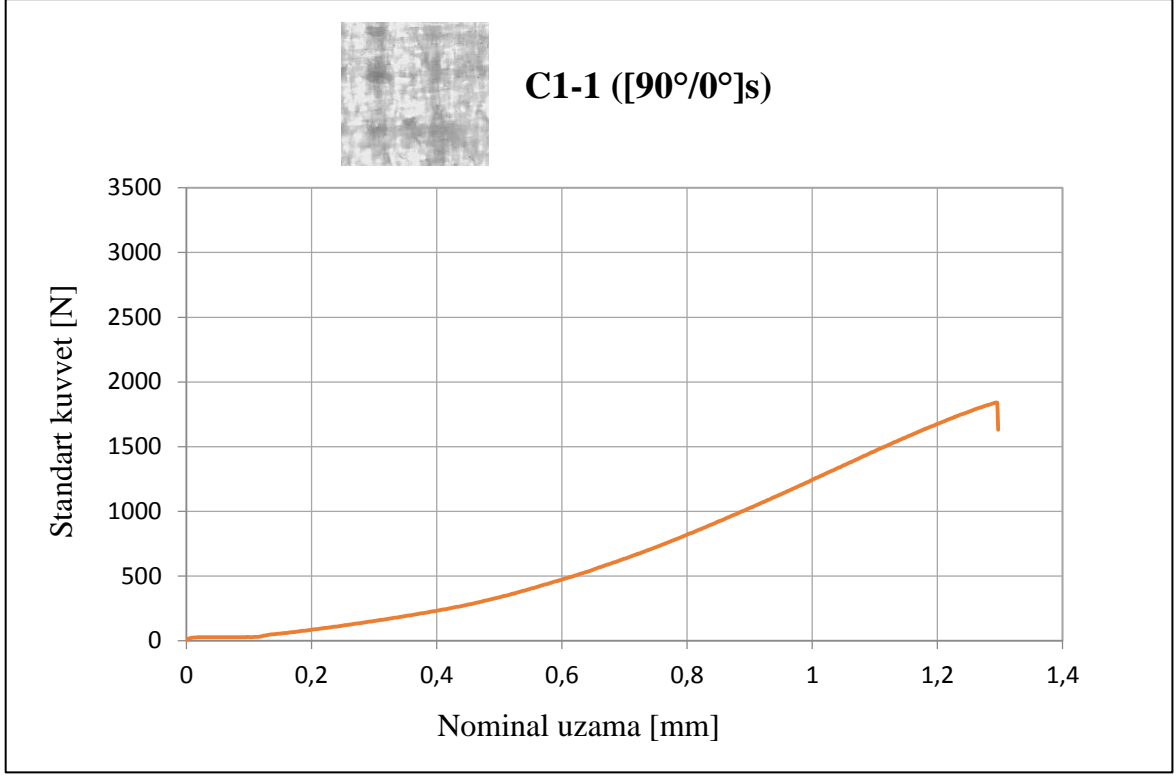
Şekil 5.6: Bir C3 numunesinin temsili resmi.

Tüm C3 numunelerinin bağlantı yerlerinde yatak ve kayma hasar modları meydana gelmiştir (Şekil 5.6). 8 tabakadan oluşan C3 numuneleri $[90^{\circ}/0^{\circ}]_{2s} = 90^{\circ}+0^{\circ}+90^{\circ}+0^{\circ}+0^{\circ}+90^{\circ}+0^{\circ}+90^{\circ}$ şeklinde dizilime sahiptir. C3 numuneleri, 90° laminaların 0° laminaları destekleyecek şekilde dizilimleri ve yine malzemenin dış yüzeyinde bulunması nedeniyle çapraz katlı numuneler arasında en dayanıklı olan numunelerdir. Grafikten de görüleceği gibi, elyaf dizilimlerinden dolayı, numune yükleme altında bir miktar uzamaya izin vererek aniden hasar oluşmasını önlemiştir. Fiber ve matriste meydana gelmesi beklenen hasarların nemin etkisinden dolayı daha fazla olduğu görülmüştür. Daha düşük çekme yükünde fiber ve matris ayrılması görülmüş ve hasar meydana gelmiştir (Şekil 5.5).

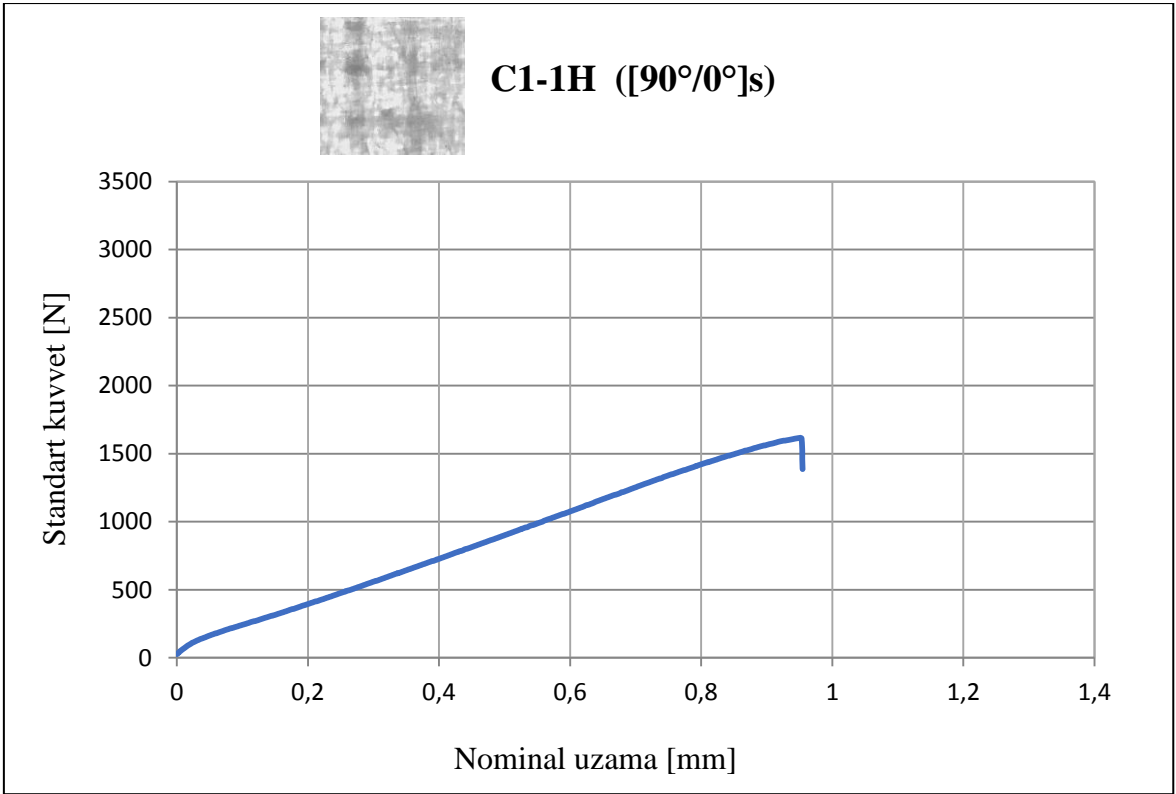
5.1.1 Hıgrotermal Şartlandırılmış ve Şartlandırılmamış Çapraz Katlı Numunelerin Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında sıcaklık ve nemin kompozit malzemelerin mekanik bağlantıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bölümde hıgrotermal şartlandırılan numuneler ile aynı fiber-matris malzemeleri ve yöntemle üretilmiş numuneler kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar için İnal' ın, çalışmasından [53] yararlanılmıştır. Böylece hıgrotermal etkinin malzemenin mekanik özelliklerindeki etkisi sunulmuştur.

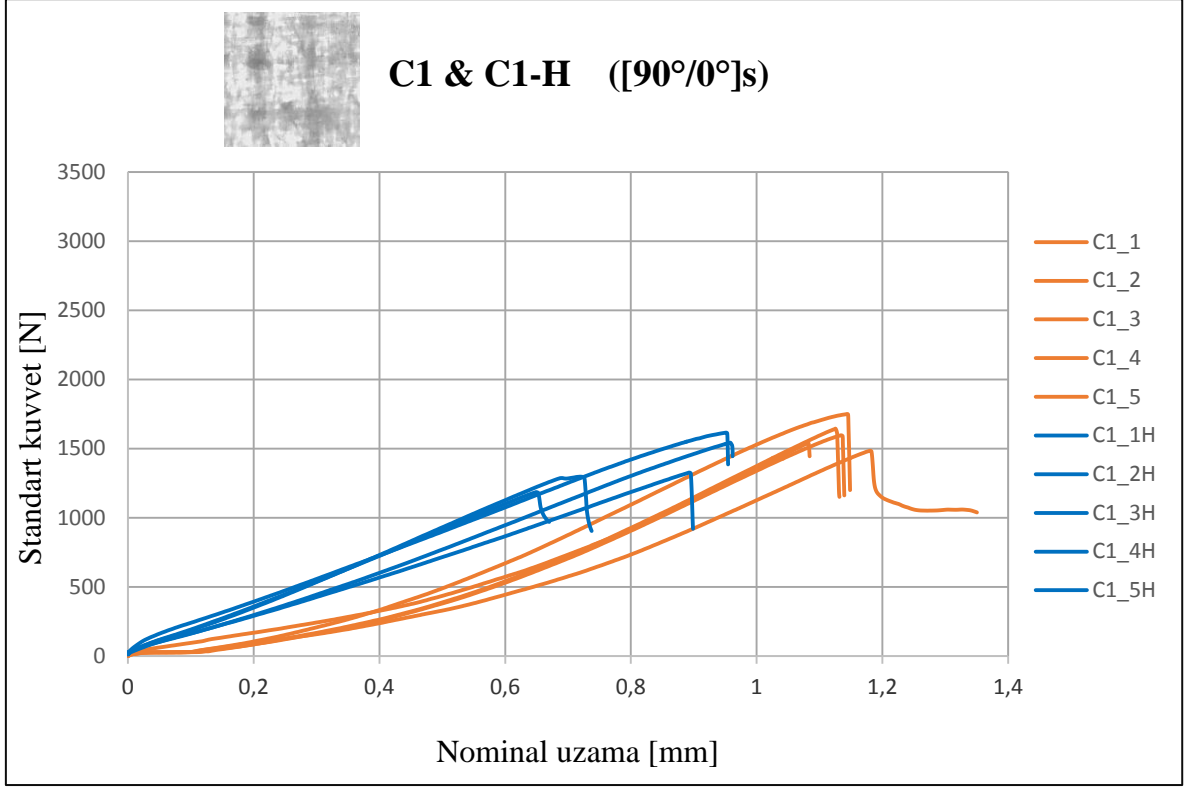
Çapraz katlı numuneler, elyafların 90° ve 0° yönlerinde farklı şekilde dizilimleriyle elde edilmiştir. Bu dizilimlerin malzeme dayanımına etkisi yapılan testlerle ortaya konulmuştur.



Şekil 5.7: C1 şartlandırılmamış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.8: C1 şartlandırılmış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.

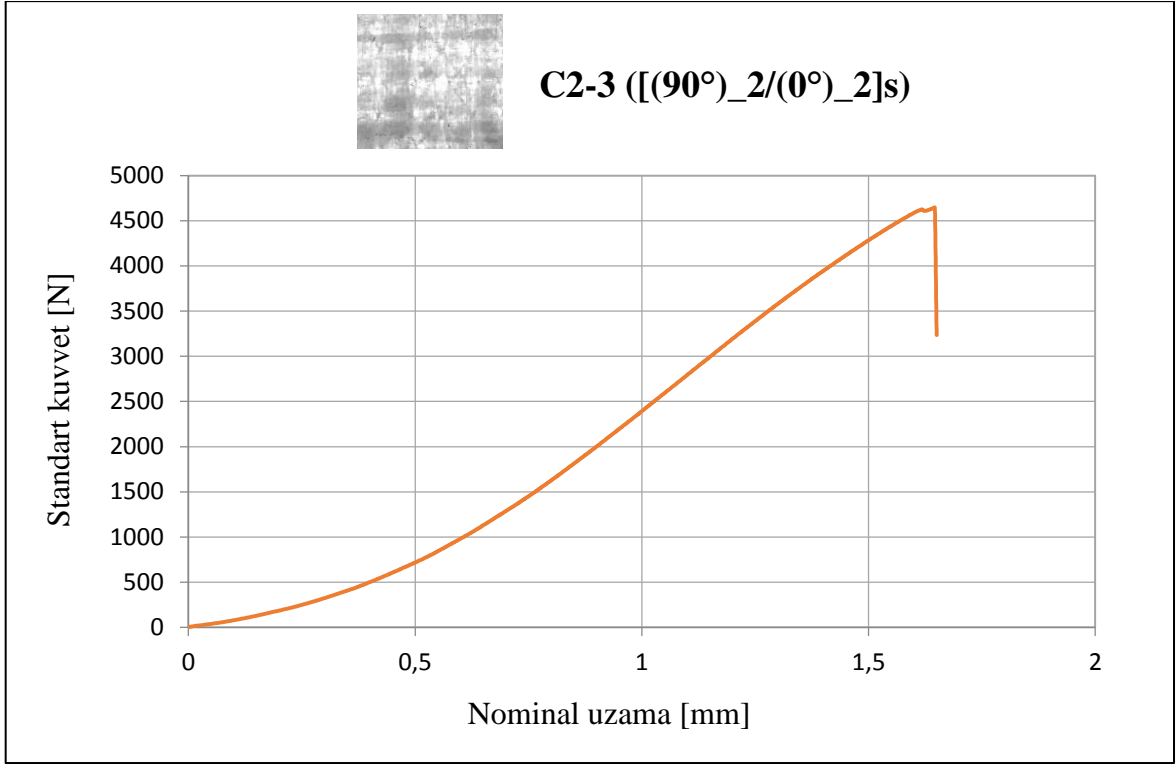


Şekil 5.9: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış C1 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

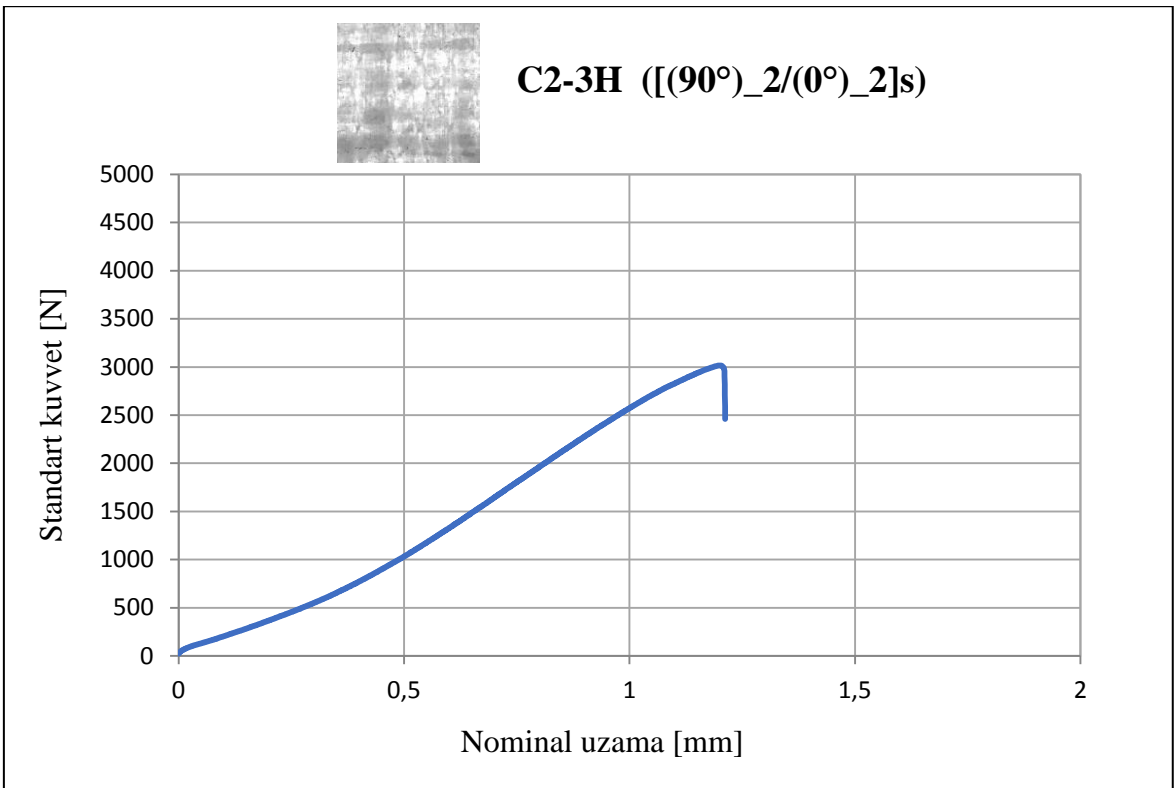
Higrotermal olarak şartlandırılan ve şartlandırılmayan C1 numunelerine aynı şartlarda çekme testi uygulanmıştır. Yukarıdaki grafiklerden (Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9) de görüldüğü gibi higrotermal şartlandırmaya maruz kalmayan numunelerde elde edilen maksimum yük değeri ortalama 1663.45 N iken, şartlandırmaya maruz kalan numunelerde bu değer ortalama 1393.90 N'dir. Numunelerin uzama değerlerine bakıldığında ise şartlandırılmamış numuneler en çok 1.35 mm uzarken, şartlandırılmış numunelerde bu değer en çok 0.97 mm 'dir (Tablo 5.1). C1 numuneleri 4 tabakadan oluştuğu için çapraz katlı numuneler arasında en düşük dayanıma sahiptir.

Tablo 5.1: C1 ve C1-H numunelerinin çekme testi sonuçları.

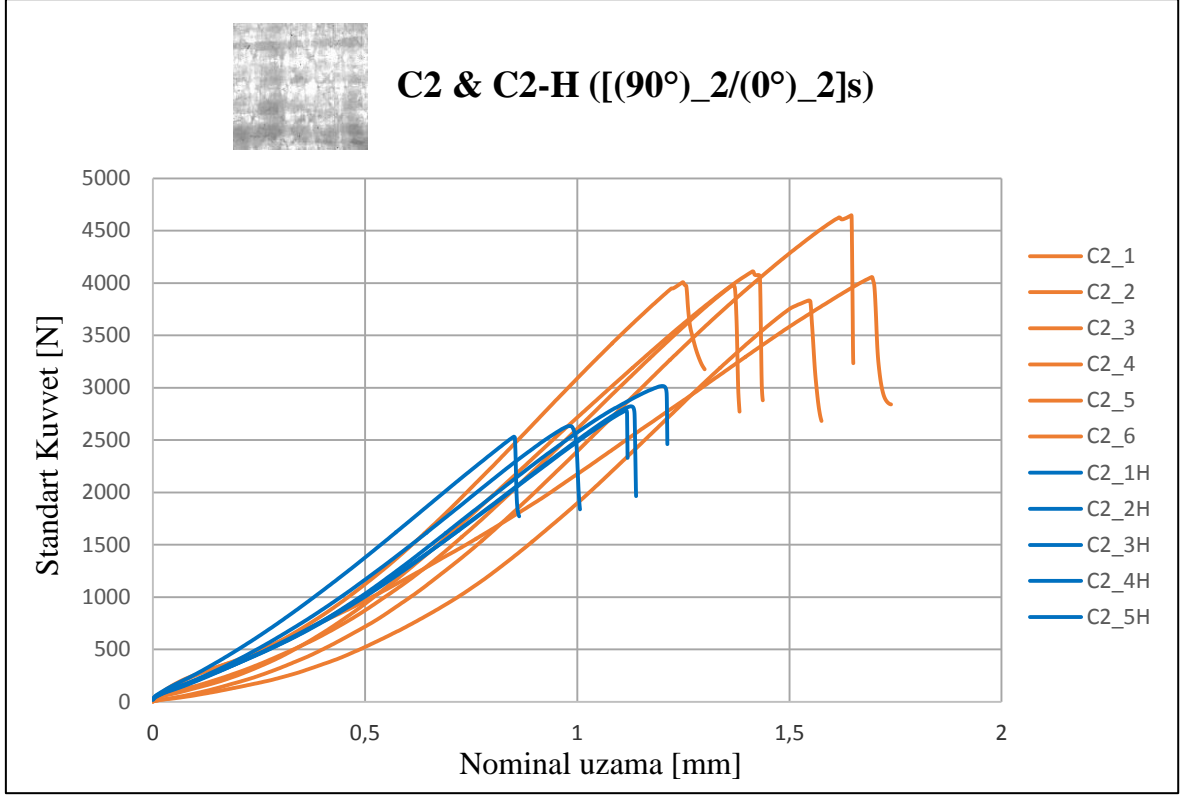
Numune	Maksimum Yük (N)	Maksimum Uzama(mm)	Yatak Mukavemeti (MPa)
C1	1663.45	1.35	221.80
C1-H	1393.90	0.97	185.85



Şekil 5.10: C2 şartlandırılmamış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.11: C2 şartlandırılmış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.

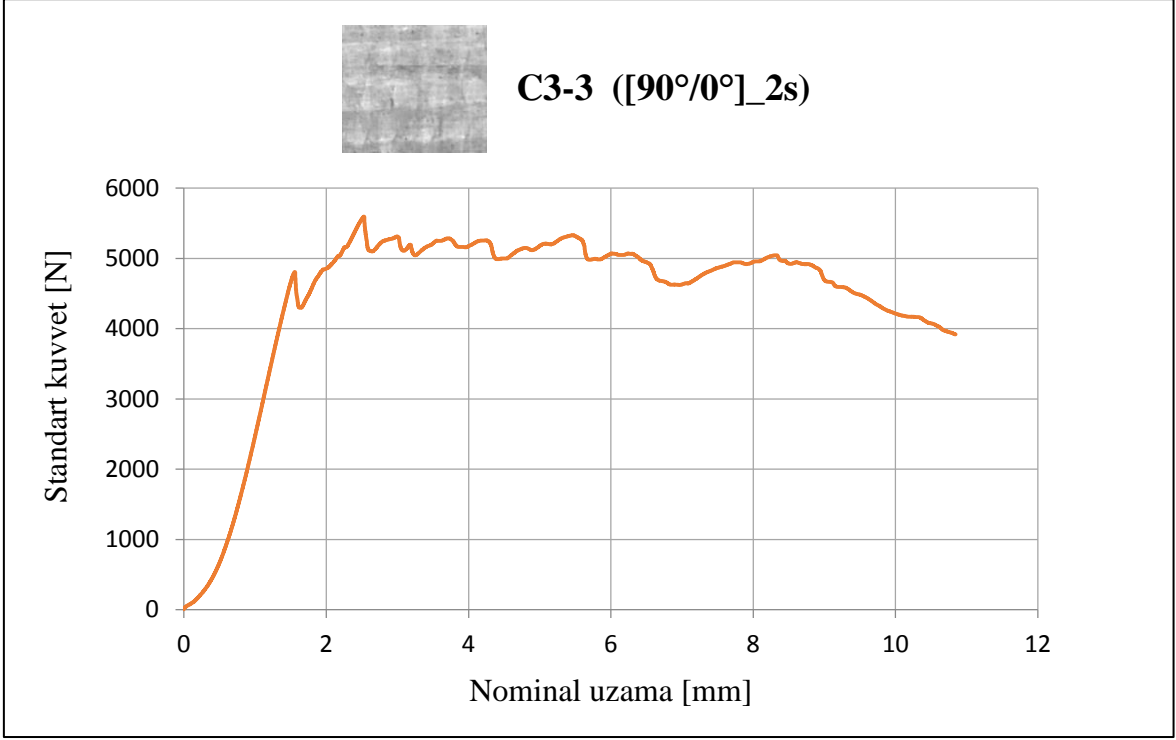


Şekil 5.12: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış C2 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

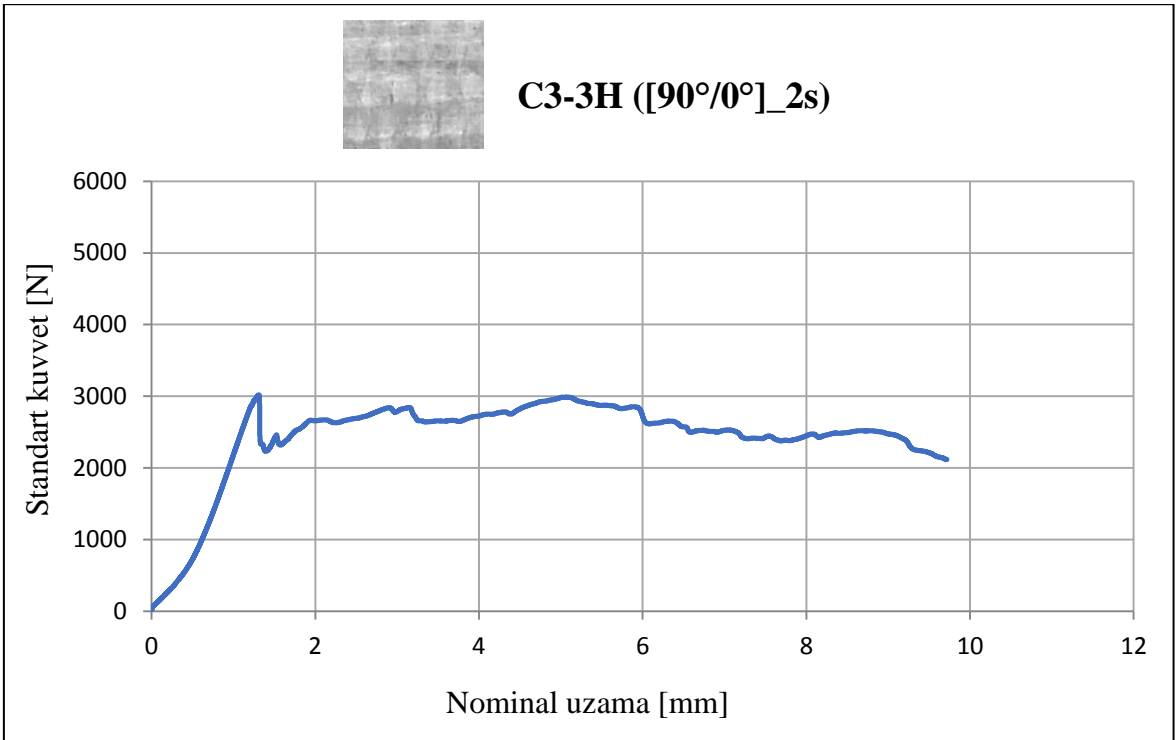
Aynı çekme testi C2 numuneleri için de gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki grafiklerden (Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12) de görüldüğü gibi higrotermal şartlandırmaya maruz kalmayan numunelerde elde edilen maksimum yük değeri ortalama 4149.80 N iken, şartlandırmaya maruz kalan numunelerde bu değer ortalama 2757.70 N'dir. Numunelerin uzama değerlerine bakıldığında ise şartlandırılmamış numuneler en çok 1.82 mm uzarken, şartlandırılmış numunelerde bu değer en çok 1.20 mm 'dir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: C2 ve C2-H numunelerinin çekme testi sonuçları.

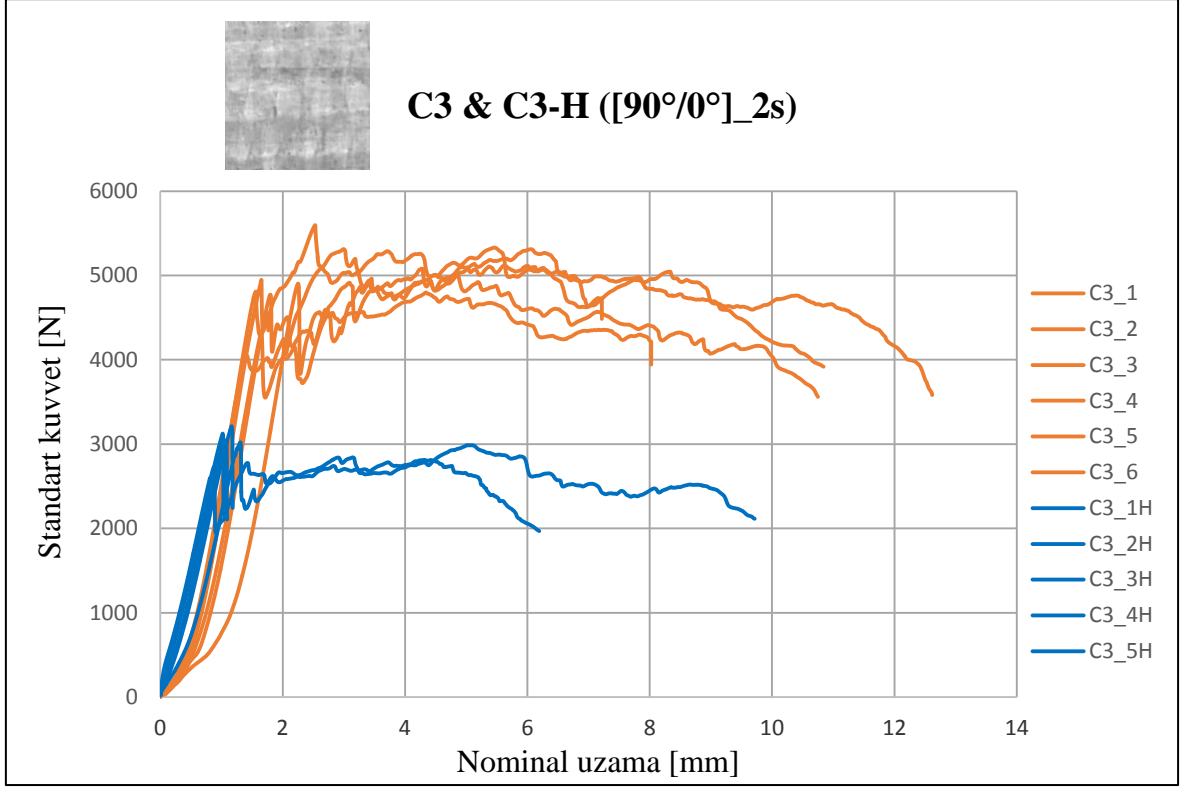
	Maksimum Yük (N)	Maksimum Uzama(mm)	Yatak Mukavemeti (MPa)
C2	4149.80	1.82	276.65
C2-H	2757.70	1.2	183.85



Şekil 5.13: C3 şartlandırılmamış bir numunenin kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.14: C3 şartlandırılmış bir numune kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.15: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış C3 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

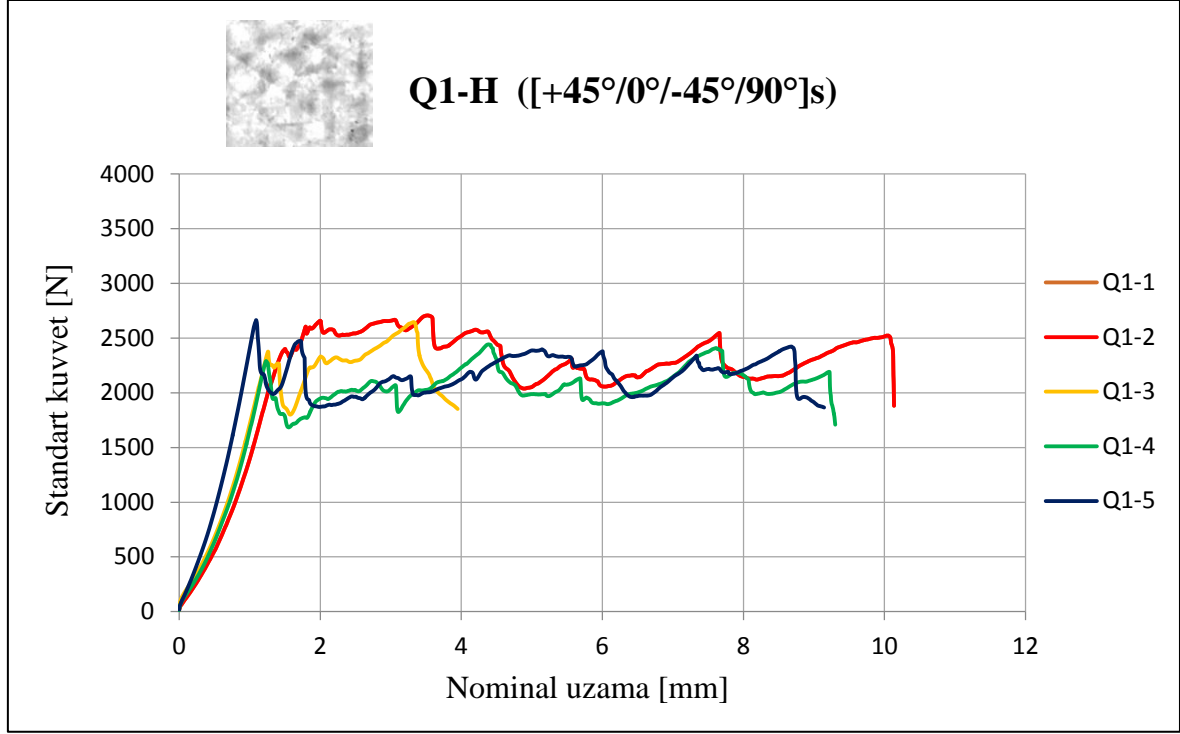
C3 numunelerini karşılaştıracak olursak, hem higrotermal olarak şartlandırılmış hem de şartlandırılmamış numunelere çekme testi uygulanmıştır. Bu dizilim sayesinde en yüksek mukavemet değerine sahip olan çapraz katlı numuneler C3 numuneleridir. Ancak yukarıdaki grafiklerden (Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15) de görüleceği gibi higrotermal şartlandırmaya maruz kalmayan numunelerde elde edilen maksimum yük değeri ortalama 5142.88 N iken, şartlandırmaya maruz kalan numunelerde bu değer ortalama 3042.96 N'dir. Numunelerin uzama değerlerine bakıldığında ise şartlandırılmamış numuneler yaklaşık 12.61 mm uzarken, şartlandırılmış numunelerde bu değer en çok 9.72 mm 'dir (Tablo 5.3).

Tablo 5.3: C3 ve C3-H numunelerinin çekme testi sonuçları.

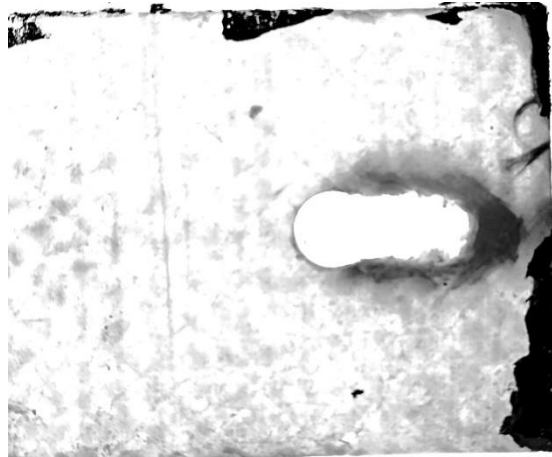
Numune	Maksimum Yük (N)	Maksimum Uzama(mm)	Yatak Mukavemeti (MPa)
C3	5142.88	12.61	343.85
C3-H	3042.96	9.72	203.86

5.2 Hıgrotermal Şartlandırılmış Yarı İzotropik Numuneler

Yarı izotropik numuneler çapraz katlı numunelere göre daha fazla kullanım alanına sahiptir. Aynı yol izlenerek yarı izotropik numunelerin mekanik davranışları incelenmiştir.



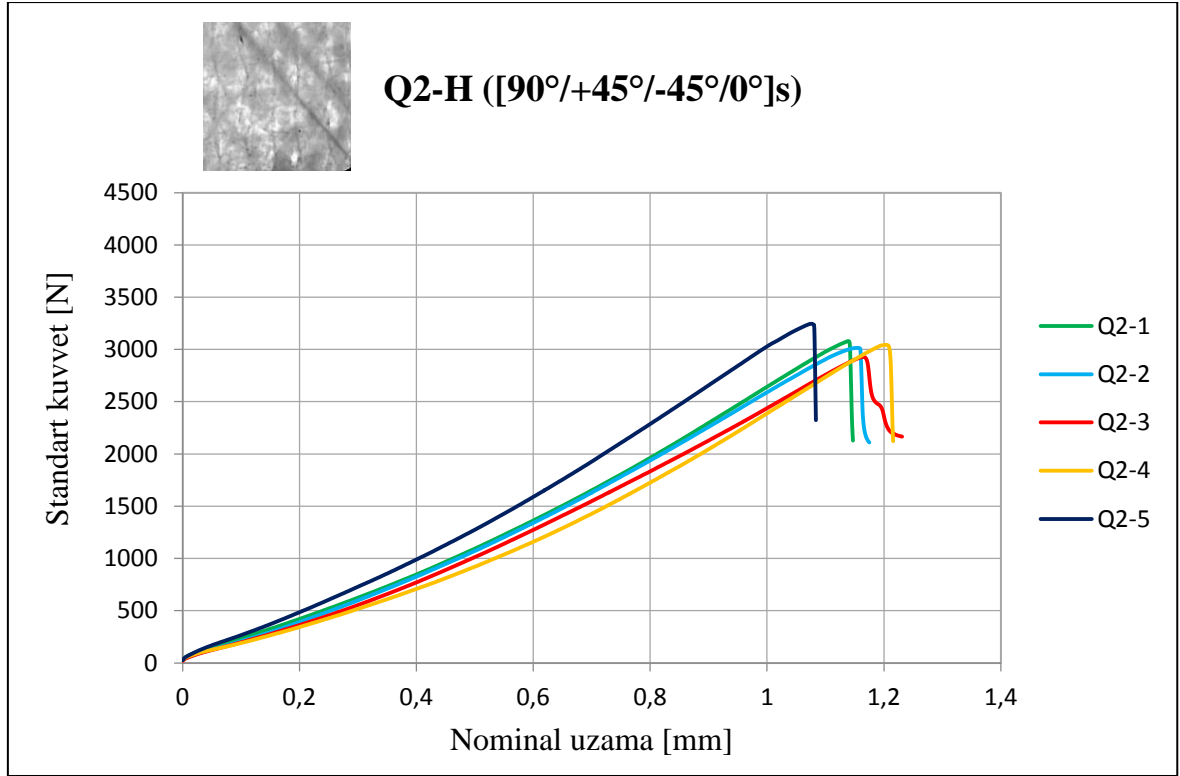
Şekil 5.16: Şartlandırılmış Q1 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.



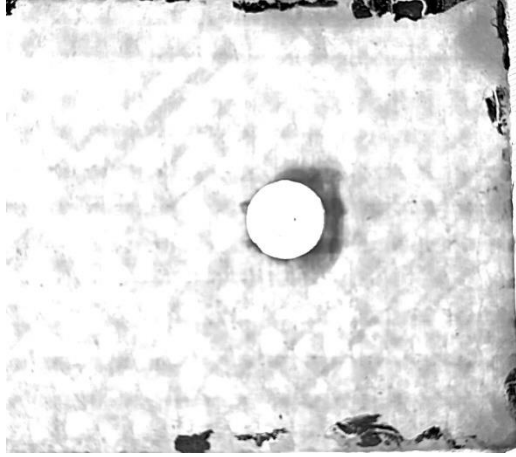
Şekil 5.17: Bir Q1 numunesinin temsili resmi.

Q1 fiber düzenindeki mekanik bağlantılı numuneler kayma ve yatak hasarı sergilemişlerdir (Şekil 5.16, Şekil 5.17). 8 tabakadan meydana gelen Q1 numuneleri $[+45^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}]_s =$

+45°+0°+(-)45°+90°+90°+(-)45°+0°+45° şeklinde dizilime sahiptir. Net olmasa da hasar oluşan bölgedeki dış yüzeylerde +45° fiberlerin düzlem dışı şekilde ayrılmaya başladığı görülmüştür. +45° fiberlerin düzlem dışında yer almasından dolayı numunenin düzlem içi mukavemeti yüksektir. Q1 numunelerinin elyaf dizilimi sebebiyle, grafikten görüldüğü gibi numune yükleme altında bir miktar uzamaya izin vererek, aniden hasar oluşarak malzemenin kırılmasını önlemiştir. Basma yükü altında burkulmaya karşı en dayanıklı olan 90° tabakaların bu numune diziliminde orta düzlemde bulunması plakanın stabilitesini düşürmektedir[62].

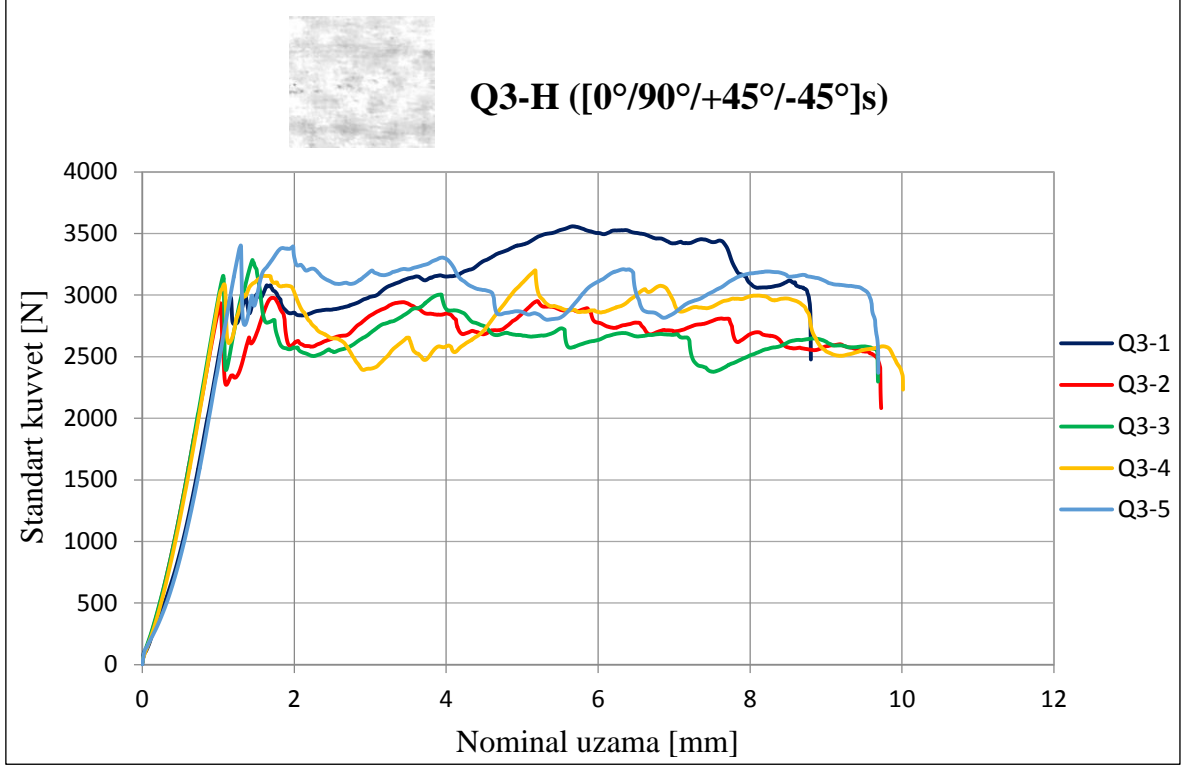


Şekil 5.18: Şartlandırılmış Q2 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

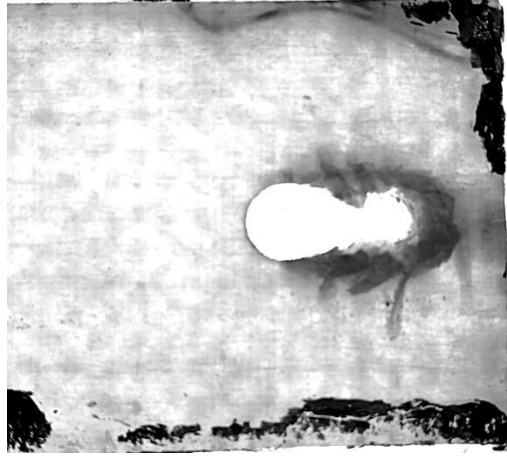


Şekil 5.19: Bir Q2 numunesinin temsili resmi.

Q2 fiber düzenindeki numuneler temel olarak yatak hasar modu göstermişlerdir (Şekil 5.18, Şekil 5.19). 8 tabakadan meydana gelen Q2 numuneleri $[90^\circ/+45^\circ/-45^\circ/0^\circ]_s = 90^\circ+45^\circ+(-)45^\circ+0^\circ+0^\circ+(-)45^\circ+45^\circ+90^\circ$ şeklinde dizilime sahiptir. 90° yönelimli fiberlerin dış tabakada ve 0° fiberlerin de orta düzlemde bulunması, malzeme stabilitesini ve dayanımını artırmıştır[62]. Bu nedenle bu dizilim sayesinde Q1 numunelerinden daha yüksek dayanıma sahiptir. Ancak grafikten görüldüğü gibi numune yükleme altında, aniden hasar alarak kırılmıştır. Çapraz katlı numunelerde olduğu gibi 90° fiberlerin dış yüzeyde bulunmasından dolayı, Q2 numunelerinde de 90° fiberlerin düzlem dışı yönde ayrılmaları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.20: Şartlandırılmış Q3 numunelerinin kuvvet-uzama grafiği.

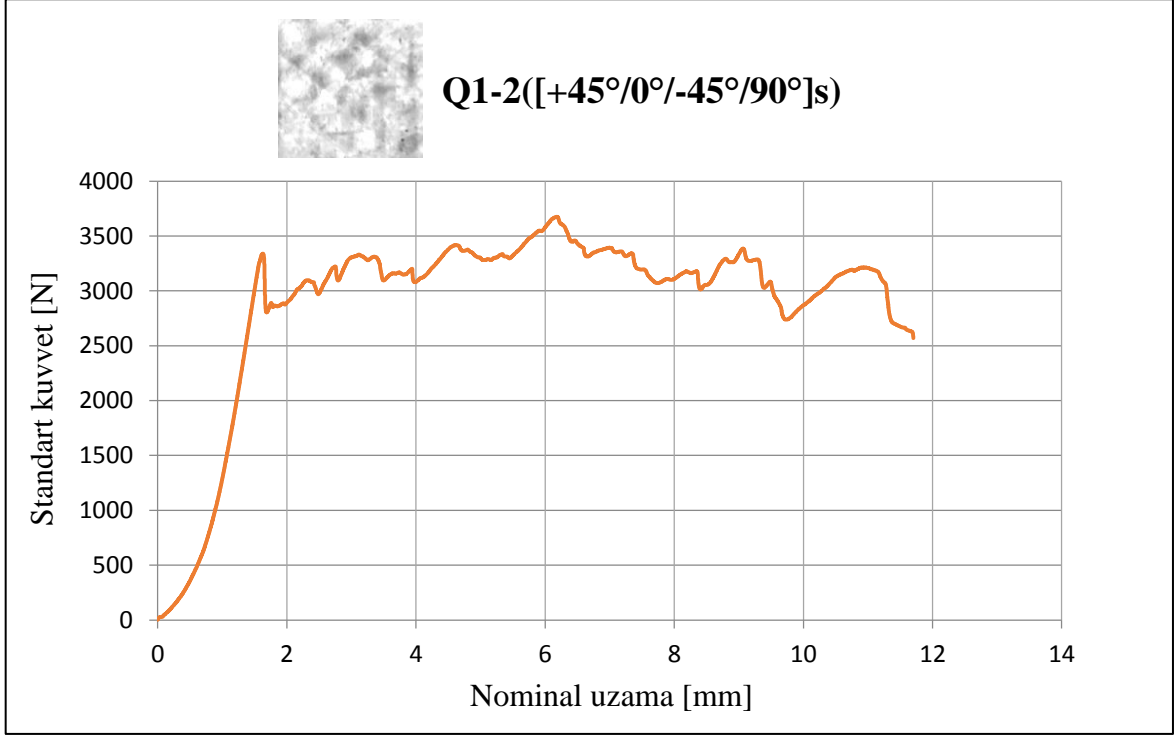


Şekil 5.21: Bir Q3 numunesinin temsili resmi.

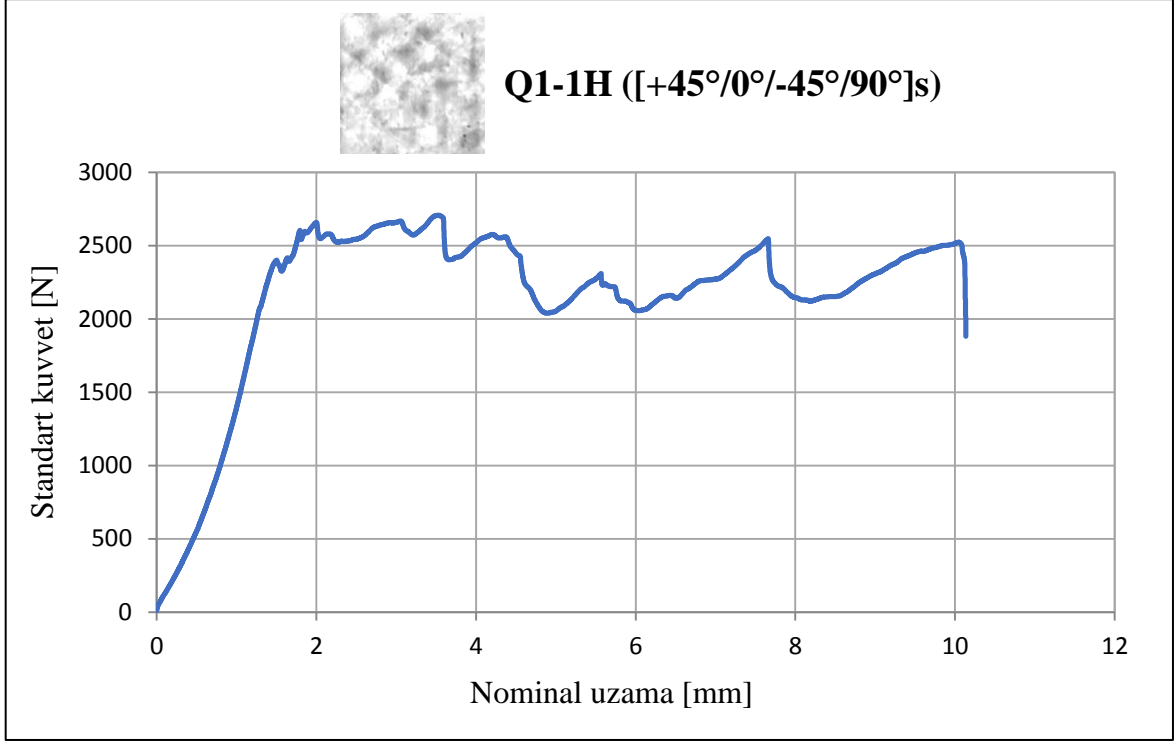
Q3 fiber düzenindeki mekanik bağlantılı numunelerde yatak ve kayma hasarı meydana gelmiştir (Şekil 5.20, Şekil 5.21). 8 tabakadan meydana gelen Q3 numuneleri $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_s = 0^\circ+90^\circ+45^\circ+(-)45^\circ+(-)45^\circ+45^\circ+90^\circ+0^\circ$ şeklinde dizilime sahiptir. Q3 numunelerinin elyaf dizilimi sebebiyle, grafikten görüldüğü gibi numune yükleme

altında bir miktar uzamaya izin vererek, aniden hasar oluşarak malzemenin kırılmasını önlemiştir.

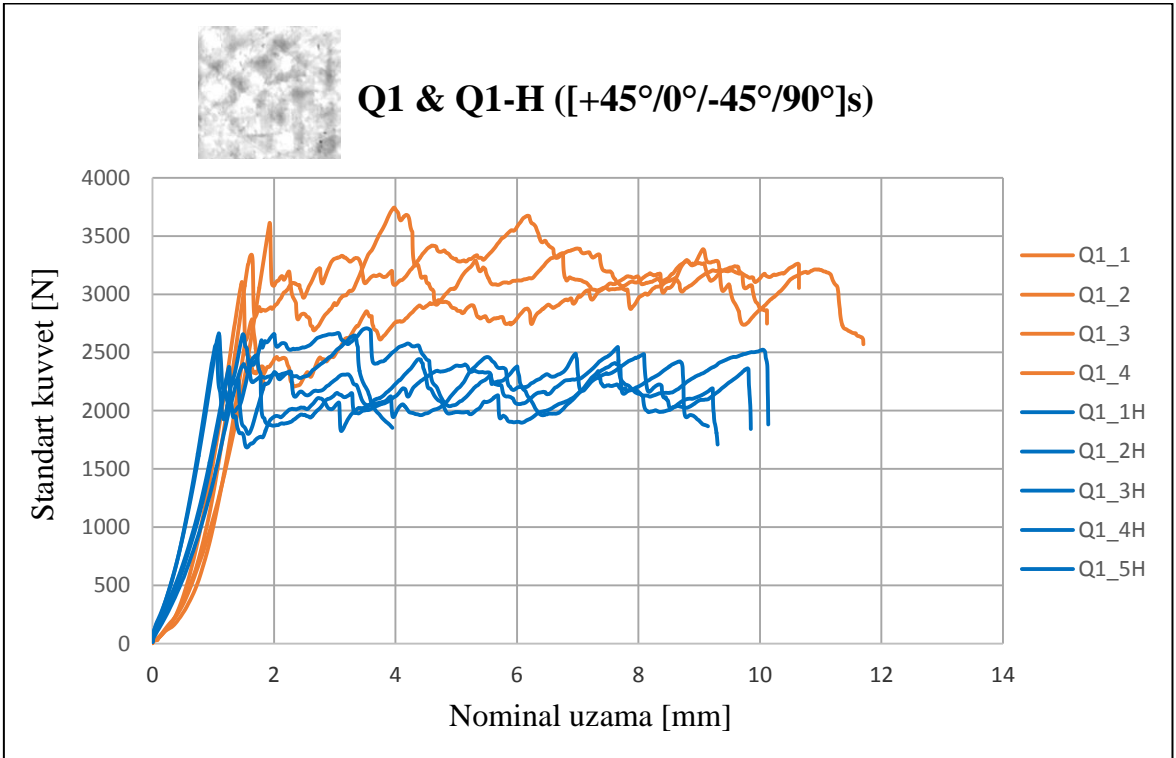
5.2.1 Higrotermal Şartlandırılmış ve Şartlandırılmamış Yarı İzotropik Numunelerin Karşılaştırılması



Şekil 5.22: Şartlandırılmamış bir Q1 numunesinin kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.23: Q1 şartlandırılmış numune kuvvet –uzama grafiği.

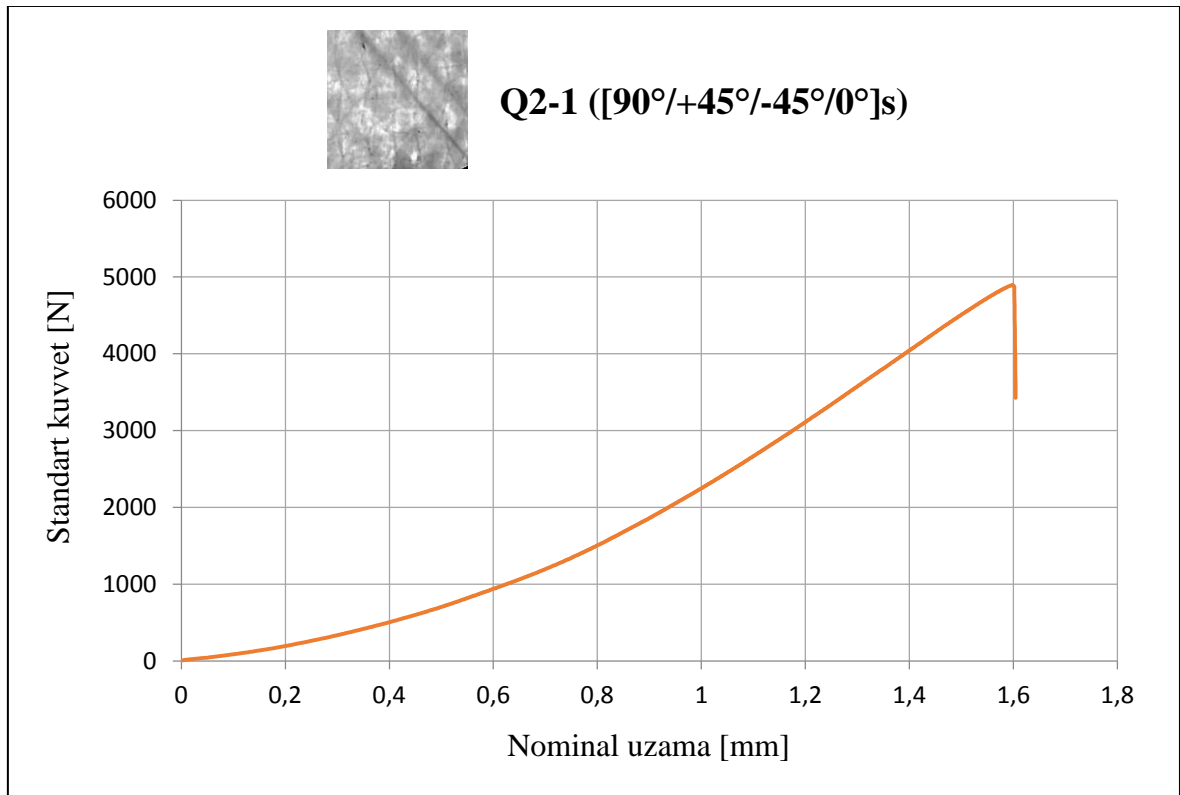


Şekil 5.24: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış Q1 numuneleri.

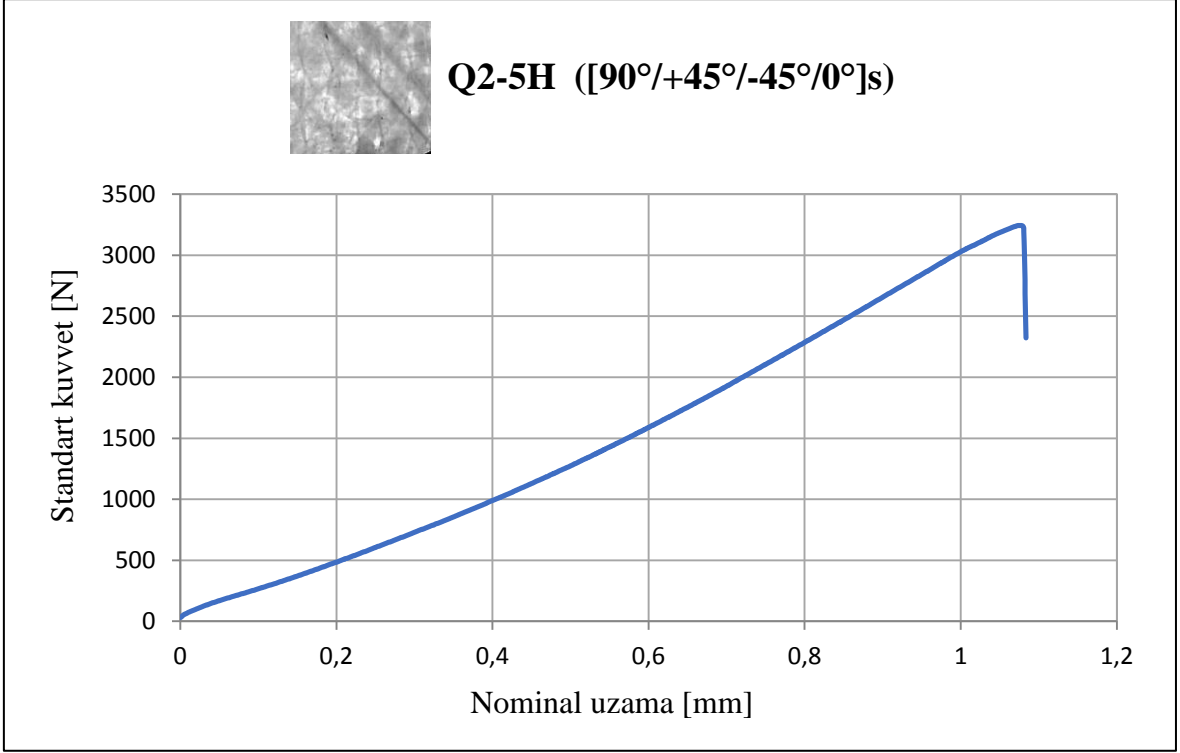
Q1 numunelerini karşılaştıracak olursak, hem higrotermal şartlandırılan hem de şartlandırılmayan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Ancak yukarıdaki grafiklerden (Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24) de görüldüğü gibi higrotermal şartlandırmaya maruz kalmayan numunelerde elde edilen maksimum yük değeri ortalama 3452.55 N elde edilmişken, şartlandırmaya maruz kalan numunelerde bu değer ortalama 2623.78 N'dir. Numunelerin uzama değerlerine bakıldığında ise şartlandırılmamış numuneler en çok 11.70 mm uzarken, şartlandırılmış numunelerde bu değer en çok yaklaşık 10.14 mm 'dir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4: Q1 ve Q1-H numunelerinin çekme testi sonuçları.

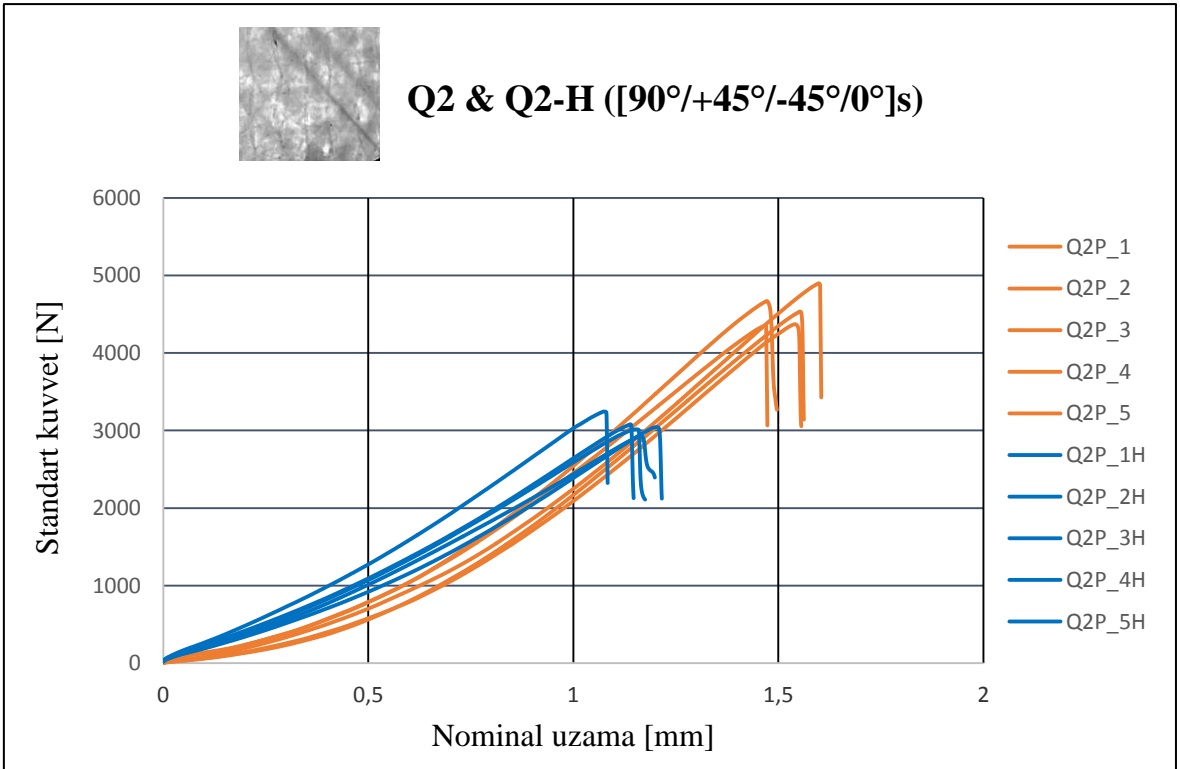
Numune	Maksimum Yük (N)	Maksimum Uzama(mm)	Yatak Mukavemeti (MPa)
Q1	3452.55	11.7	230.17
Q1-H	2623.78	10.14	174.91



Şekil 5.25: Q2 şartlandırılmamış numune kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.26: Q2 şartlandırılmış numune kuvvet –uzama grafiği.

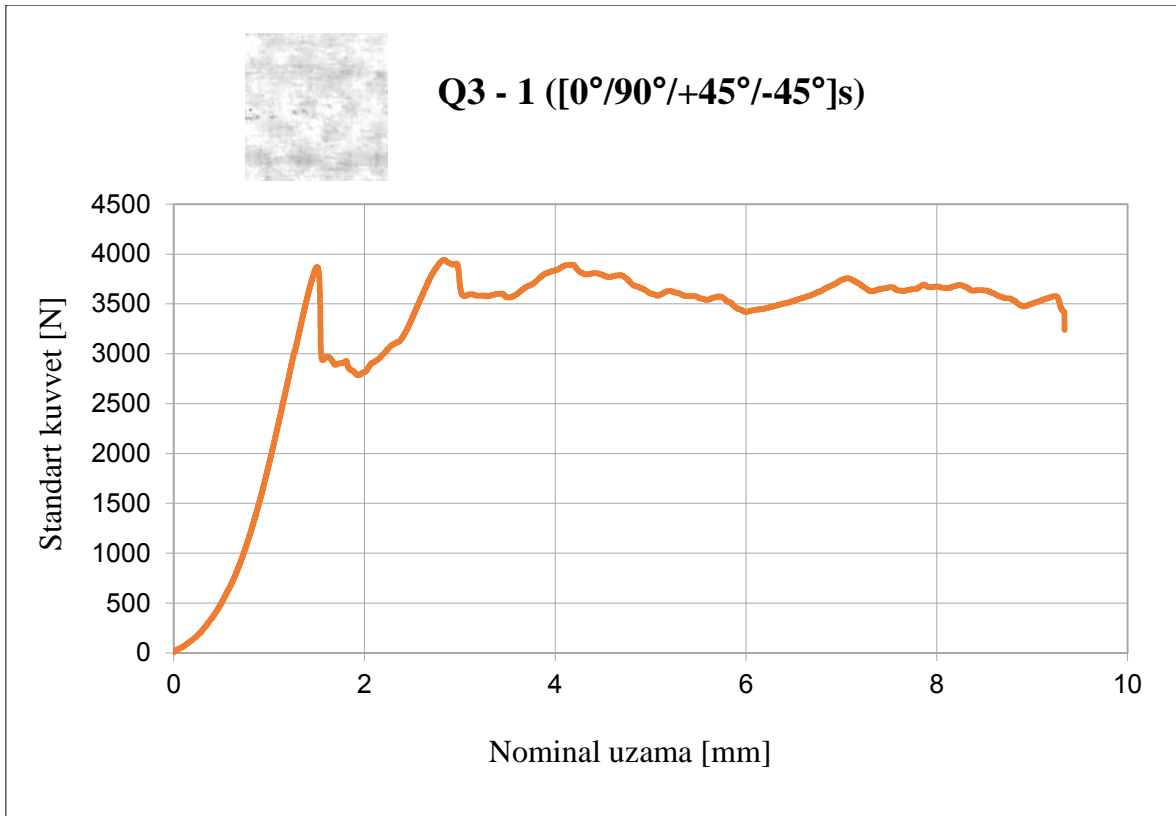


Şekil 5.27: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış Q2 numuneleri.

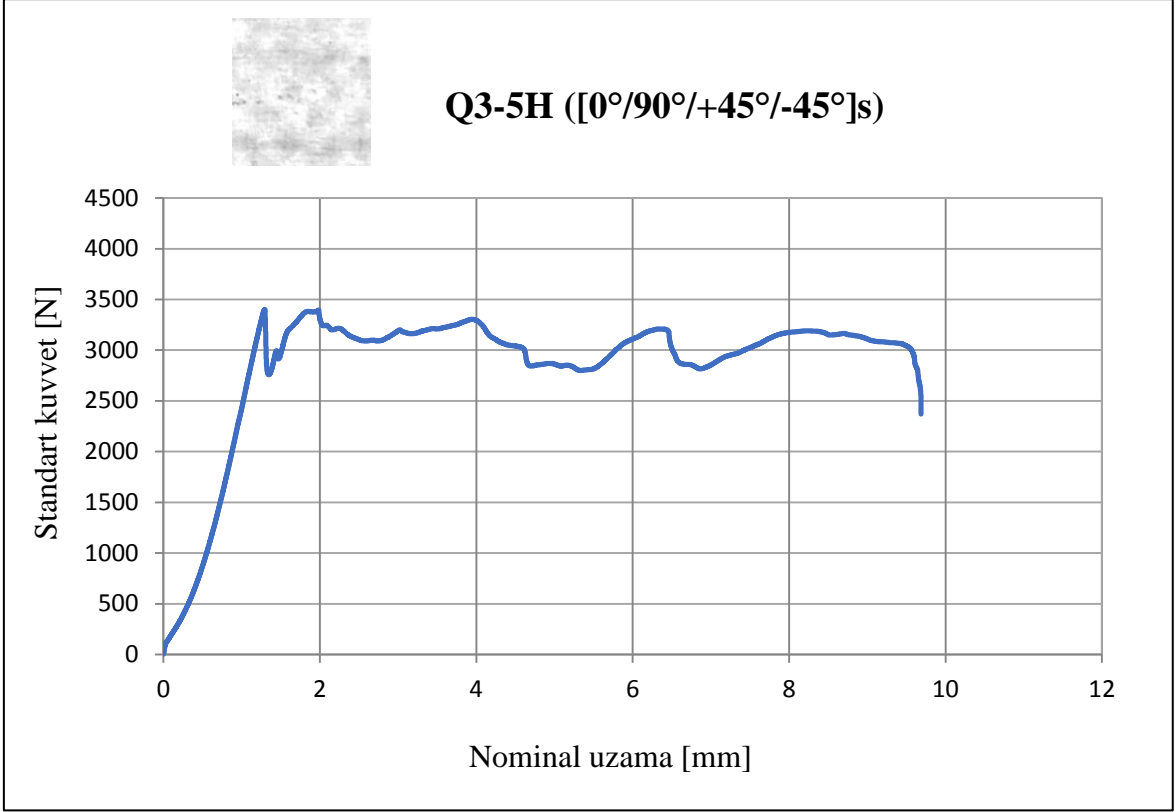
Higrotermal olarak şartlandırılan ve şartlandırılmayan Q2 numunelerine çekme testi uygulanmıştır. Ancak yukarıdaki grafiklerden (Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27) de görüldüğü gibi higrotermal şartlandırmaya maruz kalmayan numunelerde elde edilen maksimum yük değeri ortalama 4564.67 N' a ulaşırken, şartlandırmaya maruz kalan numunelerde bu değer ortalama 3070.18 N' dir. Numunelerin nominal uzama değerlerine bakıldığında ise şartlandırılmamış numuneler en çok 1.65 mm uzarken, şartlandırılmış numunelerde bu değer en çok 1.2 mm 'dir (Tablo 5.5).

Tablo 5.5: Q2 ve Q2-H numunelerinin çekme testi sonuçları.

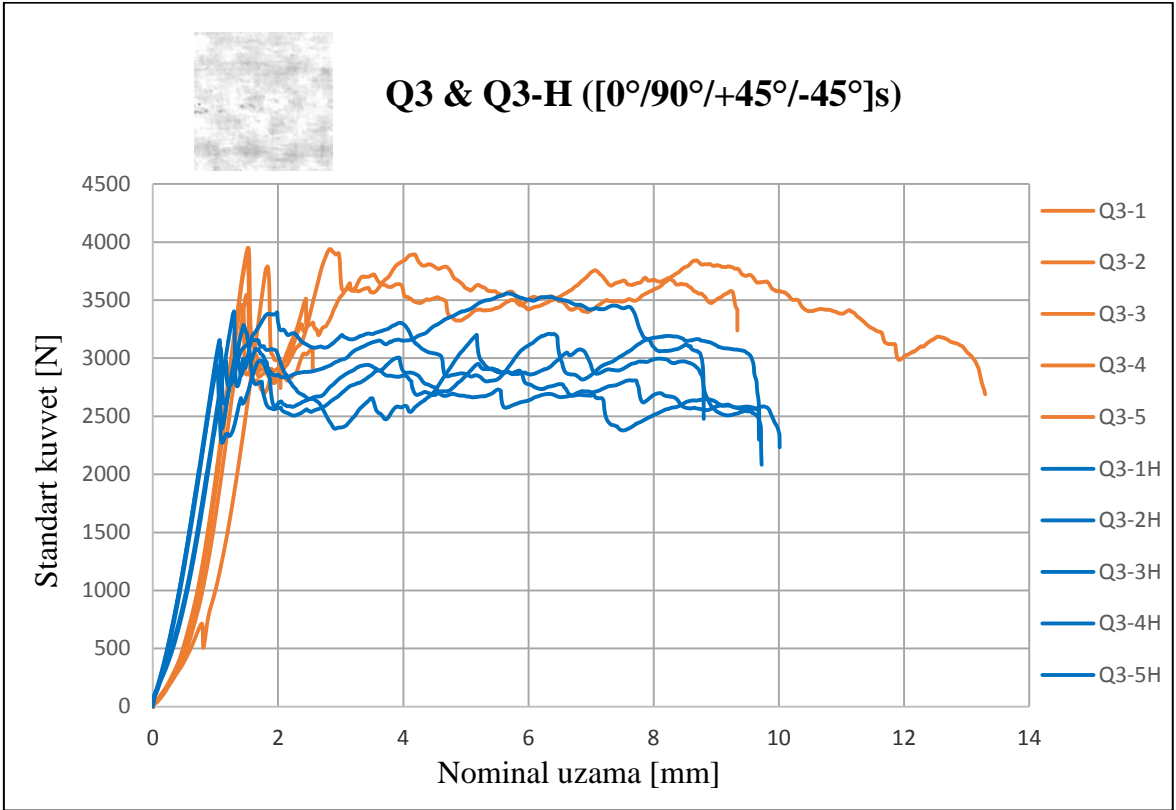
Numune	Maksimum Yük (N)	Maksimum Uzama(mm)	Yatak Mukavemeti (MPa)
Q2	4564.67	1.65	304.31
Q2-H	3070.18	1.2	204.67



Şekil 5.28: Q3 şartlandırılmamış numune kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.29: Q3 şartlandırılmış numune kuvvet –uzama grafiği.



Şekil 5.30: Şartlandırılmış ve şartlandırılmamış Q3 numuneleri.

Q3 numunelerini karşılaştıracak olursak, hem higrotermal olarak şartlandırılan hem de şartlandırılmayan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Ancak yukarıdaki grafiklerden (Şekil 5. 28, Şekil 5.29, Şekil 5.30) de görüldüğü gibi higrotermal şartlandırmaya maruz kalmayan numunelerde elde edilen maksimum yük değeri ortalama 3871.71 N' a ulaşırken, şartlandırmaya maruz kalan numunelerde bu değer ortalama 3285.56 N'dir. Numunelerin nominal uzama değerlerine bakıldığında ise şartlandırılmamış numuneler en çok 13.50 mm uzarken, şartlandırılmış numunelerde bu değer en çok 10 mm 'dir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6: Q3 ve Q3-H numunelerinin çekme testi sonuçları.

Numune	Maksimum Yük (N)	Maksimum Uzama(mm)	Yatak Mukavemeti (MPa)
Q3	3871.71	13.5	516.22
Q3-H	3285.56	10	438.07

Tüm bu sonuçlar nem ve ısı etkisinin malzemenin dayanımını düşürdüğünü göstermektedir. Fiber-matris bağının bozulması ve laminaların ayrılması gibi önemli hasarlara yol açmıştır. Numuneler daha düşük yük altında hasar görmeye başlamışlardır. Bunun yanında fiber tabakalarının oluşturulması da büyük öneme sahiptir.

- 0° yönelimli elyaf tabakanın dış yüzeylerde bulunması, yani tabakanın bir yüzeyinin boşta olması malzemede düzlem dışı burkulmalar meydana gelmektedir. Bunun sonucunda da fiber matris ayrılmaları, malzemenin yük taşıma kabiliyetinde azalma ve oluşacak hasarın yıkıcı olması beklenir.
- 45° yönelimli elyaflarda ise hem düzlem içi hem düzlem dışı burkulmalar meydana gelebilmektedir.
- Aynı yönlendirme açılına sahip tabakaların birbirleriyle komşu olarak sıralanması yerine, farklı yönlendirme açılına sahip tabakaların birbirine komşu olarak dizilimi mekanik bağlantılarda mukavemete olumlu etkisi olduğu görülmüştür [62].

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kompozit malzemelerin çok çeşitli uygulama alanları mevcuttur ve bu alanlar gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda kompozit malzemelerin farklı malzeme ve yapılarla bir araya getirilerek kullanımı da oldukça yaygındır. Kompozitlerin kullanıldığı ortamda daha uzun ömürlü olabilmesi, daha verimli kullanılabilmesi önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasına kompozit malzemelerin kullanıldığı çevre koşullarının malzemenin mekanik bağlantılarına etkileri düşünülerek yola çıkılmıştır ve higrotermal etkinin cam elyaf epoksi kompozit malzemelerin mekanik bağlantısına olan etkisi incelenmiştir.

Bu numuneler ASTM D 5961/ D5961M standardına göre üniversitemiz laboratuvarında üretilmiştir. Ardından ASTM D 5229/ D5229M standardı takip edilerek numuneler higrotermal olarak şartlandırılmışlardır. Bu şartlandırma numunelerin 50°C sıcak su banyosunda nem doygunluğuna ulaşınca kadar bekletilmesiyle gerçekleşmiştir. Okulumuzda araştırma görevlisi olarak çalışmış olan İnal, kıvrımsız cam elyaf epoksi kompozitlerin mekanik bağlantılarını incelemiştir. Yapmış olduğu tez çalışmasında kullanmış olduğu malzemeler ve üretim yöntemi bu tez çalışmasında incelenen numuneler için de uygulanmıştır. Yani aynı malzemedan üretilmiş, higrotermal olarak şartlandırılan ve şartlandırılmayan numunelerin mekanik bağlantılarındaki davranışları incelenip karşılaştırılmıştır.

Nem absorpsiyonu, numunelerin su banyosuna konulmasından itibaren ilk günlerde hızlı olarak gerçekleşmiştir. Numunelerin su banyosunda kalma süresi uzadıkça nem absorpsiyon hızı düşmüş ve bir süre sonra numuneler nem doygunluğuna ulaşmıştır. Nem absorbe eden bu numuneler için aşağıdaki maddeleri söyleyebiliriz:

- Fiber matris ara yüzünde nem birikmiştir. Bu sebeple fiber-matris bağı olumsuz etkilenmiştir ve malzemede meydana gelebilecek delaminasyonlar hızlanmıştır.
- Fiber-matis ara yüzünde hakim olan mekanik özellikler olumsuz etkilenmiştir.
- Malzemenin rijitliği ve ortalama mukavemetleri azalmıştır.
- Malzemelerin dış tabakasında 90° elyafların kullanılması, orta düzlemde ise 0° elyafların kullanılması malzeme dayanımı için tercih edilmelidir.
- Malzemenin dayanabileceği maksimum yük, malzemenin elyaf düzenine göre değişmekle birlikte % 15-40 oranında azalmıştır.

- Numunelerdeki maksimum uzama değerleri de %13-34 oranında azalmıştır.
- Aynı yönlendirme açlarına sahip tabakaların birbirleriyle komşu olarak sıralanması yerine, farklı yönlendirme açlarına sahip tabakaların birbirine komşu olarak dizilimi mekanik bağlantılarda mukavemete olumlu etkisi olduğu görülmüştür [62].

Şartlandırma süresi ve sıcaklık artıkça malzemede daha fazla bozulmalar, mekanik özelliklerde daha fazla azalma ve farklı hasar modları gözlemlenebilir. Sonraki çalışmalarda öneri olarak, farklı sıcaklıklarla ve farklı şartlandırma süreleriyle çalışarak matris malzemesinin davranışı incelenebilir. Malzemenin kullanılacağı çevre ortamına göre malzeme ve bağlantı şeklinin doğru seçimi önemlidir. Uygulanan mekanik bağlantının periyodik olarak bakımı, bu olumsuzluklar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- [1] M. Y. Solmaz and M. Gür, "The effect of reinforced materials and orientation angles on stress analysis for laminated composite plates," *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, p. 16, 2007.
- [2] P.W.R Beaumont, "The failure of fiber composites - an overview".*Journal of Strain Analysis for Engineering Design*. Vol.24 no: 4, pp.189-205, 1989.
- [3] A.K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials*, Florida: Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [4] M.A. Kayrak, *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri*, Sivil Havacılık Yüksek Okulu Yayınları, No.09, Eskişehir, pp.12-13,69. 1999.
- [5] M. K. Mariswamappa and N. A. Laboratories, "Hygrothermal effects on the mechanical properties of glass fibre-epoxy composite material," pp. 16–17, 2015.
- [6] A. Dogan and C. Atas, "Variation of the mechanical properties of e-glass/epoxy composites subjected to hygrothermal aging," *J. Compos. Mater.*, vol. 50, no. 5, pp. 637–646, 2016.
- [7] J.A.P. Cunha, M. L. Costa ve M.C. Rezende "Study of the hygrothermal effects on the compression strength of carbon tape/epoxy composites". *Latin American Journal of Solids and Structures*. no.5, pp.157–170, 2008.
- [8] Soutis, C., and D. Turkmen. "Hygrothermal effects on the compressive strength of T 800-924 C CFRP laminates." *Tenth International Conference on Composite Materials*. VI. Microstructure, Degradation, and Design. 1995.
- [9] S. B. Kumar, I. Sridhar, and S. Sivashanker, "Influence of humid environment on the performance of high strength structural carbon fiber composites," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 498, no. 1–2, pp. 174–178, 2008.
- [10] T. A. Collings and D. E. W. Stone, "Hygrothermal effects in CFC laminates: Damaging effects of temperature, moisture and thermal spiking," *Compos. Struct.*, vol. 3, no. 3–4, pp. 341–378, 1985.
- [11] Y. Hu, X. Li, A. W. Lang, Y. Zhang, and S. R. Nutt, "Water immersion aging of polydicyclopentadiene resin and glass fiber composites," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 124, pp. 35–42, 2016.

- [12] T.P. Sathishkumar, S. Satheeshkumar, and J. Naveen, “Glass fiber-reinforced polymer composites – a review”. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* vol. 33, no.13, pp. 1258–1275, 2014.
- [13] G.H. Awan, L. Ali, K.M. Ghauri, Engr. Ramzan., Engr. Ehsan., “Effect of various forms of glass fiber reinforcements on tensile properties of polyester matrix composite”. *Journal of Faculty of Engineering & Technology*, no.16, pp. 33–39, 2009.
- [14] M.A. Faizal, Y.K. Beng, and M.N. Dalimin, “Tensile property of hand lay-up plain-weave woven e-glass/polyester composite: curing pressure and ply arrangement effect”. *Borneo Science*. No. 19, pp. 27 – 34., 2006.
- [15] F. Ellyin, ve R. Maser, “Environmental effects on the mechanical properties of glass fiber epoxy composite tubular specimens”., *Composites Science and Technology*, no.64, pp. 1863–1874., 2004.
- [16] O. De La Osa, V. Alvarez, and A. Vázquez, “Effect of hygrothermal history on water and mechanical properties of glass/vinylester composites,” *J. Compos. Mater.*, vol. 40, no. 22, pp. 2009–2023, 2006.
- [17] V. Alzamora Guzman and P. Brøndsted, “Effects of moisture on glass fiber-reinforced polymer composites,” *J. Compos. Mater.*, vol. 49, no. 8, pp. 911–920, 2015.
- [18] Y. Hu, X. Li, A. W. Lang, Y. Zhang, and S. R. Nutt, “Water immersion aging of polydicyclopentadiene resin and glass fiber composites,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 124, pp. 35–42, 2016.
- [19] M. Berges, R. Léger, V. Placet, V. Person, S. Corn, X. Gabrion, J. Rousseau, E. Ramasso, P. Ienny and S. Fontaine. “Influence of moisture uptake on the static, cyclic and dynamic behaviour of unidirectional flax fiber-reinforced epoxy laminates,”. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, vol. 88, pp. 165-177, 2016.
- [20] Barjasteh, E.; Nutt, S.R. “Moisture absorption of unidirectional hybrid composites”, *Composites Part A:Elseiver*, vol. 43,pp. 158-164, 2012.
- [21] S. N. Fitriah, M. S. Abdul Majid, M. J. M. Ridzuan, R. Daud, A. G. Gibson, and T. A. Assaleh, “Influence of hydrothermal ageing on the compressive behaviour of glass fibre/epoxy composite pipes,” *Compos. Struct.*, vol. 159, pp. 350–360, 2017.

- [22] A. Zafar, F. Bertocco, J. Schjødt-Thomsen, and J. C. Rauhe, "Investigation of the long term effects of moisture on carbon fibre and epoxy matrix composites," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 72, no. 6, pp. 656–666, 2012.
- [23] N. Guerhazi, A. Ben Tarjem, I. Ksouri, and H. F. Ayedi, "On the durability of FRP composites for aircraft structures in hygrothermal conditioning," *Compos. Part B Eng.*, vol. 85, pp. 294–304, 2013.
- [24] S. Eslami, A. Honarbakhsh-Raouf, and S. Eslami, "Effects of moisture absorption on degradation of e-glass fiber reinforced vinyl ester composite pipes and modelling of transient moisture diffusion using finite element analysis," *Corros. Sci.*, vol. 90, pp. 168–175, 2015.
- [25] E. Vauthier, J. C. Abry, T. Bailliez, and A. Chateauminois, "Interactions between hygrothermal ageing and fatigue damage in unidirectional glass/epoxy composites," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 58, no. 5, pp. 687–692, 1998.
- [26] B. F. Boukhoulda, E. Adda-Bedia, and K. Madani, "The effect of fiber orientation angle in composite materials on moisture absorption and material degradation after hygrothermal ageing," *Compos. Struct.*, vol. 74, no. 4, pp. 406–418, 2006.
- [27] G. Larbi, T. Mostapha, O. Hocine, A. El, and M. Alaoui, "High strain rate in-plane compressive behavior of hygrothermally aged e-glass / epoxy laminates," pp. 1–15.
- [28] Y. Miyano, M. Nakada, and N. Sekine, "Life prediction of CFRP/metal bolted joint under water absorption condition," *J. Compos. Mater.*, vol. 44, no. 20, pp. 2393–2411, 2010.
- [29] G. Altan and M. Topçu, "Fatigue and static performances of butterfly joints under hygrothermal exposure conditions," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 127, no. 5, pp. 3374–3381, 2013.
- [30] H. Alamri and I. M. Low, "Mechanical properties and water absorption behaviour of recycled cellulose fibre reinforced epoxy composites," *Polym. Test.*, vol. 31, no. 5, pp. 620–628, 2012.
- [31] K. Berketis, D. Tzetzis, and P. J. Hogg, "The influence of long term water immersion ageing on impact damage behaviour and residual compression strength of glass fibre reinforced polymer (GFRP)," *Mater. Des.*, vol. 29, no. 7, pp. 1300–1310, 2008.

- [32] Y. Fang *et al.*, “Monitoring of seawater immersion degradation in glass fibre reinforced polymer composites using quantum dots,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 112, pp. 93–102, 2017.
- [33] X. Jiang, H. Kolstein, F. Bijlaard, and X. Qiang, “Effects of hygrothermal aging on glass-fibre reinforced polymer laminates and adhesive of FRP composite bridge: Moisture diffusion characteristics,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 57, pp. 49–58, 2014.
- [34] A. Hawa *et al.*, “Burst strength and impact behaviour of hydrothermally aged glass fibre/epoxy composite pipes,” *Mater. Des.*, vol. 89, pp. 455–464, 2016.
- [35] I. F. Soykok, O. Sayman, and A. Pasinli, “Effects of hot water aging on failure behavior of mechanically fastened glass fiber/epoxy composite joints,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 54, no. 1, pp. 59–70, 2013.
- [36] S. Sethi and B. C. Ray, “Environmental effects on fibre reinforced polymeric composites: Evolving reasons and remarks on interfacial strength and stability,” *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 217, pp. 43–67, 2015.
- [37] E.J. Barbero, *Introduction to composite materials design*, Florida: CRC press, 2010.
- [38] Y. Eren., “Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi”, MS Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2007.
- [39] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitapevi, pp. 1, 8, 40, 87., 2009.
- [40] H. Y. Ersoy, *Kompozit Malzeme*, Literatür Yayınları, İstanbul, No:66, pp. 28-74, 2001.
- [41] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, p.424, 2006.
- [42] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, Seçkin Yayıncılık, no. 97, pp. 133-165, 2015.
- [43] S.K. Mazumdar, Ph.D. “*Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering*” Taylor & Francis Group, LLC, 2002.
- [44] Dokuz Eylül Üniversitesi . Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri. [Online]. Available:
<http://debis.deu.edu.tr/userweb//mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>

- [45] Dokuz Eylül Üniversitesi. Kompozit Malzemelere Giriş. [Online]. Available: http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf
- [46] T. Turgut, A. Kayran, N. Alemdaroğlu, and M. Ceylan, "Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemedeki Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması," *Mühendis ve Makina*, vol. 48, no. 566, pp. 14–21, 2007.
- [47] İ. Durgun, O. Vatansever, R. Ertan, and N. Yavuz, "Otomotiv sektöründe kullanılan kompozit parça imalat yöntemlerinin deneysel olarak karşılaştırılması," *Mühendis ve Makine*, vol. 55, no. 649, pp. 58–63, 2014.
- [48] I. Durgun, "Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit parça üretimi," *OTEKON'14 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 2014.
- [49] Ç. Genç and A. A. Arıcı, "Yat imalatında kullanılan CTP malzeme ve imalat yöntemleri," *Gemi ve Deniz Teknol.*, pp. 16–35, 2008.
- [50] E. Mangino, "The research requirements of the transport sectors to facilitate an increased usage of composite materials." *Centro Ricerche Fiat*, 2004.
- [51] Ç. Yurttaş, E. Afşar, "CTP Teknolojisi" *4. Basım, Cam Elyaf*, pp. 8-44, 2000.
- [52] Ç. Genç, "Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Üretim Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması" MS Thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006.
- [53] O. İnal, "Kıvrımsız Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Plakalarda Cıvata Bağlantılarının Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi," MS Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, 2017.
- [54] ASTM "D 5961/D 5961 M-05 Standard Test Method for Bearing Response of Polymer Matrix Composite Laminates," 2001.
- [55] ASTM "D 5229/D 5229M – 92 Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite," 1998.
- [56] F. Edgren, D. Mattsson, L.E. Asp, and J. Varna, "Formation of damage and its effects on non-crimp fabric reinforced composites loaded in tension". *Composites Science and Technology*. Vol. 64, no.5, pp. 675-692, 2004.
- [57] H.-J. Park, "Effects of stacking sequence and clamping force on the bearing strengths of mechanically fastened joints in composite laminates". *Composite Structures*. vol. 53, no.2, pp. 213-221, 2001.

- [58] U. Khashaba, T. Sebaey, F. Mahmoud, A. Selmy, and R. Hamouda, "Experimental and numerical analysis of pinned-joints composite laminates: Effects of stacking sequences". *Journal of Composite Materials*. Vol. 47, no.27, pp. 3353-3366, 2013.
- [59] A. Öndürücü, Ü. Esendemir, and R.F.Tunay, "Progressive failure analysis of glass–epoxy laminated composite pinned-joints". *Materials & Design*. Vol. 36, pp. 617-625, 2012.
- [60] M. Pakdil, F. Sen, O. Sayman, and S. Benli, "The effect of preload on failure response of glass-epoxy laminated composite bolted-joints with clearance". *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2007.
- [61] A. Atas, G. F. Mohamed, and C. Soutis, "Modelling delamination onset and growth in pin loaded composite laminates," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 72, no. 10, pp. 1096–1101, 2012.
- [62] O. İnal and A. Atas, "Experimental investigation of pinned joints in NCF glass-fiber reinforced composite plates" *Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol.33, no.4, pp.1445-1457, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Fatma Ebru Altınsoy

Doğum tarihi ve yeri: **17.01.1994**

e-posta: ebrualtnsy@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2016-2020
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/	2012-2016
Lise	Edirne Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi	200-2012