



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



CAM ELYAF PROFİL KOMPOZİTLERDE
KESİT GEOMETRİSİNİN EĞİLME
DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

Mustafa Fatih MUSLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Fatih Muslu tarafından hazırlanan ‘‘Cam elyaf profil kompozitler de kesit geometrisinin eğilme davranışlarına etkisinin incelenmesi’’ adlı tez çalışması 16/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYRICI

Üye

Doç.Dr. Murat MAYDA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

Bu tez alışması Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 201331001 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa Fatih Muslu

Tarih:16/02/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAM ELYAF PROFİL KOMPOZİTLERDE KESİT GEOMETRİSİNİN EĞİLME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Fatih Muslu

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYIRICI

2022, 94 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYIRICI
Prof .Dr. Hüseyin ARIKAN
Doç.Dr. Murat MAYDA**

Cam elyaf profil kompozitlerde kesit geometrisinin eğilme davranışlarına etkisinin incelenmesi adlı bu yüksek lisans tezi; pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş cam elyaf takviyeli ve eşit kesit alanına sahip farklı geometrilerdeki profillerin eğilme ve basmaya karşı dayanımları incelemektedir.

Bu çalışmanın konusu çeşitli amaçlarla kullanılan cam elyaf takviyeli kompozit profillerin eğilmeye ve basmaya karşı dayanımlarına kesit geometrisinin etkisinin araştırılmasıdır. Bu kıyaslamanın doğru sonuç vermesi için kesit alanı eşit olan profiller iki gruba ayrılarak eğilme ve basma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin Kuvvet-Deplasman grafikleri hazırlanarak değerlendirmeler yapılmıştır. 330 mm² kesit alanına sahip birinci grup kesitlerde eğilme kuvveti/deplasman oranı açısından en uygun profilin dairesel kesitli profil olduğu, 700 mm² lik kesitte ise eğilme kuvveti/deplasman oranı açısından en uygun kesitin köşebent profil olduğu görülmüştür. 300 mm² kesit alanına sahip birinci grup kesitlerde Basma kuvveti/deplasman açısından en uygun profilin tırtıklı dairesel kesitli profil olduğu, 700 mm² kesitte ise basma kuvveti/deplasman oranı açısından en uygun profilin U profil olduğu görülmüştür. Bu çalışmada CTP profiller maliyet ve hafiflik açısından değerlendirildiğinde; metal muadillerine göre %30 kadar fiyat avantajına sahiptir ve 5 kat daha hafif olması CTP profillerin en güçlü yönleridir.

Anahtar Kelimeler: Basma deneyi, Eğilme deneyi, CTP profil, Pultrüzyon,

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATING THE EFFECT OF CROSS-SECTION GEOMETRY ON BENDING BEHAVIORS IN GLASS FIBER PROFILE COMPOSITES

Mustafa Fatih Muslu

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Asst. Prof. Dr. Mehmet KAYRICI

2022, 94 Pages

Jury

Asst Prof. Dr. Mehmet KAYRICI

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Assoc. Prof. Dr. Murat MAYDA

In her master thesis, Investigating the Effect of Cross-Section Geometry on Bending Behaviors in Glass Fiber Profile Composites: It examines the bending and compression strengths of different geometries with glass fiber reinforced and equal cross-sectional area produced by pultrusion method.

The subject of this study is to investigate the effect of section geometry on the bending and compression strengths of glass fiber reinforced composite profiles used for various purposes. In order for this comparison to give accurate results, profiles with equal cross-sectional area were divided into two groups and bending and compression tests were carried out. The force-displacement graphs of the obtained data were prepared and evaluations were made. It was seen that the most suitable profile in terms of bending force/displacement ratio in the first group sections with a cross-sectional area of 330 mm² was the circular section profile, while the most suitable section in terms of bending force/displacement ratio in the 700 mm² section was the angle profile. It has been seen that the most suitable profile in terms of compression force/displacement in the first group of sections with a cross-sectional area of 300 mm² is the serrated circular section profile, while the most suitable profile in terms of compression force/displacement ratio in the 700 mm² section is the U profile. When evaluated in terms of cost and lightness in this study, the price advantage of up to 30% compared to metal equivalents and being 5 times lighter are the strongest aspects of GRP profiles.

Keywords: Compression test, Bending test, CTP profile, Pultrusion,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgilerini benimle paylaşan ve her aşamada desteğini aldığım saygıdeğer danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYIRICI'ya, yüksek lisans'a başlama aşamamda ve tüm süreçlerde desteğini ve bilgi birikimini aldığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN'a, değerli yorumlarından dolayı saygıdeğer hocam Doç. Dr. Murat MAYDA'a, çalışmam boyunca her alanda benden bir an olsun desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli meslektaşım Görsev Fulya ÜNLÜTÜRK'e, çalışmamda bana gösterdiği yardımlarından dolayı meslektaşım Ahmet Faruk DOĞAN'a, hayatımın her anında benden desteklerini esirgemeyen ailem'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerinin temininde ve teknik olarak ne zaman ihtiyacım olsa yardımlarını esirgemeyen Ceylan Kompozit San. ve Tic. A.Ş.'ye ve Mitaş Kompozit Plastik San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deney aşamasında test cihazlarını kullandığım iş yerim İnnometal Makine San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Fatih Muslu

KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Gelişimi	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Matris Elemanına Göre Kompozit Malzemeler	3
2.1.1. Polimer matrisli kompozitler	3
2.1.2. Metal matrisli kompozitler.....	7
2.1.3. Seramik matrisli kompozitler.....	9
2.2. Takviye Edilme Şekillerine Göre Kompozit Malzemeler	10
2.2.1. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler	10
2.2.2. Lamine kompozit malzemeler	11
2.2.3. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler	11
3. CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER (CTP).....	22
3.1. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin (CTP) Üretimi	24
3.1.1. CTP üretiminde kullanılan katkı maddeleri.....	24
3.2. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin (CTP) Üretim Yöntemleri	27
3.2.1. Elle yatırma yöntemi.....	27
3.2.2. Püskürtme yöntemi	28
3.2.3. Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi	29
3.2.4. Hazır kalıplama yöntemi.....	30
3.2.5. Islak Sistem Pres Kalıplama Yöntemi	34
3.2.6. Vakum torbalama yöntemi.....	35
3.2.7. Otoklav yöntemi	35
3.2.8. Preslenebilir takviyeli termoplastik (GMT) yöntemi.....	36
3.2.9. Elyaf sarma yöntemi	36
3.2.10. Profil çekme / pultrüzyon (pultrusion) yöntemi	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
4.1. Deneyde Kullanılan CTP Profillerin Üretimi	39
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	39
4.4. Deney Standartları	41

4.5. Eğilme ve Basma Deneyi.....	41
4.5.1. Eğilme ve basma deneyinde kullanılan cihaz ve ekipmanlar	41
4.5.2. Eğilme deneyinin yapılışı	42
4.5.3. Basma deneyinin yapılışı	43
5. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma	44
5.1. Eğilme Deneyi Sonuçları	44
5.1.1. Kesit alanı 330 mm ² Olan CTP profillerin eğilme deneyi sonuçları	44
5.1.2. Kesit alanı 700 mm ² olan CTP profillerin eğilme deneyi sonuçları	50
5.2. Basma Deneyi Sonuçları.....	56
5.2.1. Kesit alanı 330 mm ² olan CTP profillerin basma deneyi sonuçları.....	56
5.2.2. Kesit alanı 700 mm ² olan CTP profillerin basma deneyi sonuçları.....	61
5.3. Eğilme Deneyi Hasar Bölgesi Mikroskop Görüntüleri.....	66
5.3.1. Kesit alanı 330 mm ² olan CTP profillerin hasar görüntüleri	66
5.3.2. Kesit alanı 700 mm ² olan CTP profillerin hasar görüntüleri	68
5.4. Basma Deneyi Hasar Bölgesi Mikroskop Görüntüleri	70
5.4.1. Kesit alanı 330 mm ² olan CTP profillerin hasar görüntüleri	70
5.4.2. Kesit alanı 700 mm ² olan CTP profillerin hasar görüntüleri	72
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
7. KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

CTP – Cam elyaf takviyeli plastik

RTM – Reçine transfer kalıplama

MMC – Metal Matrisli Kompozit

CMC – Seramik Matrisli Kompozit

UHM – Ultra yüksek modüllü karbon fiber

HM – Yüksek modüllü karbon fiber

IM – Orta modüllü karbon fiber

HT – Düşük modüllü ve yüksek çekmeli karbon fiber

SHT – Süper yüksek çekme modüllü karbon fiber

GFRP – Cam elyaf takviyeli plastik

SMC – Hazır kalıplama pestili

BMC - Hazır kalıplama hamuru

CF - Karbon fiber

CMT – Preslenebilir takviyeli termoplastik

GF – Düz cam

AF - Aramid

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş polimer matrisli kompozit profil örnekleri..	4
Şekil 2.2.	Termoset zincir.....	5
Şekil 2.3.	Termoplastik zincir.....	7
Şekil 2.4.	Metal matrisli kompozit malzeme örneği.....	8
Şekil 2.5.	Seramik matrisli kompozit boru.....	9
Şekil 2.6.	Sürekli iplik ve kırılmış cam elyaf.....	15
Şekil 2.7.	Dokuma fitil kumaş ve kırılmış karbon elyaf.....	17
Şekil 2.8.	Dokuma kumaş ve kırılmış aramid elyaf.....	18
Şekil 2.9.	Sürekli iplik ve dokuma kumaş boron elyaf.....	19
Şekil 2.10.	Alümina elyaf.....	20
Şekil 2.11.	Silisyum karbür elyaf.....	21
Şekil 3.1.	Elle yatırma yöntemi şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.2.	Püskürtme yöntemi şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.3.	Reçine transfer kalıplama yöntemi şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.4.	BMC hamur üretimi.....	33
Şekil 3.5.	SMC hamur üretimi.....	34
Şekil 3.6.	Vakum torbalama yöntemi şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.7.	Otoklav yöntemi şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.8.	Elyaf sarma yöntemi şematik gösterimi.....	37
Şekil 3.9.	Pultrüzyon yöntemi şematik gösterimi.....	38
Şekil 4.1.	330 mm ² kesit alanlı profil numuneleri.....	40
Şekil 4.2.	700 mm ² kesit alanlı profil numuneleri.....	40
Şekil 4.3.	Üç nokta eğilme deneti destek aralıkları gösterimi.....	41
Şekil 4.4.	Eğilme deneyi yapılan u profil numunesi.....	42
Şekil 4.5.	Basma deneyi yapılan u profil ve köşebent profil numunesi.....	43
Şekil 5.1.	330 mm ² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	44
Şekil 5.2.	330 mm ² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil numunesi eğilme deneyi.....	44
Şekil 5.3.	330 mm ² kesit alanlı I profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	45
Şekil 5.4.	330 mm ² kesit alanlı I profil numunesi eğilme deneyi.....	45
Şekil 5.5.	330 mm ² kesit alanlı köşebent profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	46
Şekil 5.6.	330 mm ² kesit alanlı köşebent profil numunesi eğilme deneyi.....	46
Şekil 5.7.	330 mm ² kesit alanlı trapez profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	47
Şekil 5.8.	330 mm ² kesit alanlı trapez profil numunesi eğilme deneyi.....	47
Şekil 5.9.	330 mm ² kesit alanlı profillerin eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi.....	48
Şekil 5.10.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	50
Şekil 5.11.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil numunesi eğilme deneyi.....	50
Şekil 5.12.	700 mm ² kesit alanlı köşebent profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	51
Şekil 5.13.	700 mm ² kesit alanlı köşebent profil numunesi eğilme deneyi.....	51
Şekil 5.14.	700 mm ² kesit alanlı kutu profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	52

Şekil 5.15.	700 mm ² kesit alanlı kutu profil numunesi eğilme deneyi.....	52
Şekil 5.16.	700 mm ² kesit alanlı U profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği....	53
Şekil 5.17.	700 mm ² kesit alanlı U profil numunesi eğilme deneyi	53
Şekil 5.18.	700 mm ² kesit alanlı profillerin eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi	54
Şekil 5.19.	330 mm ² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	56
Şekil 5.20.	330 mm ² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil numunesi basma deneyi.....	56
Şekil 5.21.	330 mm ² kesit alanlı I profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	57
Şekil 5.22.	330 mm ² kesit alanlı I profil numunesi basma deneyi.....	57
Şekil 5.23.	330 mm ² kesit alanlı köşebent profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.	58
Şekil 5.24.	330 mm ² kesit alanlı köşebent profil numunesi basma deneyi.....	58
Şekil 5.25.	330 mm ² kesit alanlı trapez profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	59
Şekil 5.26.	330 mm ² kesit alanlı trapez profil numunesi basma deneyi.....	59
Şekil 5.27.	330 mm ² kesit alanlı profillerin basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi.....	60
Şekil 5.28.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	61
Şekil 5.29.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil numunesi basma deneyi.....	61
Şekil 5.30.	700 mm ² kesit alanlı köşebent profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	62
Şekil 5.31.	700 mm ² kesit alanlı köşebent profil numunesi basma deneyi.....	62
Şekil 5.32.	700 mm ² kesit alanlı kutu profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği.....	63
Şekil 5.33.	700 mm ² kesit alanlı kutu profil numunesi basma deneyi.....	63
Şekil 5.34.	700 mm ² kesit alanlı U profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği....	64
Şekil 5.35.	700 mm ² kesit alanlı U profil numunesi basma deneyi.....	64
Şekil 5.36.	700 mm ² kesit alanlı profillerin basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi.....	65
Şekil 5.37.	330 mm ² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri.....	66
Şekil 5.38.	330 mm ² kesit alanlı I profil hasar görüntüleri.....	66
Şekil 5.39.	330 mm ² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri.....	67
Şekil 5.40.	330 mm ² kesit alanlı trapez profil hasar görüntüleri.....	67
Şekil 5.41.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri.....	68
Şekil 5.42.	700 mm ² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri.....	68
Şekil 5.43.	700 mm ² kesit alanlı kutu profil hasar görüntüleri.....	69
Şekil 5.44.	700 mm ² kesit alanlı U profil hasar görüntüleri.....	69
Şekil 5.45.	330 mm ² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri.....	70
Şekil 5.46.	330 mm ² kesit alanlı I profil hasar görüntüleri.....	70
Şekil 5.47.	330 mm ² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri.....	71
Şekil 5.48.	330 mm ² kesit alanlı trapez profil hasar görüntüleri.....	71
Şekil 5.49.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri.....	72
Şekil 5.50.	700 mm ² kesit alanlı dairesel kesitli profil yatay hasar görüntüleri.....	72

Şekil 5.51.	700 mm ² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri.....	73
Şekil 5.52.	700 mm ² kesit alanlı kutu profil hasar görüntüleri.....	73
Şekil 5.53.	700 mm ² kesit alanlı U profil hasar görüntüleri.....	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. 330 mm ² kesit alanlı profillerin atalet momenti çizelgesi.....	48
Çizelge 5.2. 330 mm ² kesit alanlı profillerin Eğilme kuvveti/deplasman oranı çizelgesi.....	49
Çizelge 5.3. 330 mm ² kesit alanlı CTP ve Demir profillerin fiyat, ağırlık çizelgesi.....	49
Çizelge 5.4. 700 mm ² kesit alanlı profillerin atalet momenti çizelgesi.....	54
Çizelge 5.5. 700 mm ² kesit alanlı profillerin eğilme kuvveti/deplasman oranı çizelgesi.....	55
Çizelge 5.6. 700 mm ² kesit alanlı CTP ve Demir profillerin fiyat, ağırlık çizelgesi.....	55
Çizelge 5.7. 330 mm ² kesit alanlı profillerin basma kuvveti/deplasman oranı çizelgesi.....	60
Çizelge 5.8. 700 mm ² kesit alanlı profillerin basma kuvveti/deplasman oranı çizelgesi.....	65



1. GİRİŞ

1.1. Kompozit Malzemelerin Gelişimi

Günümüzde doğal kaynakların azalması, bu kaynakların tasarruflu şekilde kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle petrol, doğal gaz, elektrik gibi enerji tüketen cihazlarda bu tüketimin azaltılması yönünde çalışmalar sürmektedir. Buna ek olarak zamandan tasarruf etmek için daha hızlı çalışan cihazların üretilmesi ve daha uzun ömürlü cihazların ve bunların yanında daha ucuz üretim gibi etkenlerde bu çalışmalara ivme kazandırmıştır. Bu doğrultuda ön plana kompozit malzemeler çıkmaktadır.

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin, tek başlarına hareket ettiklerinde fiber veya matris tarafından ayrı ayrı elde edilemeyen kombinasyon özelliklerini üretirler. Kompozit malzemeler hem daha mukavemetli, hem de çok hafif malzemelerdir. Metallere göre düşük yoğunluğa sahip olmaları, yüksek yüzey kaliteleri ve korozyona karşı dayanımları gibi özelliklere sahiptir.

Fiber takviyeli kompozitler, çeşitli alanlarda yıllardır başarıyla kullanılmaktadır. Cam elyaf takviyeli plastik (CTP) kompozitler en yaygın olarak kompozit malzemelerin imalatında kullanılmıştır. Son yıllarda, cam elyaf takviyeli plastik (CTP) kompozit malzemeler, yapısal uygulamalarda metallere göre daha hızlı gelişmiştir. Düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve rijitliklerinden dolayı metalik malzemelerin yerine alternatif olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Kompozit malzemelerin endüstride güvenli bir şekilde uygulanabilmesi için yorulma verilerinin istatistiksel olarak iyi anlaşılması gerekmektedir. Kullanılan istatistiksel özellikler, genellikle ortalama güçteki olağan dağılıma bağlıdır. Ancak özellikle Weibull dağılımı, ömür ve dayanım parametrelerindeki değişkenler açısından yorulma verisi değerlendirmelerinde diğer dağılımlara göre daha güvenilir değerlere sahiptir.

Kompozit malzemeler oldukça geniş bir kullanım havuzuna sahiptir, çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Kompozitler hayatımızın birçok yerinde bizlere yenilikçi çözümler sunmaktadır. Kullandığımız otomobiller de ve toplu taşıma araçlarında,

binalarda, altyapı ve şehir mobilyalarında, deniz ve hava araçlarında, savunma sektöründe, tarımsal mekanizasyonda çok yönlü malzeme olarak kullanılmaktadır.

Polimerik kompozitler yüksek dayanım, boyutsal ve termal kararlılık, yüksek sertlik, aşınma direnci, hafif özgül ağırlık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar ve dolayısıyla bu özellikler polimerik kompozitlerin toplam maliyetinin düşürülmesine etki ederler.

Kompozit malzemelerin makro yapıları incelendiğinde bileşenleri seçilip, ayırt edilebilir. Kompozit malzemeler genellikle heterojen özellikler gösterebilirler bile az da olsa homojen yapıdadırlar. Kompozitlerde takviye malzemesi olarak farklı özelliklerde malzemeler kullanılmaktadır. Kompozitlerde takviye malzemelerinin kullanımındaki ana amaç; malzemeye etkiyen yükün karşılanması ve matrisin mukavemetinin artırılmasının sağlanmasıdır. Kompozit malzemeler de matris kullanımının önemi, gevrek ve kırılabilir olan takviye elemanlarına etkiyebilecek dış etkilere karşı korumak, kompozit malzemeye etkiyen yükü takviye elemanlarına iletmek ve kompozit yapıyı dayanıklı tutmak olarak sıralanabilir. Özetle bir malzemenin kompozit olarak nitelenebilmesi için; doğada hazır olarak elde edilemeyen, belirli bir çalışma ile bir araya getirilen, bileşenlerinin birbirleri içinde çözünmediği ve tek başlarına elde edemedikleri özelliklere sahip olan bir malzeme olması gerekmektedir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Matris Elemanına Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler matris elemanına göre üç ana başlıkta gruplandırılır. Bunlar;

- Polimer matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler

2.1.1. Polimer matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, organik bir polimer matrisine gömülü fiberlerden oluşan malzemelerdir. Polimer matrisli kompozit malzemeler, son yıllarda çeşitli potansiyel uygulamalarda giderek daha fazla ilgi çekmiştir. Yapılan çalışmaların çoğunda, inorganik nano malzemeler, fiziksel karıştırma yoluyla polimerik matrislere dahil edilmiştir. (Peng Liu)

Kompozit olarak sıklıkla kullanılan polimerler matrisli kompozitler; termoplastik polimerler, termoset polimerler ve elastomerlerdir. Polimer matrisli kompozitlerin başlıca avantajları şöyledir;

- Düşük özgül ağırlık
- Korozyona karşı yüksek dayanım
- Malzeme kararlılığı
- İyi elektrik ve ısı yalıtımı
- Şekillendirme kolaylığı ve ekonomik seri üretim
- Üstün optik özellikler

Ancak, mukavemet ve sertlik gibi bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Bu eksiklikleri gidermek ve mekanik özelliklerini geliştirmek için çeşitli takviyeler polimer malzemelere entegre edilir.

Polimer matrisli kompozit parçalar çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Bu yöntemler istenilen kaliteye, miktara ve maliyete göre seçilebilir. (Bartın Üniversitesi-2008)

Sıklıkla kullanılan açık kalıplama yöntemleri şu şekildedir:

- Elle yatırma yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Torbalama
- Kalıplama yöntemi
- Elyaf sarma yöntemi
- Otoklav yöntemi
- Kapalı kalıplama yöntemleri:
- Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi
- Profil çekme (pultrüzyon) yöntemi (Şekil 2.1.)
- Ekstrüzyonla kalıplama yöntemi
- Hazır kalıplama yöntemleri
- Enjeksiyonla kalıplama yöntemi
- Savurma kalıplama yöntem

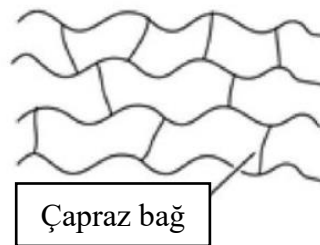


Şekil 2.1. Pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş polimer matrisli kompozit profil örnekleri. (dapurkuidaman.blogspot.com)

2.1.1.1. Termosetler

Termoset, geri döndürülemez şekilde kürleşen bir polimer sınıfıdır. Üretim sürecindeki yüksek yoğunluklu çapraz bağlar (Şekil 2.2), şekillendirmeyi önleyerek polimerleri geri döndürülemez hale getirir. Termoset kompozitler, mekanik dayanım, kimyasal direnç, termal özellikler ve boyutsal kararlılık, maliyet, hafiflik ve hızlı imalat tekniklerine uyumludur. Bu özelliklerinden dolayı mühendislik, denizcilik, tıp, enerji, robotik ve havacılık gibi birçok endüstriyel uygulamada alaşımların ve metallerin yerini hızla almaktadır. Termoset malzemelerin üretiminde, polimer ve sertleştirici eşliğinde hızlandırıcı kullanılarak geri dönüşü olmayan bir kimyasal reaksiyon oluştururlar. Reçine sertleştikten sonra parça, son işlem dışında değiştirilemez veya geri dönüştürülemez. Kompozit sanayii de birçok farklı reçine kullanılmasına rağmen, yapısal parçaların büyük çoğunluğu polyester, vinilester ve epoksi olmak üzere üç ana tür de yapılır. Polyester reçineler, denizcilik sektöründe daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Vinilester reçineler moleküler yapıları bakımından polyesterlere benzerlerdir. Bir polyestere kıyasla vinilesterdeki ester gruplarının sayısının azalmasıyla reçine hidrolizden daha az zarar görür. Bu nedenle malzeme bazen, örneğin bir tekne gövdesinde olduğu gibi suya batırılacak olan bir polyester laminat için bir bariyer veya 'deri' kaplama gibi kullanılır. Vinilesterin kürlenmiş moleküler yapısı ayrıca polyesterden daha sert olma eğiliminde olduğu anlamına gelir, ancak bu özellikleri gerçekten elde etmek için reçinenin genellikle yüksek sıcaklıkta kürlenmeye ihtiyacı vardır. (Başer, G - 2012)



**Termosetler: Rijit
üç boyutlu zincir
ağı**

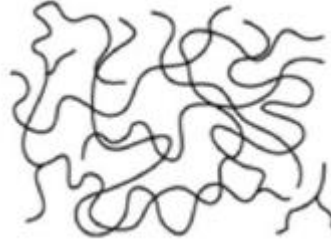
Şekil 2.2. Termoset zincir (Ceylan G, 2016)

2.1.1.2. Termoplastikler

Bir termoplastik, ısı ile yumuşatılıp eritilebilen, ortam sıcaklığında viskoelastik halde olan ve soğutulmuş sertleştirilen lineer zincir moleküllerine sahip (Şekil 2.3.) bir polimer türüdür. Isı ile yumuşatılmış halde veya sıvı halde üretilebilir. Son yıllarda, termoplastik kompozitler endüstriyel uygulamalarda daha rekabetçi hale gelmiştir. Üstün mukavemet, korozyon direnci, geri dönüştürülebilirlik özelliği, iyi ekolojik direnç en önemli tercih sebepleridir.

Termosetlerin aksine, termoplastikler genellikle yeniden ısıtılabilir ve istenirse başka bir şekle dönüştürülebilir. Termoplastik polimerler, yüksek sıcaklık termoplastikleri ve mühendislik termoplastikleri olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Sınıflandırma, sırasıyla Camısı Geçiş (Tg) sıcaklığına, dayanıma, kullanma sıcaklıklarına bağlıdır. Termoset polimerler, Tg sıcaklığının üzerindeki mekanik yükleri faydalı bir şekilde taşıyabilir, ancak yarı kristalli termoplastik polimerler, polimerin yalnızca amorf fazı kauçuksu hale geldiğinden, Tg'nin üzerinde yük taşıyabilir. Polimerin kristal kısmı, erime sıcaklığına kadar katı kalır. (Başer, G - 2012)

Termoplastik ve termoset matrislerin avantajları ve dezavantajları; Termoplastikler ve termosetler arasındaki doğal farklılıklar, her reçine tipi diğerine göre bazı belirgin avantajlar sağlar. Termoplastikler, reaktif kütleme döngüleri gerektirmez, ancak esasen, sadece ısı ve basınç ve ardından onları oluşturmak için soğutma gerektiren reaktif olmayan katılar olarak sağlanır. Bu işlem süresinde ve ekipman maliyetlerinde bariz tasarruf sağlar, ancak bazı işlemler için reçinenin düşük viskoziteye sahip olduğu nispeten kısa bir süre boyunca takviyeyi kaplamak için reçinenin hızla yayılmasını gerektirir. Öte yandan, kürlenmiş termosetler çok daha yüksek moleküler ağırlıklara sahiptir (çünkü tüm polimer zincirleri tek bir büyük ağa bağlı olduğundan) ve bu daha iyi mukavemet ve modül ile sonuçlanır, ancak uzama ve tokluk azalır. Ayrıca, termoplastiklerden yapılmış reçine (prepregler) ile emprenye edilmiş lifli levhalar, termoset prepreglerin sınırlı ömrüne kıyasla sonsuz bir raf ömrüne sahiptir. Termoplastik prepregler serttir. Bu nedenle, termoplastik ve termoset reçine arasında seçim yaparken tüm bu özellikler dikkate alınmak zorundadır. (Başer, G - 2012)



Şekil 2.3. Termoplastik zincir (Ceylan G, 2016)

2.1.2. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMC'ler), farklı bileşenlerin sistematik kombinasyonları ile özel özelliklerin elde edildiği mühendislik kombinasyonlarıdır. Monolitik malzemelerin elde edilebilir güç, sertlik ve yoğunluk kombinasyonları açısından sınırlamaları vardır. Bir matris metaldeki sürekli veya süreksiz liflerden, kıllardan veya parçalardan oluşan MMC'ler, çok yüksek kombinasyonlar içerirler (Şekil 2.4.).

Ayrıca, sistematik tasarım ve sentez prosedürleri, kompozitlerde yüksek sıcaklık dayanımı, yorulma dayanımı, darbe sönümlenme özelliği, elektriksel ve termal iletkenlikler, sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve genleşme katsayısı gibi benzersiz mühendislik özellikleri kombinasyonlarına izin verir. Yapısal olarak, MMC'ler, matrisi güçlendiren veya monolitik alaşımlarda elde edilemeyen gerekli özellikleri sağlayan bir alaşım matrisindeki sürekli veya süreksiz lifler, tüyler veya parçacıklardan oluşur. Daha geniş anlamda, örneğin dökme demir ve alüminyum-silikon alaşımları gibi faz hacminin ve şeklinin faz diyagramları tarafından yönetildiği dökme kompozitler, dökümhaneler tarafından uzun süredir üretilmektedir. Modern kompozitler, seçilen herhangi bir hacim, şekil ve boyut açısından özgündür. (Pradeep, K - 1993)

Metal matrisli kompozitler (MMC'ler) ilk olarak, gelişmiş askeri sistemler için yüksek performanslı malzeme geliştirmek amacıyla farklı bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, kazanılan deneyimin ardından daha kolay ticarileşmesini sağlamıştır.

1970'lerin başından itibaren savunma sanayiinde de riske karşı artan hassasiyet, uygulamalar için yeni yüksek performanslı malzemelerin sertifikalandırılmasını

zorlaştırdı. MMC'ler gibi ortaya çıkan yüksek performanslı malzemelerin geliştirilmesi, güçlü zorluklarla karşı karşıya kaldı.

En yüksek performansa sahip MMC malzemeleri 1980'lerin sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Ulusal Havacılık ve Uzay Uçağı (NASP) ve diğer ülkelerdeki benzer programlar gibi yüksek teknoloji programları, için odak noktası haline gelmiştir. Sürekli olarak güçlendirilmiş MMC'ler geliştirildi.

Bu süre boyunca akademik camiada hem pekiştirilen hem de sürekli olarak güçlendirilen MMC'ler kara taşımacılığı (otomobil ve demiryolu), enerji, havacılık, endüstriyel, eğlence ve altyapı endüstrilerindeki uygulamaları, yüksek yapısal verimlilik, mükemmel aşınma direnci, termal ve elektriksel özellikler içeren fonksiyonel özelliklerle güçlendirilmiştir. Takviye/matris uyumluluğu, yük dağıtımını yeterince kontrol edebilen uygun maliyetli birincil ve ikincil işleme teknikleri, mühendislik tasarım metodolojileri ve ara yüz özelliklerinin karakterizasyonu ve kontrolü dahil olmak üzere zorlu teknik sorunların üstesinden gelinmiştir. MMC'ler artık yerleşik ve dinamik bir malzeme teknolojisidir.



Şekil 2.4. Metal matrisli kompozit malzeme örneğı (Yıldırım G, 2011)

2.1.3. Seramik matrisli kompozitler

Seramik malzemeler genellikle yüksek refrakterlik dahil olmak üzere faydalı fiziksel ve mekanik özelliklerin bir kombinasyonunu sergiler, ancak kırılğan davranışları nedeniyle uygulamaları sınırlıdır; Kırılğan seramiklerin mukavemeti ve tokluğunu iyileştirmeye yönelik parçacık güçlendirme ve elyaf takviye teknikleri kullanılmıştır. Bu kompozit sistemlerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörler tartışılmış ve araştırılan çeşitli deneysel sistemler gözden geçirilmiştir. (W, Donald - 1976)

Genel olarak seramik malzemeler çok yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve yüksek sertlik, kimyasal eylemsizlik, düşük yoğunluk vb. özelliklere sahiptir, ancak dayanımları düşüktür. Termal şoka karşı son derece hassastırlar ve imalat ve/veya servis sırasında kolayca zarar görebilirler. Bu nedenle, seramik matris kompozitler (CMC'ler) (Şekil 2.5.) seramiklerin içlerine lif ekleyerek sertleştirmek ve böylece, katastrofik bir arıza riski olmadan seramik malzemelerin çok yüksek sıcaklık dayanımı ve çevresel direncinden yararlanmak mümkündür. CMC'ler ve diğer kompozitler arasında bazı temel farklılıklar olduğunu en baştan belirtmekte fayda var. Seramik olmayan matris kompozitlerdeki genel felsefe, fiberin uygulanan yükün daha büyük bir kısmını taşımasını sağlamaktır. Bu yük bölünmesi, fiber ve matris elastik modülü (E_f/E_m) oranına bağlıdır. Matrisi seramik olmayan kompozitler de bu oran çok yüksek olabilirken, CMC'lerde oldukça düşük olabilir; örnek olarak alümina elyaf takviyeli alümina matris kompozit verilebilir. CMC'lerle ilgili bir diğer ayırt edici nokta, sınırlı matris sünekliği ve genellikle yüksek üretim sıcaklığı nedeniyle, bileşenler arasındaki termal uyumsuzluğun CMC performansı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olmasıdır. CMC'lerdeki bileşenler arasındaki kimyasal uyumluluk sorununun, örneğin MMC'lerdekine benzer sonuçları vardır. (Krishan, K. - 1993)



Şekil 2.5. Seramik matrisli kompozit (tur.sciences-world.com)

2.2. Takviye Edilme Şekillerine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler takviye edilme şekillerine 3 grupta incelenir. Bunlar; parçacık takviyeli kompozit malzemeler, lamine kompozit malzemeler ve elyaf takviyeli kompozit malzemelerdir.

2.2.1. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Makroskopik olarak izotropik, parçacık takviyeli iki fazlı kompozitlerin etkin davranışı, öncelikle malzeme davranışı ve matrisin hacim fraksiyonları ve homojen olmama durumları tarafından belirlenir. Bileşenlerin geometrik düzeninin ayrıntıları ve parçacıkların şekilleri yalnızca ikincil roller oynar. Bununla birlikte, sonraki parametreler, mikro ölçekte stres ve gerinim alanları üzerinde belirgin bir etkiye sahip olabilir. Parçacık şekli etkilerini deneysel yöntemlerle incelemek oldukça zor olsa da, parçacık kompozitlerinin termomekanik davranışının ilgili yönlerine ışık tutmak için bilgisayar tabanlı “sayısal deneyler” kullanılabilir. Şu anda partikül takviyeli, sünek matrisli kompozitlerin termoelastoplastik tepkilerini simüle etmek için en güçlü araç, çok homojen olmayan hacim elemanlarındaki mikroskobik stres ve gerinim alanlarını yüksek bir doğruluk derecesinde çözen üç boyutlu sayısal modellerdir. Bu tür yaklaşımlarda, kompozitlerin mikrogeometrileri, uygun şekilde konumlandırılmış ve uygun olduğunda, matris içine gömülü olan uygun şekilde yönlendirilmiş parçacıklar şeklini alır. Çoğu durumda, bu tür faz düzenlemelerinin istatistiksel olarak homojen olduğu varsayılabilir. İdeal olarak, modellerde kullanılan hacim elemanları temsilidir, yani seçilen geometrik gerçekleştirilmeden ve temsilde kullanılan sınır koşullarından bağımsız bir homojenleştirilmiş davranış vermek için yeterli sayıda heterojenlik içerirler. Uygulamada, hesaplama gereksinimleri, model boyutunu, farklı, nominal olarak eşdeğer faz düzenlemeleri, makroskopik davranış için farklı tahminler verecek ve bunları temsili hacim öğelerinden ziyade istatistiksel hale getirecek şekilde kısıtlama eğilimindedir.

Küresel olmayan partiküllerle güçlendirilmiş kompozitlerin modellenmesine ilişkin literatürün yakın zamanda gözden geçirilmesi, ana vurgunun lineer termoelastik ve iletim davranışı üzerinde olduğu Rasool ve Böhm'de (2012) bulunabilir.

2.2.2. Lamine kompozit malzemeler

Fiber takviyeli lamine kompozitler, metal malzemelere kıyasla üstün özellikleri nedeniyle uçaklar, gemiler ve spor malzemeleri gibi birçok yapısal uygulamada kullanılmıştır. Kompozit yapılar mekanik ve termal yükler altında hasar görebilir. Lamine kompozitlerdeki tipik hasar davranışı, enine mikro çatlama, fiber kırılması ve delaminasyondur. Tipik olarak, katın kalınlığındaki enine mikro çatlama, birinci kat başarısızlığı olarak meydana gelir ve bunu delaminasyon hasarı izler. Fiber kırılması genellikle arızanın son aşamasında meydana gelir. Bununla birlikte, fiber kırılması olmadan sadece mikro çatlak ve delaminasyon hasarı ile feci bir arıza meydana gelebilir. Lamine kompozitlerdeki hasar davranışı genellikle karmaşıktır ve kompoziti oluşturan bileşenlerin özelliklerine, fiber oryantasyonuna, istifleme sırasına, yüklemenin doğasına vb. bağlıdır. Kat sınırlarında aşırı tabakalar arası normal ve kayma gerilmeleri, delaminasyon hasarını meydana getirmektedir. Katmanlar arası gerilimler, lamine kompozitlerin serbest kenarının yakınında nispeten kolay bir şekilde konsantre edilebilir. Tek eksenli yükleme altında lamine kompozitlerin düz serbest kenarı boyunca delaminasyon 1970'lerin başından beri incelenmiştir. O zamandan beri, lamine kompozitler de serbest kenar problemi üzerine çok sayıda çalışma rapor edilmiştir, bu da serbest kenar delaminasyonunun, iç tabakanın altındaki serbest kenarın çevresinde yüksek oranda lokalize olan interlaminer gerilmelerin varlığına atfedildiğini gösterir. Katmanlar arası gerilimlerin büyüklükleri ve işaretleri bakımından doğası, Pagano ve Soni tarafından geliştirilen analitik model kullanılarak doğru bir şekilde hesaplanabilir. Katmanlar arası gerilim bileşenlerinin büyüklüğü ve dağılımı geniş ölçüde değişkendir ve laminat döşemesine, istifleme sırasına, bileşen malzemelerin özelliklerine ve yüklemenin doğasına bağlıdır. (Stephen,W - 2006)

2.2.3. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Fiber takviyeli kompozit malzemeler, temel olarak yüksek özgül mukavemetleri, spesifik sertlikleri ve uyarlanabilir özellikleri nedeniyle geleneksel malzemelere alternatif olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ek olarak, kompozitlerin viskoelastik karakteri, onları havacılık, denizcilik, otomobil vb. gibi yüksek performanslı yapısal uygulamalar için uygun hale getirir. Bununla birlikte, bu malzemeler metallere göre oldukça

farklıdır, çünkü birincisi birkaç kendine özgü bozulma modu (matris çatlaması, delaminasyon, elyaf bozulması) sergiler ve bağlanmadan kaynaklanan ara yüzey bağ hatası) ve mikromekanik, yani bileşen seviyesinde etkileşim. Kompozitlerin hem statik hem de dinamik performansı için yapılan araştırmalar sonucunda mikromekanik, makromekanik ve yapısal modeller/teoriler şeklinde çeşitli analitik yaklaşımlar mevcuttur. (Chandra, R - 1999)

2.2.3.1. Cam elyaf

Cam elyafı (Şekil 2.6.) ilk olarak Rene Ferchault de Reaumur tarafından icat edildi. Büyük ölçekli üretim, on sekizinci yüzyılın sonuna kadar gerçekleştirilmedi. İnce cam elyafları veya elyafları ipek gibi dokumak teknik olarak mümkün olmamıştır. On sekizinci yüzyıldan sonra, 1935 yılına kadar, Owens-Illinois Glass Company de cam elyafı ipliğe dönüşene kadar ihmal edilen bir kompozit malzeme olarak kaldı. Kompozit malzeme ilk olarak 1942 yılında havacılık endüstrisinde kullanılmaya başlandı. O zamandan beri S-2 tipi cam elyafı birçok ticari uygulamada hızla kullanılmaya başlandı. (polser.com)

Cam elyafı ile cam yünü arasındaki fark, cam yününün içerisinde bulunan çözgü boyutunun farklı olması ve uzunluğunun kısıtlı olmasıdır. Cam, soğutma özelliğindeki farklılıklardan dolayı cam yünü üretiminde de kırılğan yapıya sahiptir. Farklı olarak, cam elyaflar, kompozitlerin gerilme mukavemetini ve takviye özelliklerini arttırmak için kullanılır, cam yünü ise ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Tabii ki cam elyaflar da diğer özelliklerinin yanı sıra ısı yalıtımı malzemesi olarak da kullanılabilir. (afzir.com)

GFRP cam elyafının avantajları:

- Cam elyafların fiyatı diğer liflerden daha uygundur.
- Cam elyafın çekme mukavemeti yüksektir.
- Cam elyaf iyi bir yalıtıcıdır.
- Cam elyafın kimyasal direnci yüksektir.
- Uygun termal dirence sahiptir.

GFRP Cam Elyafının Dezavantajları

- Cam elyafın çekme mukavemeti karbon fibere oranla daha düşüktür.
- Cam elyafın özgül ağırlığı yüksektir.
- Cam elyaflar nakliye sırasında yıpranmaya duyarlıdır.
- Cam elyafın yorgunluk direnci nispeten düşüktür.
- GFRP cam elyafı nispeten kırılıgandır.
- Cam elyafın sertliğı yüksektir.

Cam elyafları ilk etapta sınıflandırmak gerekirse genel ve özel olarak sınıflandırmak mümkündür. En iyi bilinen formül olan e-cam elyafı, ticari olarak "cam elyafı" olarak anılır. Diğer cam elyaf türlerine özel tipler denir. S-glass, D-glass, A-glass, ECR-glass, ultra saf silika elyaflar, içi boş elyaflar ve trilobal elyaflar vb. özel amaçlı cam elyafları. Bu türlerin kendi içinde birçok çeşidi vardır.

A-Cam Elyafı: Fiberglas, kullanılan ilk cam türüdür. A-cam elyafı, alkali kireç veya soda kireç camı, kırılmış ve kırılmaya hazır kırık cam elyaftır. Alkali kireç cam elyaftır. Bor katkılı veya katkısız olabilirler. Alkali oksit bileşikleri, bileşimlerinde yüzde 0,8'den az olmayan bir oranda mevcuttur. E-tipi cam elyaflar'dan beklenen dayanıklılık, yapısal kararlılık ve elektriksel dayanım, içerik katılarak soda kireç silikat camın üretildiğı durumlarda gerekli değildir.

C- Cam Elyaf: Korozif ortamlarda yapısal dengeyi sağlayan, kalsiyum borosilikat içeren bir cam elyaf türüdür. Temas edilen kimyasalların pH değeri ister alkali ister asit olsun cam elyaflara karşı yüksek direnç sağlar.

D- Cam Elyaf: Cam elyafın önemli bir türü D tipi cam elyaftır. Bor, trioksit bileşimini yoğun olarak içerir. Bor trioksit, cam ve emaye sıvılarının üretiminde bor karbür gibi diğer bor bileşiklerinin sentezi için ve ısıya dayanıklı ve termal şoka dayanıklı borosilikat camların üretiminde başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca bor trioksitin en önemli kullanım alanlarından biri de optik kabloların yapımında kullanılmak üzere fiber oluşumunda cam elyaf katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Boron trioksit,

bu tip cam elyafına düşük bir dielektrik sabiti sağlar. Bu, cam elyafı, elektromanyetizma uygulamalarında ısı direnci ve elektrik iletimi gibi optik kabloların uygulanması için ideal bir elyaf yapar.

E- Cam Elyaf: Genellikle Cam Elyaf olarak adlandırılırdı. %1'den az veya % 0,8'den az alüminyum oksit gibi alkali oksit bileşenleri içeren alüminyum bor silikat cam elyaflardır. Bu yüzden çok az alkali içerir. Dünyada en yaygın kullanılan cam elyaf formülüdür. Elektronik uygulamalar için geliştirilmiş olsalar da günümüzde birçok alanda kullanılmaktadırlar. Termoset reçinelerle birleşerek cam takviyeli plastik üretimine yol açmıştır. Cam takviyeli plastik paneller ve levhalar, modern yaşamın hemen hemen tüm endüstriyel alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik darbelere ve mekanik etkilere karşı yapısal bütünlüğünü korumadaki başarıları sayesinde her geçen gün daha fazla sektörde kullanılmaktadır. Isıda erimezler ama yumuşaktırlar.

ECR Cam Elyaf: Elektronik cam elyaf olarak da adlandırılır. İyi bir su yalıtım oranına, yüksek mekanik mukavemete, elektriksel, asidik ve alkali korozyon direncine sahiptir. E-Tipi cam elyafından daha iyi özellikler gösterir. En büyük avantajı daha çevre dostu bir cam elyafıdır. (polser.com)

Cam elyaf üretim yöntemi:

1. **Ham maddelerin hazırlanması:** Cam elyafı hazırlamak için kullanılan hammaddenin çoğunluğu, bütün cam elyaflar'ın ana kısmını oluşturan silika kumudur. Diğer bileşenler küçük miktarlarda başka kimyasal bileşikler içerir
2. **Karıştırma bölümü:** Burada malzeme fırın kısmı için karıştırılır. Sözde kitle karışımı Batch olarak adlandırılır.
3. **Fırın:** Fırın sıcaklığı, tüm malzemeleri eritecek ve erimiş cam halinin sıcaklığına çıkarabilecek kadar yüksektir. Fırının içi, istenildiği zaman değiştirilebilen özel tuğlalarla yapılır.
4. **Burç bölümü:** Ergimiş cam ısıya karşı dirençli platin tepsi üzerinde geçer. Burç olarak adlandırılan bu tepsilerde binlerce delik vardır.

5. Lif oluşumu: Ergimiş camın akışı, dışarı çekilir ve belirli bir çapa gelecek şekilde inceltir, daha sonra fiberleri elde etmek için su veya hava ile soğutulur. (afzir.com)



Şekil 2.6. Sürekli iplik ve kırılmış cam elyaf (misirliiplikcilik.com)

2.2.3.2. Karbon elyaf

Karbon elyaf, üstün teknoloji ürünü olan bir maddedir. İçeriğinde katran, orlon ve naylon bulunan karbon elyaf, çelik malzemelerden 5 kat daha hafif olup 3 kat daha mukavemetlidir. Karbon elyaf hava araçlarında, uzay sistemlerinde, uydularda, yarış araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya'nın lider havacılık firmaları da uçakların imalatında karbon elyaf teknolojisini çok fazla kullanmaktadır. Karbon elyaf dünya çapında 40 bin ton gibi talebe karşın az miktarda üretilen, büyük öneme sahip karbon elyaf sınırlı sayıda ülke tarafından üretilmektedir. Şu an da ülkemizde de yaygın olmasa da üretimi başlayan karbon elyaf, savunma sanayiinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Karbon elyaf enerji endüstrisi ve inşaat sektöründe de sıklıkla kullanılmaktadır. Karbon elyafı çelikten daha mukavemetli kılan özelliği ipliksi bir yapıya sahip olmasıdır (Şekil 2.7.).

Karbon elyafın diğer elyaf türlerine göre birçok avantajı bulunmaktadır bunlar;

- Karbon elyaf sahip olduğu yapısı dolayısıyla oldukça hafiftir.
- Hafif olmasının verdiği avantaj sayesinde özellikle hava araçlarında çok verimlidir.
- Oksitlenme gibi bir olasılığı olmadığından görsel olarak çok cazibeli.
- Uzun ömürlü olması ve bakım gerektirmemesi önemli bir tercih sebebidir.
- Karbon elyafının özgül ağırlığı çok düşüktür. Bu da yüksek mukavemet/düşük ağırlık gerektiren uygulamalarda çok tercih edilmesinin sebebidir.

Kullanılan nodüle, mukavemete ve uygulanan ısı işlem sıcaklığına göre, karbon elyaflar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Ultra yüksek modüllü, UHM tipi (modül >450 GPa)
- Yüksek modüllü, HM tipi (350-450 GPa arası)
- Orta modül, tip IM (200-350 GPa arası)
- Düşük modüllü ve yüksek çekmeli, HT tipi (modül <100GPa, çekme mukavemeti > 3.0GPa)
- Süper yüksek çekme, tip SHT (çekme mukavemeti > 4.5GPa)

Hammadde malzemelerine dayanarak, karbon fiberler şunlara ayrılır:

- PAN bazlı karbon fiberler
- Pitch tabanlı karbon fiberler
- Mezofaz perde bazlı karbon fiberler
- İzotropik pitch tabanlı karbon fiberler
- Rayon bazlı karbon fiberler
- Gaz fazı ile yetiştirilen karbon fiberler



Şekil 2.7. Dokuma fitil kumaş ve kırılmış karbon elyaf (kompozitshop.com)

2.2.3.3. Aramid elyaf

Açılımı aromatic polyamide olan aramid, çok güçlü bir sentetik elyaftır. Aramid; kurşun geçirmezlik, yalıtkanlık, aşınma ve ısıya karşı dayanıklılık gibi özellikleri nedeniyle uzay, havacılık, savunma sanayii, askeri uygulamalarda ve birçok başka alanlarda tercih edilmektedir. Tekstil sektöründe ise aramid keçeler kumaşa çektirmezlük kazandıran sanfor makinelerinde kullanılmanın yanı sıra, transfer baskı makinelerinde de yüksek sıcaklık altında desenin kumaşa basılmasını sağlar. Ayrıca pileli etekler de plise makinelerinde 240 °C sıcaklığa dayanıklı aramid keçeler sayesinde şekil almaktadır.

Alüminyum ekstrüzyon sektöründe de aramid elyafından imal edilen bu keçeler ekstüzyondan sonra sıcak profillerin konveyör bantlar üzerinde çizilmeden taşınmasında önemli rol oynamaktadır.

Aramid (Şekil 2.8.), bir çeşit naylon olup, diğer naylon çeşitlerine göre yüksek dayanıma sahip ilk organik elyaftır. Yapay olarak elde edilen elyaf çeşitleri arasında lifleri ısıya karşı en iyi dayanan ve en kuvvetli olarak sınıflandırılır. Aramid polimerlerin özgün olabilmesi için molekül zincir yapısındaki bağların en az % 85'inin aromatik halkalardan oluşması gerekmektedir. Aramid elyafının iki türü mevcuttur; meta aramid ve para aramid (keklar) olarak adlandırılırlar. Ancak yaygın olarak kullanılan türü para aramidlerdir.

Aramid Lifinin Özellikleri; Aramid lifi, kimyasal yapısı, amid (CO-NH-) bağlarının en az % 85'i doğrudan iki aromatik halkaya bağlanmış uzun zincirli sentetik poliamit olan, çok zor yanan ve yüksek dayanım özellikleri ile bilinen, genellikle koruyucu giysilerde yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde kullanılan sentetik liftir.

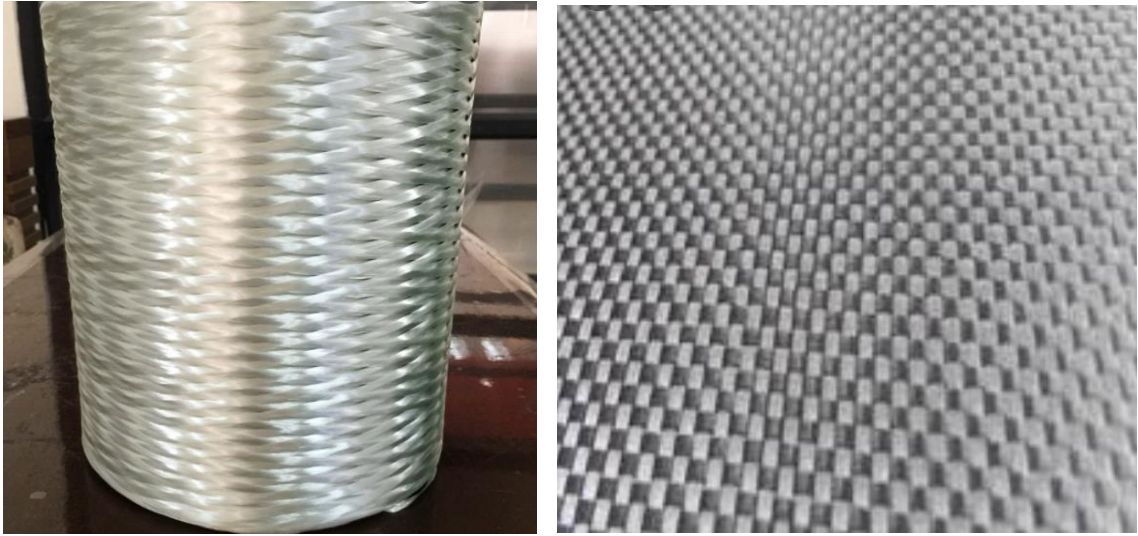
- Aramid lifleri, üstün güç/ağırlık oranına sahip ve yüksek dayanımlı bir polimerdir.
- Young modülü (sertliği): 130-179 GPa. (Karbon elyaf 300 GPa ve cam 81 GPa),
- Yanmaya karşı dayanıklıdır, erimez fakat 500 derece ve üzeri sıcaklıklarda iç yapısında bozulmalar başlar.
- Aşınma ve kesilmeye karşı direnci çok iyidir.
- Yüksek sıcaklıklarda iyi kumaş bütünlüğü vardır.
- Aramid lifleri, uygun sertlik ve çatlak oluşumuna olan dayanımları ile öne çıkarlar. Yüksek dayanıklılıkları nedeni ile, yıpranmaması istenen malzemelerin üretiminde kullanılırlar.
- Organik olan çözücülere karşı dirençli ancak UV ışınları, klor, tuz ve asitlere karşı duyarlıdır.
- Yapısı itibarı ile nem almaya müsaittir.
- Lif ve kumaş halinde iken, katlama, kesme ve işleme zorluğu vardır.



Şekil 2.8. Dokuma kumaş ve kırılmış aramid elyaf (kompozitsan.com)

2.2.3.4. Boron elyaf

Kompozit takviye olarak kullanılan bor lifleri (Şekil 2.9.), yüksek modül, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluğun önemli avantajlarını sunar. Bu özellikler birçok tasarım durumunda fazlasıyla yeterli olsa da, mermerik bor liflerinin (3.5 GN/m^2) günümüzdeki mukavemeti, elyaf üretim sürecinde ortaya çıkan kusurlar nedeniyle optimumdan çok daha düşüktür. Bu azaltılmış mukavemet, özellikle yüksek gerilim-kırılma ve yüksek darbe direncinin gerekli olduğu kompozit alanlarda kritik hale gelir. Bu nedenle, bor liflerinin tam kapasitelerine ulaşılacaksa, kusurları ortadan kaldırılarak veya etkilerini en aza indirerek lif mukavemetini ve kırılma gerilmesini optimize etmek için girişimlerde bulunulmalıdır. Kusur giderme süreci, bir tungsten tel alt tabakası üzerinde kimyasal buhar biriktirme ile bor liflerinin oluşumunda var olan birçok değişken nedeniyle karmaşıktır. Son on yılda, büyük kusurların artık sadece fiber yüzeyinde ve borlanmış tungsten çekirdeğinde yer aldığı noktaya kadar kademeli iyileştirmeler yapılmıştır. Smith, yüzey kusurlarının basit bir kimyasal aşındırma ile ortadan kaldırılabilmesini, ortalama mukavemeti 4.4 GN/m^2 'nin üzerine çıkardığını ve mukavemet değişkenlik katsayısını yüzde 20'den yüzde 5'in altına düşürdüğünü göstermiştir. Bu iyileştirme tasarım standartlarına göre önemli olmasına rağmen, Wawner ve Satterfield, eğer çekirdek kusuru giderilebilirse, 7 GN/m^2 'nin üzerinde ortalama dayanımların elde edilebileceğini göstermiştir. (DiCarlo, J. A. - 1977)



Şekil 2.9. Sürekli iplik ve dokuma kumaş boron elyaf (afzir.com)

2.2.3.5. Alümina elyaf

Alümina elyafı (Şekil 2.10.), ana bileşeni alüminyum oksit (Al_2O_3) olan yüksek performanslı bir inorganik elyaftır ve az miktarda SiO_2 , MgO vb. içerir. Havacılık, yüksek sıcaklık yalıtımı ve katalizör taşıyıcı alanlarında vb. yaygın olarak kullanılmaktadır ve mükemmel kimyasal kararlılığa sahiptir. Bununla birlikte, organik liflerle karşılaştırıldığında, geleneksel alümina liflerinin yüksek kırılma, zayıf esneklik ve düşük spesifik yüzey alanı gibi bazı ortak sorunları vardır. Bu sorunları çözmek için etkili bir yol, alümina lifinin çapını azaltmaktır. Alümina lifinin çapı $5 \mu m$ 'nin altına düşürüldüğünde, yani ultra ince alümina lifi, lif çapının azaltılması lüfe mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikler verir. Öte yandan, bazı özel yapıya sahip ultra ince alümina fiberin tasarımı, fiberin performansını açıkça artırabilir. Eriterek büküm, eriyik özütleme, bulamaç büküm, kürlenmiş polimer elyafın pirolizi ve sol-jel yöntemi gibi alümina elyafının hazırlanması için yaygın olarak birkaç yöntem benimsenmiştir. (Xinghai, Z - 2021)



Şekil 2.10. Alümina elyaf (tr.excelcera.com)

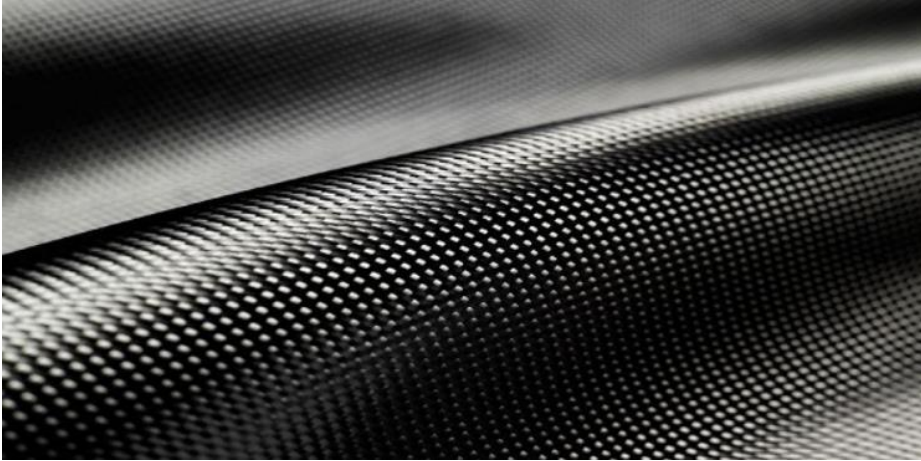
2.2.3.6. Silisyum karbür elyaf

Silisyum karbür elyaf (Şekil 2.11.), yüksek çekme dayanımı, sürtünme direnci, yüksek termal direnç, oksidasyon direnci ve seramik matris ile olan mükemmel uyumlu bir tür seramik elyaftır. Hava sistemleri, savunma sistemleri, deniz araçları ve nükleer

sanayi gibi yüksek teknolojili sektörlerde kullanılmaktadır. Geniş uygulama beklentilerine sahiptir.

Ultra ince toz sinterleme yöntemi, hammadde olarak silisyum karbür tozunu kullanır, belirli oranda bağlayıcı ve sinterleme yardımcıları, fiziksel karıştırma, kuru eğirme veya eriyik eğirme metoduyla lifler elde etmek için ilave edilir. Bu yöntemle hazırlanan silisyum karbür elyaf, daha iyi yüksek sıcaklık direncine ve sürünme katsayısına sahiptir, fakat elyaf çapı daha büyüktür ve dayanımı daha düşüktür, bu da endüstriyel uygulamalar için verimli değildir.

Fiber takviyeli seramik matris kompozitler, yüksek sıcaklıkta yapı malzemesi olarak kullanılabilir, havacılık ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılabilir. Ayrıca silisyum karbür fiber ile güçlendirilmiş metal matrisli kompozit malzeme, özgül mukavemet, özgül sertlik, termal genişleme katsayısı, termal iletkenlik ve aşınma direnci açısından daha iyi performansa sahiptir. Havacılık endüstrisinde, askeri ekipmanlar, silah ve teçhizat, spor teçhizatında, ulaşım araçlarında vb. kullanılmaktadır. Sivil endüstrinin çok çeşitli uygulama olanakları vardır. (alpapowder.com)



Şekil 2.11. Silisyum karbür elyaf (tvarc.com.tr)

3. CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER (CTP)

Cam elyaf takviyeli kompozitler (veya cam elyaf takviyeli plastikler, GFRP), on yıllardır yapı ve inşaat endüstrisinde sınırlı kullanım görmüştür. Son yıllarda hızla bozulan altyapının onarılması ve güçlendirilmesi ihtiyacı nedeniyle, fiber takviyeli kompozitler'in daha geniş bir uygulama yelpazesi için kullanılması potansiyeli artık gerçekleştirilmektedir. Bu malzemeler, geleneksel yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında, çevresel etkenlere ve yorgunluğa karşı mükemmel direnç ve ayrıca yüksek özgül modül (sertlik/ağırlık), yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ağırlık) oranlarının avantajlarına sahiptir. Bununla birlikte, kompozitlerin yaygın kullanımını engelleyen engellerden biri, uzun vadeli dayanıklılık ve performans verilerinin eksikliği olmuştur. Son otuz veya kırk yılda kompozit malzemelerle yorulma ve çevresel yorulma üzerine çok sayıda çalışma olmasına rağmen, yapısal kompozitlere ayrılanların çoğu havacılık uygulamalarına odaklanmıştır. Şu anda inşaat sektörü, havacılık uygulamalarında kullanılan karbon fiber takviye yerine ağırlıklı olarak daha düşük maliyetli cam takviyeye odaklandı. Ayrıca altyapı uygulamalarında beklenen hizmet ömrü çok daha uzundur. Sonuç olarak, geçmişten elde edilen veriler ve deneyimler genel bir kılavuz görevi görse de, özellikle pultrüzyon gibi düşük maliyetli, büyük hacimli işleme yöntemleriyle üretilen kompozitler için altyapı uygulamalarına ilişkin yeni çalışmalar ve veriler büyük talep görmektedir. Önceki çalışmalar, suya ve asitler gibi diğer aşındırıcı sıvılara maruz kalmanın özelliklerini bozacağını ve GFRP'nin yorulma ömrünü kısaltacağını göstermiştir. GFRP'nin çevresel yorulma performansı, tüm bileşenlerinden, yani fiber, matris ve fiber/matris interfaz bölgesinden etkilenir. (Kin, L - 1999)

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler çekicidir çünkü özellikleri çeşitli uygulamaların özel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uyarlanabilir. Bir kompozitin mekanik ve termal özellikleri genellikle karışım kuralına uygundur. A-Camı elyafı ağırlıkça %70-75 (hacimce %50-60) ile ana bileşendir, doğru cam ürününün seçimi kritik öneme sahiptir. Cam elyaf takviyesi, sürekli fitiller, kıyılmış elyaflar, kumaşlar ve dokunmamış matlar dahil olmak üzere birçok biçimde mevcuttur. Bir takviye ürününün seçimi, forma ek olarak, bir cam türü, cam (ebat) filament çapı ve tex seçimini içerir. Cam formülasyonu veya tipi mekanik, termal ve korozyon özelliklerini yönetirken, boyutlandırma camı kullanım sırasında korur ve reçine sistemi ile uyumluluk sağlar.

Filament çapı ve iplik dokusu, fiziksel özellikleri ve üretim verimliliğini dengelemek için seçilmiştir. Bozulmamış tek bir filamentten çok filamentli bir fitile kadar %50'ye varan önemli miktarda çekme mukavemeti kaybolabilir. Bu bozulmayı en aza indirmek için, elyaf oluşturma sürecinde azami özen ve tutarlılık gösterilmelidir. Bu, yüksek performanslı bir cam formülasyon seçimiyle birleştiğinde, basınçlı kaplar ve balistik zırh gibi oldukça zorlu uygulamalarda kompozitlerin kullanılmasına olanak tanır. (Stickel, M - 2012)

Cam elyaf takviyeli polimer kompozitler, farklı üretim teknolojisi ile hazırlanmış ve çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda, mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde daha fazla araştırma yapılmaktadır. Cam elyaflar, yüksek mukavemet, esneklik, sertlik, dayanıklılık vb. gibi iyi özelliklere sahiptir. Cam elyaf hacminin içeriğindeki artışla GFRP kompozitlerinin özellikleri iyileştirildi. Mekanik yüklemeye maruz kaldıklarında cam elyafı ile güçlendirilmiş çeşitli polimer kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiş ve rapor edilmiştir. (Morampudi, P - 2020)

CTP'nin avantajları;

- Geniş yelpazedeki kimyasallara karşı dirençli. UV ışınlarına ve iklim koşullarına karşı dirençli.
- Ağırlık olarak oldukça hafiftir.
- Isı iletkenliği düşüktür ve termal genleşme katsayısı düşüktür.
- Çok iyi bir yalıtıcıdır.
- Reçinesine eklenen pigmentler sayesinde istenilen renkte üretilebilir ve kalıcıdır.
- Radyo dalgalarına ve elektro manyetik dalgaları geçirebildiği için bu tür cihazlarda kullanılabilir
- Maliyeti ve üretim aşamaları daha uygundur.
- Düşük sıcaklıklarda dahi yüzeysel hasarı engellemek için darbe yükünü absorbe eder, kalıcı hasarı minimuma indirir.
- Yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen esnektir.
- Bakım gerektirmez, uzun ömürlüdür.
- Yüksek Özgül mukavemete sahiptir.

3.1. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin (CTP) Üretimi

Günümüzde birçok alanda kullanılan CTP'ler içeriğinde kullanılan reçineye ve takviye şekillerine göre birçok özelliğinde değişkenlik göstermektedir. Bu etkenlerin dışında CTP'lerin çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur.

3.1.1. CTP üretiminde kullanılan katkı maddeleri

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde polyester reçineler, boyalar, hızlandırıcılar, katalizörler, kalıp ayırıcılar kompozitlerin mekanik davranışlarına etki eden katkı maddeleri kullanılmaktadır.

3.1.1.1. Polyester reçineler

Taraftalık asitle etilen glikolün polimerleşmesinden oluşur. Boya endüstrisinde, kumaş polyester ve lastik üretiminde, ayrıca korozyona karşı koruyucu takviye malzemesi olarak kullanılır. Hem ülkemiz de hem de global de cam elyaf takviyeli kompozit çalışmalarında sıklıkla kullanılan doymamış polyester reçineler, Takviyeli plastikler içinde termoset çeşitleri içinde yer alan bir reçine türüdür. El yatırması gibi basit kalıplama metotlarında, çok kompleks makineleşmiş kalıplama metotlarına kadar, her türlü kalıplama tekniğine uygundur. Polyester reçine, organik asitler ve alkoller arasındaki reaksiyonla üretilen sentetik bir malzemedir. Sıvı, jel ve film gibi çeşitli yapıları alabilir ve birçok sektörde yararlı bir malzeme haline getiren değişken özelliklere sahiptir. İnşaat sektöründen üretim sektörüne, farklı endüstrilerde polyester reçinesinin hafif olmasında ve hava koşullarına karşı göstermiş olduğu dayanıklılık avantajından yararlanmaktadır.

3.1.1.2. Polyester sertleştirici

Polyesterin optimum bir şekilde sertleştirilmesini sağlayan kimyasal yapıları bir üründür. Yapılacak olan uygulamanın şartlarına göre kullanılacak en uygun sertleştirici seçilmelidir. Sertleştiriciler arasında en yaygın olanı MEK peroksittir.

3.1.1.3. Hızlandırıcılar

Sertleştiricinin bozulmaya uğrayarak daha hızlı reaksiyona girmesini sağlayan kimyasal malzemelerdir. Genellikle metal tuzları kullanılmakla beraber daha yaygın kullanılan kobalt oktoat'tır. Kobalt hızlandırıcı, Keton peroksit bazlı soğuk kürlenme sistemlerini hızlandırmaya yardımcı olur. Polimetrik formda, yüksek moleküler ağırlıklı polimer matrisine bağlanır. Bu, biyolojik yararlarını azaltır fakat kürlenme performansını korumaktadır.

Kobalt hızlandırıcıları peroksiti oda sıcaklığında aktive eder. Metal oranları genelde %1 ile %10 arasında değişmektedir. Genelde kobalt oktoat şeklindedirler.

3.1.1.4. Boyalar

Boya yapısı organik ve mineral olan ürünlerdir. Pigment olarak reçineye eklenerek istenilen renk ve özellikler elde edilir, kompozit malzemeler üretimi tamamlandıktan sonra da istenilen yapıya uygun şekilde boyanabilme özelliğine sahiptir.

Kullanılan bazı boya çeşitleri şu şekildedir;

- a) Madde bazlı boyalar;

Genellikle metaloksitleridir. Ham titanyum dioksit, titanyum tetra klorun saflaştırılması yoluyla elde edilir. Titan dioksit, boya, suni deri, plastik vb. alanlarda kullanılan malzemelere beyaz renk veren en önemli pigment olarak kullanılır. Malzemelerin parlaklığını artırmak ve opak bir yüzey vermek amacıyla kullanılmaktadır. Sentetik demir oksitler boya endüstrisi başta olmak üzere çeşitli sektörlerde renk verici pigment olarak kullanılır. Demir oksitler 98% oranında demir oksit içerir. Sarı, kırmızı,

kahve ve siyah olmak üzere dört temel renktedir. Son derece yüksek kapama kabiliyeti bulunmaktadır.

Madde bazlı Boyaların Özellikleri;

- Reçine ile karıştığında erimezler
- Malzeme yapısını bozmazlar.
- Işığa ve ultraviyole ışınlarına dayanırlar.

b) Organik boyalar

Organik pigmentler yapılarında karbonun yanı sıra hidrojen, azot ve oksijen atomu olan pigmentlerdir. Doğal kaynaklı organik pigmentler hayvanlardan ve bitkilerden elde edilir. Bu tip sentetik organik pigmentler üretilirken yüksek oranda zehirli atık ortaya çıkarmaktadır. (3.Tübitak Bilim Genç, 2015)

c) Sentetik boyalar

Sentetik organik pigmentler deri ve göz hassasiyetini arttıran maddelerdir. Pigmentlerin su içerisinde düşük çözünürlükte olmasından dolayı biyolojik aktiviteleri kısıtlıdır. Serbest inorganik bileşikler olarak bulunan ağır metal iyonları atıklarda kimyasal bir tepkimeyle homojen olmayan forma dönüştürülerek uzaklaştırılırlar. (İskender, A - 1987)

3.1.1.5. Katalizörler

Katalizörler “Yapılarında bir değişme veya parçalanma göstermeksizin kimyasal tepkimelerin hızı üzerine etki yapan” bileşiklerdir. Kimyasal tepkimelere pozitif yönde etki yaparak hızlandıran katalizörlerin yanında negatif olarak etkileyen katalizörler de vardır. Katalizörler sadece belirli olan ve tek bir kimyasal tepkime üzerine etki yaparlar ve tepkimeye başladıkları oranda azalmayarak aynı olarak tepkime sonunda da ortamda bulunurlar. (ankara.edu.tr)

Cam elyaf kompozit üretiminde katalizör kullanımı zincirlerin birbiriyle birleşmesi ve reçinenin katılaşması için kullanılır.

3.1.1.6. Kalıp ayırıcılar

Ayırıcılar, Cam elyaf kompozitlerin kalıptan çıkarılmasını sağlayan malzemelerdir. Kalıp ayırıcılar reçineyle karıştırılarak kalıp yüzeyine sürülmekte veya reçineye karıştırmakla birlikte kalıba haricinde sürülmektedir. Çinko sterat reçineyle karıştırılan pres kalıplama tekniği için kullanılan bir kalıp ayırıcıdır. Kalıp yüzeyine doğrudan uygulanan bazı kalıp ayırıcılar ise şunlardır; Vakslar, silikonlar vb.

3.1.1.6. Takviye malzemeleri

Kompozit üretiminde reçinelere takviye edilen malzemeler ile mekanik ve fiziksel özelliklerde artışlar sağlanır. Cam elyaf kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılan cam elyaflar üretim çeşidi ve istenilen özelliklere göre, fitil, iplik, kesikli, keçe vb. çeşitlerde kullanılır.

3.2. Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin (CTP) Üretim Yöntemleri

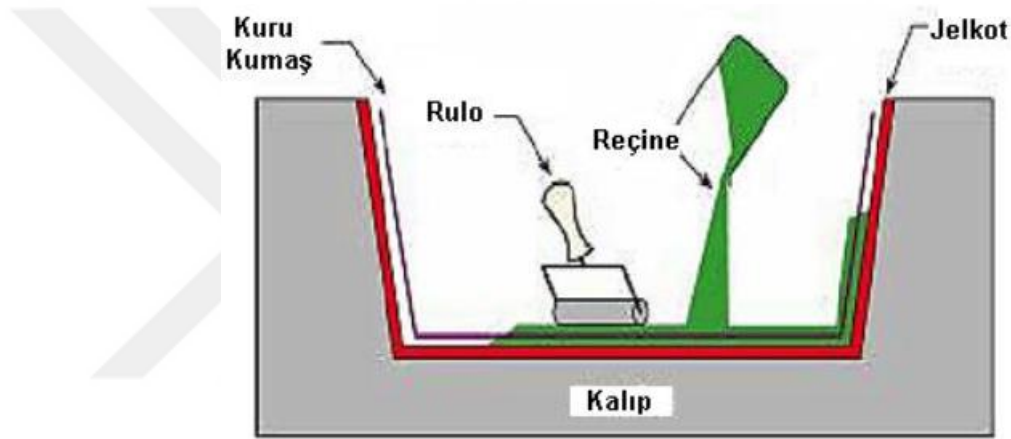
3.2.1. Elle yatırma yöntemi

Önceden emprenye edilmiş dokuma malzemelerin elle yerleştirilmesi, karmaşık şekiller halinde düz katlar oluşturmak için insan işgücünün beceri ve deneyimini gerektiren kompozit imalat endüstrisinin hala büyük bir parçasıdır. Yüksek performanslı ve karmaşık parçalar üretme yeteneğine sahiptir, ancak pahalı ve değişken bir süreç olabilir. (Elkington, M - 2014)

Dokunarak hazırlanmış veya kırılarak elde edilmiş elyaflarla hazır hale getirilmiş takviye kumaşları önceden tasarlanmış olan kalıp üzerine elle yatırılır ardından üzerine sıvı reçine elyaf sürülerek kumaşın katmanlarına emdirilir. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır (Şekil 3.1.). Reçine ise sürüldükten sonra katılaşmaya sebep olacağı için en son sürülür. Bu işlemde reçinenin elyaf kumaşının her yerine temas etmesi çok önemlidir. Elle yatırma tekniğinde en çok kullanılan polyester ve epoksinin yanı sıra vinilester ve fenolik reçineler de kullanılmaktadır. Elle yatırma tekniğini insan gücü ve yoğun işçilik gerektirdiğinden

dolayı seri üretimlerde tercih edilmez fakat düşük sayıdaki üretimler için çok elverişli ve makuldür. (ceyrek mühendis.com)

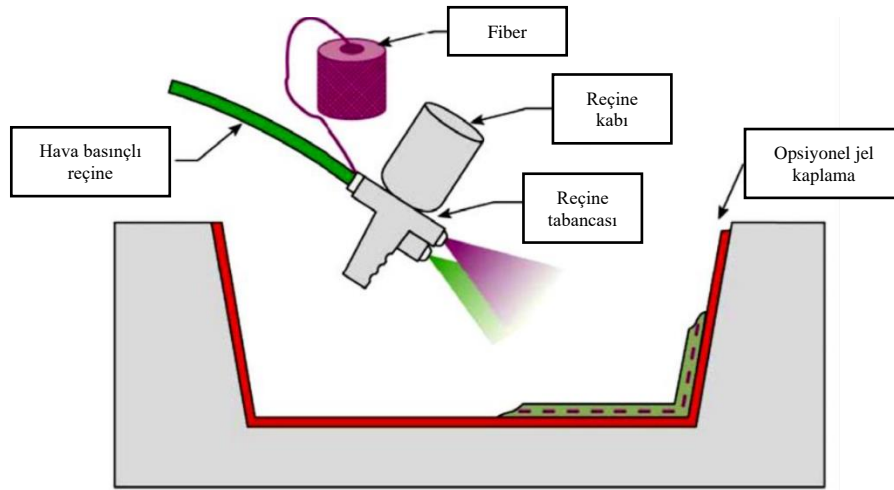
El yatırma işlemi ile cam elyaf/polyester kompozit malzemelerin üretimi, şu anda balıkçı tekneleri, otomobil ve kimyasal ürünler için tanklar gibi farklı imalathanelerde kullanılan yöntemlerden biridir. Oldukça basit ve ucuz bir işlemdir. Cam elyaf veya farklı takviye malzemesi (dokuma kumaş veya fitil) kalıba manuel olarak yerleştirilir ve üzerine reçine dökülür, fırça ile takviye malzemesinin her yerine sürülür. Bu yöntemde sıkışan hava rulolar ile manuel olarak uzaklaştırıldığı için gözenek oluşumu kaçınılmazdır. (Belloul, N - 2015)



Şekil 3.1. Elle yatırma yöntemi şematik gösterimi (Ismail Durgun,2014)

3.2.2. Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi (Şekil 3.2.) birçok yönüyle elle yatırma yöntemine benzese de daha pratik ve hızlıdır. Kırpılan elyaflar kalıp üzerine içine katalizör katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyaf kırpma işlemi reçine tabancası üzerinde bulunan ve ayrı bir sistemle çalışan bir kesici yardımıyla yapılır. Püskürtülme işlemi yüzeyde kalabilecek hava boşluklarını önlemek amacıyla bir rulo yardımıyla düzeltilmesiyle ürün hazırlanmış olur. Bu yöntemde de malzemenin kalıp yüzeyine boşluksuz yapışması için rulo yardımı ile gözeneklerden arındırılır.



Şekil 3.2. Püskürtme yöntemi şematik gösterimi (Ismail Durgun,2014)

3.2.3. Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi

Sıvı kalıplama yöntemi olarak da bilinen bu yöntem önceden istenilen şekle getirilmiş ve kesilmiş takviye malzemelerinin özel kalıp arasına kapatılarak yapılan bir kapalı kalıplama yöntemidir (Şekil 3.3.). Önceden hazırlanmış ve katalizör, boya, dolgu malzemeleri ile karıştırılmış olan reçine karışımı basınç altına alındıktan sonra tek veya çoklu portlardan kalıp içine transfer edilir. RTM yöntemi lif yönlendirilmesinin kontrol altında tutulmasıyla ve yüzey kalitesi çok iyi olan parçaların üretimini sağlaması açısından ön plana çıkmıştır. Bu yöntemde genellikle sürekli lifler kullanılır. Bu proseste epoksi, vinilester, fenolik reçine, pigment ve dolgularla kombine edilmiş metil metakrilat, üreanlar, bismaleimidler, akrilik, polyester hibridleri de kullanılabilir. En yaygın olanları epoksiler ve doymamış polyesterlerdir. RTM yönteminde devamlı keçe ve kırılmış demetten ön şekillendirilmiş takviye malzemelerinin kullanımı yaygındır. Isıtılarak şekillendirme yapılan takviye elemanları kalıp şekline tam uyumlu olarak kullanılabilir. (Işık, A - 2008)

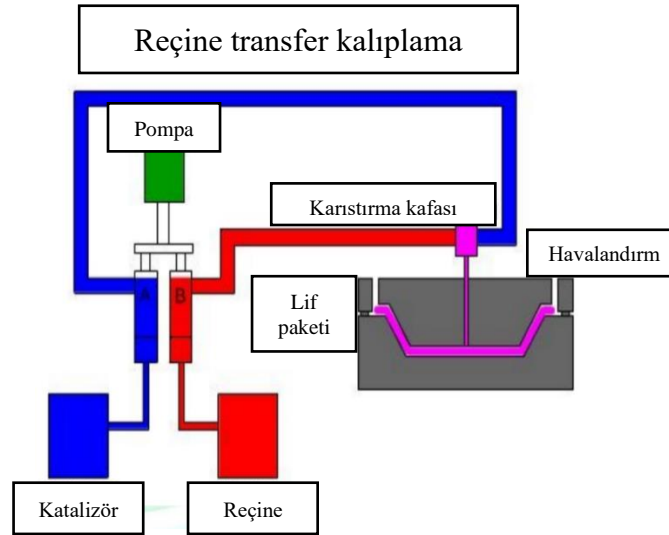
Reçine transfer kalıplama (RTM) yönteminin avantajları;

- En iyi boyut kontrolü ve yüksek tekrarlama bilirlilik.
- Ek olarak bir işlem gerektirmeden tüm yüzeylerde de 1.sınıf yüzey özellikleri.
- Jel kaplama uygulayarak yüzey özelliklerinin geliştirilme olanağı.
- Hızlı üretim.

- Bütün ek parçaların tek bir seferde kalıplanabilmesi.
- Düşük emdirme basınçları.
- Prototip üretim maliyetlerine göre ucuz.
- Tasarım esnekliği: Takviye elemanları, dizilimleri, iç malzemeler, eklentiler ve karışık malzemeler yerinde kürlenir.
- Parçalı şekilde istenen karmaşık malzemelerin kesmeye gerek duymadan üretilmesi.
- Kütleme için gerekli ısıtma işleminin kalıba entegre edilebilmesi.
- Soğutma, torbalama gerektirmemesi.
- Seri üretime uygundur.

Reçine transfer kalıplama (RTM) yönteminin dezavantajları;

- Kalıp tasarımı gerektirirler.
- Geniş ürün gamı için parça maliyeti yüksek olabilir.
- Preform ve takviye elemanının kalıp içerisindeki dizilimi kritik öneme sahip.
- Vizkozite nedeniyle kısıtlı reçine seçimi.
- Hava sıkışması. (Bartın üniversitesi)



Şekil 3.3. Reçine transfer kalıplama yöntemi şematik gösterimi (Ay Irfan, 2011)

3.2.4. Hazır kalıplama yöntemi

Hazır kalıplama yöntemi; cam elyaf ve reçine karışımının bünyesinde olan Hazır Kalıplama Pestili (Sheet Moulding Composites [SMC]) veya Hazır Kalıplama Hamuru

(Bulk Moulding Composites [BMC])’nun sıcak pres uygulanarak nihai ürünün elde edilmesi işlemidir. (baranboya.com)

3.2.4.1. BMC hazır kalıplama yöntemi

Dökme Kalıplama Bileşiği (BMC), polyester bazlı, ısıyla sertleşen kompozittir. BMC geleneksel olarak önemli elektriksel, yapısal, korozyona dayanıklı ve/veya ısıya dayanıklı özellikler gerektiren bileşenler halinde kalıplanmıştır. Başarılı BMC uygulamaları genellikle cihazların görsel olmayan veya “çalışma” alanlarıyla sınırlandırılmıştır. Fırça tutucular, armatür manşonları ve A-serpantin damlama tavaları bunlardan birkaçıdır. BMC malzemeleri, işlevsel olmasına rağmen, içerik içeriği, kalıp tasarımı ve kalıplama süreçlerine yaklaşımlarında biraz ilkel olmuştur. BMC, estetik olmayan, yüksek ısı uygulamaları için düşük maliyetli bir alternatif olarak popülerdir. Bununla birlikte, daha iyi ıslanmayı desteklemek için, liflerin yüzeyinin değiştirilmesi ve işlenmesi gerekir. (Abdanb, K - 2018)

BMC hazır kalıplama bileşiminin özelliklerini öncelikli olarak belirleyen seçilen reçine türüdür. Reçine seçimi aşağıdaki özellikler dikkate alınarak yapılabilir:

- Elektriksel özellikler
- Düşük duman emisyonu
- Çekme
- Yüzey profili
- Korozyon dayanımı
- Darbe dayanımı

BMC hamur bileşiminde (Şekil 3.4.) takviye elemanı olarak önceden kırılarak hazırlanmış cam elyaf kullanılmaktadır. Özel amaçlar için farklı tip takviye elemanları kullanılsa da genellikle cam elyaf kullanılmaktadır. Doğal elyaf takviyeli kompozitler için kullanılan birçok farklı termoset reçine türü olmasına rağmen, çoğunluğu polyester (UP), vinilester (VE) ve epoksi olmak üzere üç ana tipte yapılır. Bu tür düşük viskoziteli reçineler, mükemmel elyaf ıslatma ve yapışma sağlar ve kompozitler, çok sayıda karmaşık şekiller halinde sıkıştırılarak kalıplanabilir. (Bartın üniversitesi, 2008)

BMC kalıplamanın avantajları;

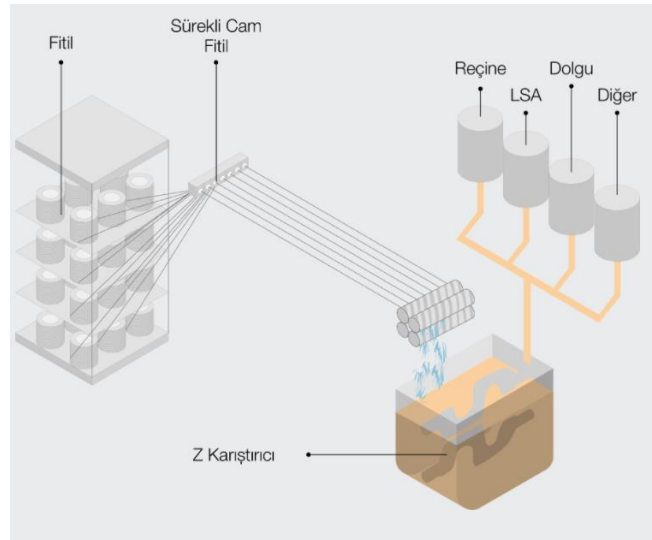
- Dolgu maddesinin kullanım oranına göre optimum sertlik ve yanmaya karşı dayanım sağlayabilir.
- Çok karmaşık şekilli parçalar kalıplanabilir.
- Dolgu maddesinin olabildiğince yüksek oranda kullanılması buna ters orantıda takviye malzemesinin düşük oranda kullanılması nihai üründe mükemmel malzeme kalitesi ve düşük maliyet sağlar.
- Ürün içerisine boyutların hassas olması için metal parçalar koyulabilir.
- Enjeksiyonla kalıplama metodunda, kapalı kalıp içerisine malzeme aktarılırken, basınçlı kalıplamada genellikle mümkün olmayan ikincil takviye malzemelerinin kullanımı mümkündür.

BMC Kalıplamanın dezavantajları;

En önemli dezavantaj 1,8 mm.'nin altında bir cidar kalınlığı sağlanamamasıdır. Ayrıca termoset malzemeler dış açılmasına, ultrasonik kaynak yapılmasına, esnek bağlantı yapılmasına uygun değildir. Keza, hızlı prototip üretimi de sınırlıdır. (baranboya.com)

BMC Uygulama alanları; BMC'ler, metal dökümler ve mühendislik termoplastikleri ile öncelikli olarak rekabet halindedir. Başlıca uygulama alanları:

- Büyük veya küçük boyutlu ev aletleri parçaları
- Otomobil farları
- Otomobil supap kapakları
- Devre kesiciler
- Vites kutuları ve fırça sapları
- Pompa muhafazaları
- Elektrik izolatörleri



Şekil 3.4. BMC hamur üretimi (poliya.com)

3.2.4.2. SMC hazır Kalıplama Yöntemi

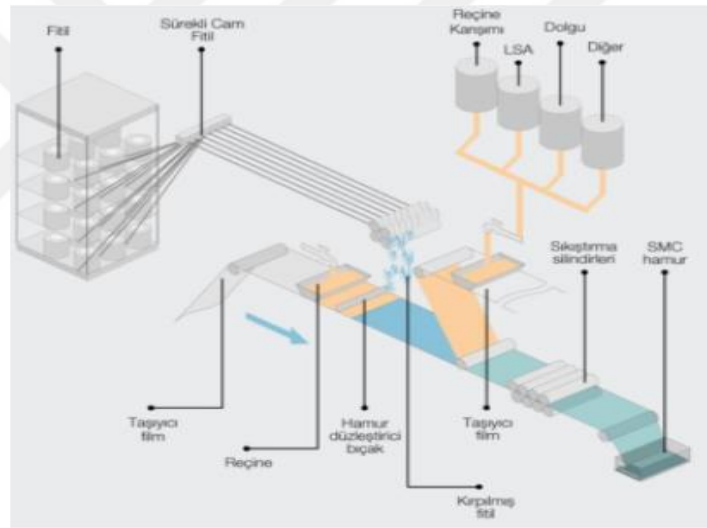
Levha kalıplama bileşiğinin (SMC) sıkıştırılarak kalıplanması (Şekil 3.5.), otomotiv endüstrisinde fiber takviyeli termoset kompozitlerin en başarılı ve yaygın uygulamasıdır. Bunun nedeni, tekniğin düşük maliyetle toplu kompozit üretimi sunması ve "A sınıfı" otomotiv sınıfı, yüzey kalitesi sunabilen yeterli mekanik özelliklere sahip çok yönlü bir ürün üretmesidir. Hemen hemen tüm durumlarda, takviye bileşeni kısa (25 mm) rastgele dağılmış cam elyaf demetleri oluşturur. Karbon fiberler (CF), sertlik ve ağırlık tasarrufu açısından belirgin avantajlar sunabilir. Ek olarak, SMC ve hamur kalıplama bileşiği (BMC) üretim yöntemleri, camdan bu yüksek performanslı elyafa nispeten kolay bir geçiş sağlar. (Palmer, J - 2010)

SMC Çeşitleri;

SMC çeşitleri içeriğinde bulunan reçine veya takviye elamanına bağlı olarak gruplandırılmaktadır. Reçine bazlı SMC'ler, soğuk kalıplama yöntemiyle üretilen son halini almış ürünün çekme dayanımlarına göre isimlendirilirler. Takviye elemanlarına göre yapılan SMC gruplandırılması şöyledir.

- **SMC-R:** Elyaf dağılımı düzensizdir. Farklı uzunlukta kırılmış lifler, rastgele bir biçimde sıralanmıştır.

- **SMC-R:** Farklı kesit geometrisindeki kalıplama ile üretilen parçaları için uygundur. Üretilen ürün tamamen homojendir. Akış yönüne, elyaf oryantasyonuna ve kalıplama sırasında akış mesafesine bağlı olarak özelliklerinde farklılıklar görülebilir.
- **SMC-C:** Takviye malzemesinin yerleştirildiği yönde yüksek, çapraz yönde de ise diğer yönler göre düşük mukavemet gösterir. Presleme sırasında akışkanlığı yavaşlatır.
- **SMC-D:** Tek yönlü fakat sürekli olmayan uzun lifler kullanılmaktadır. Takviye elemanlarının bu şekilde düzenlenmesi, elyaf yönünde daha iyi bir akış sağlar. (baranboya.com)



Şekil 3.5. SMC hamur üretimi (tezkom.com)

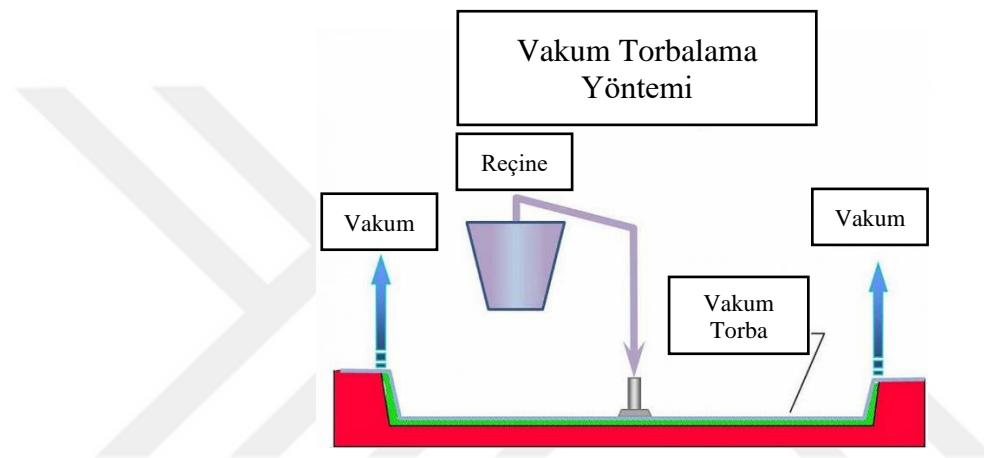
3.2.5. Islak Sistem Pres Kalıplama Yöntemi

Prese hazırlanmış ve önceden ısıtılmış metal kalıp içindeki takviye malzemesi (kuru) üzerine sıvı reçine pompalanır ya da dökülür. 17–70 bar aralığında uygulanan hidrolik basınç, sıvı reçinenin takviye malzemeleri arasında akmasını ve malzemenin sertleşme işlemi tamamlanincaya kadar kalıpta sabit tutulmasını sağlar. Ortalama sertleşme sıcaklığı 96 – 177 °C arasında değişiklik gösterir. (Composites Institute, 1998)

Bu yöntem, presteki bileşenin yüksek sıcaklık ve basınç altında kürlendiği bir termoset işlemdir. Karbon fiber takviyeli plastiğin seri hatlardaki üretiminde ekonomik bir alternatif olmuştur. (Plastics Engineering,2015)

3.2.6. Vakum torbalama yöntemi

Vakumlu torbalama (veya vakumlu torba laminasyonu), bir laminatın yapışkan veya reçine kaplı bileşenlerini yapışkan sertleşene kadar yerinde tutmak için atmosfer basıncını kullanan bir sıkıştırma yöntemidir (Şekil 3.6.). (West System, 2017)

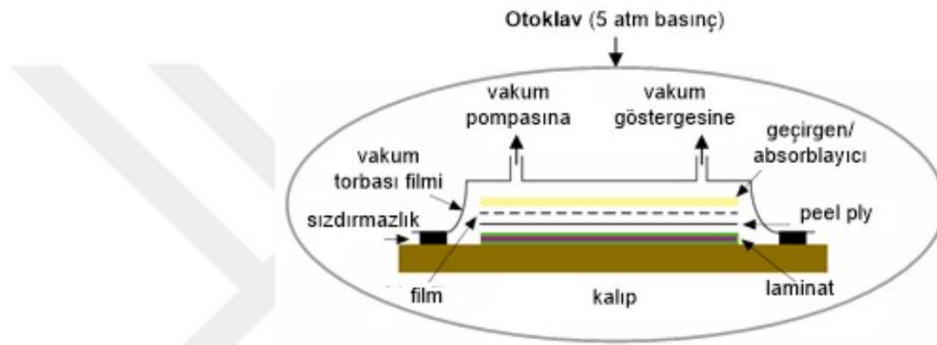


Şekil 3.6. Vakum torbalama yöntemi şematik gösterimi

3.2.7. Otoklav yöntemi

Otoklav işlemi, özellikle büyük karmaşık yapıları içeren yüksek performanslı uygulamalar için fiber takviyeli plastik kompozit bileşenlerin üretimi için genellikle tercih edilen yöntemdir. Bu tekniği kullanarak, kısmen kürlenmiş reçine (prepreg) ile emprenye edilmiş yüksek modüllü fiberden oluşan ince tabakalar, istenen şekle sahip bir bileşen oluşturmak üzere kesilir ve istiflenir. Kürlenmemiş prepreg'e ek olarak, tipik lamine kompozit yapılar, çeşitli parçaları birbirine yapıştırmak için petek çekirdek, önceden kürlenmiş kompozit sertleştiriciler ve yapısal yapıştırıcılar gibi malzemeleri de içerir. Montajdan sonra yapı, çeşitli bez katmanları (hava alma ve havalandırma) ile kaplanır ve bir vakum torbası içinde kapatılır. Hava tahliye ediciler, fazla reçineyi emerek optimal bir lif hacmi fraksiyonunun elde edilmesine yardımcı olur. Havalandırmalar, kürlenme sırasında parçadan hava ve uçucu gazların uzaklaştırılması için bir yol sağlar. Alet-laminat düzeneği, esasen büyük bir sıcaklık ve basınç kontrollü kap olan bir otoklava

yerleştirilir ve torba vakum sistemine bağlanır. Parçayı kürlemek için önceden belirlenmiş bir kürleme döngüsünde laminata basınç ve sıcaklık uygulanır. Reçine polimerizasyon reaksiyonunu tetiklemek için sıcaklık döngüsü gereklidir. Laminatı alet yüzeyine uydurmak ve laminatı istenen elyaf hacim fraksiyonunda sıkıştırmak ve reçine kürü sırasında oluşabilecek boşlukları daraltmak için laminata basınç uygulanır. Torba basıncı, başlangıçta serme sırasında sıkışan havayı ve kürleme sırasında uçucuları gidermek için kontrol edilir. Laminatın sıkıştırılabilmesi için torba basıncının otoklav basıncından az olması gerekir. Son olarak, kürlenmiş parça torbadan arındırılır ve ikincil ve bitirme işlemlerine hazır hale getirilir (Şekil 3.7.). (Hubbert, P - 2012)



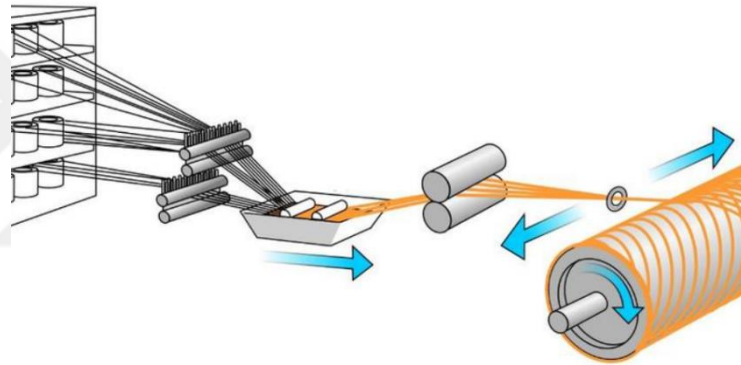
Şekil 3.7. Otoklav yöntemi şematik gösterimi (Beşergil, B - 2012)

3.2.8. Preslenebilir takviyeli termoplastik (GMT) yöntemi

Preslenebilir takviyeli termoplastikler, yüksek darbe dayanımı ve sertliği birlikte karşılayan bir teknolojidir. Bu yöntemde termoplastik reçine ve cam elyafının önceden birleştirilmesiyle elde edilen levha kullanılmaktadır. Belirlenmiş olan ön ısıtma işlemine tabii tutulan bu levhalar, kullanılacağı kalıbın boyutuna göre plakalar halinde kesilerek hazırlanır, ön ısıtması tamamlanan plakalar prese montaj edilmiş maçalı kalıplar arasına koyulur ve kalıplar birleştirilerek plakalar şekillendirilir. Kalıp ısısı kompozit malzemenin sertleşebileceği ve aynı zamanda kalıptan rahatlıkla çıkartılabileceği bir ısıda tutulmaktadır. (Plastics Engineering, 2015)

3.2.9. Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma yöntemi, düşük maliyetle silindirik basınçlı kap yapısındaki kompozit yapıların imalatı için birincil süreç olarak ortaya çıkmıştır. Bu işlemde kompozit lif demetleri dönen bir mandrel üzerine arka arkaya sarılır. Tabakalar silindir eksenine dik olan çember tabakalardan açılı helisel tabakalara kadar farklı açılarda sarılabilir (Şekil 3.8.). Elyaf sarım ile kompozit silindirin yapımı üç ana adımdan oluşur, ilki malzeme seçimini, geometriyi ve lif yönelimlerini içeren tasarım, ikincisi ise liflerin yerleştirildiği mekanik araçlar olan lif yerleştirme. Son olarak, üçüncüsü, üretim süreci boyunca sürdürülmesi gereken koşulların seçimi ve kontrolüdür. Kısacası bu işlem önceden bir matris malzemesi ile emprenye edilmiş veya sarım sırasında emprenye edilmiş sürekli takviyelerin (filament, tel, iplik, bant veya diğerleri) önceden belirlenmiş bir şekilde döner ve çıkarılabilir bir form veya mandrel üzerine yerleştirildiği bir kompozit yapı imal etme işlemidir. (Abdalla, F.H. - 2005)

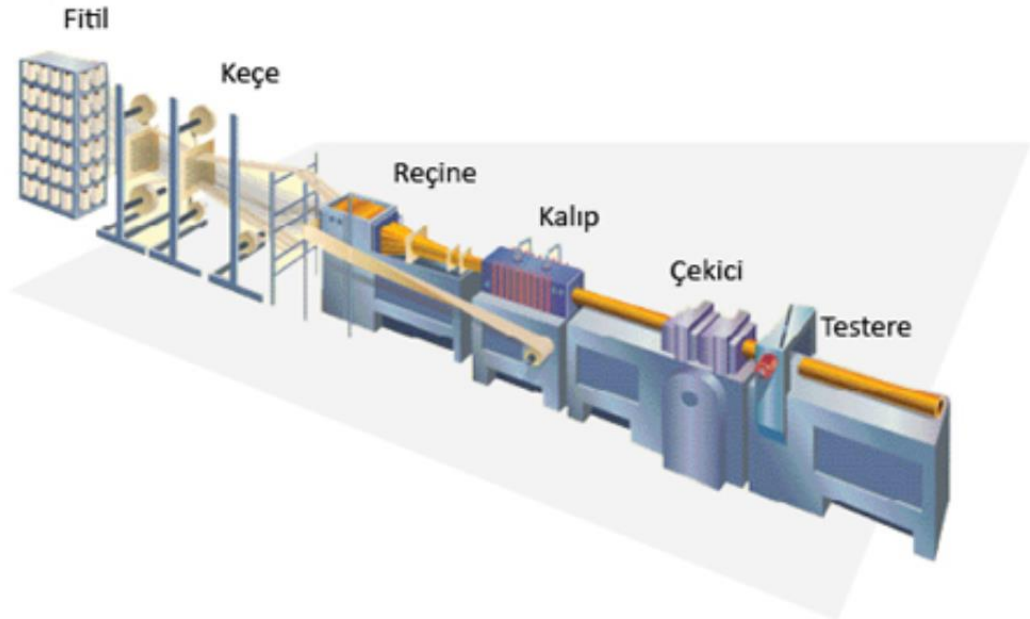


Şekil 3.8. Elyaf sarma yöntemi şematik gösterimi (Bayraktar, Ö)

3.2.10. Profil çekme / pultrüzyon (pultrusion) yöntemi

Mevcut sayısız üretim yöntemiyle, düşük enerji etkisine sahip en ekonomik prosedürlerden biri pultrüzyondur. Pultrüzyonu anlamak için önce ekstrüzyonu anlamak faydalı olabilir. Ekstrüzyon, bir bileşen üretmek için malzemeyi bir kalıptan zorlamayı veya itmeyi içerir, kapalı bir hacim içerisine uygulanır. Benzer şekilde pultrüzyon, bir kalıbın çıkışında bir dizi kasnak yardımıyla malzemenin bir kalıptan çekilmesini içeren açık hacim prosedürlü sürekli bir işlemdir (Şekil 3.9.). Süreklilik doğası nedeniyle bu, pultrüzyonu yüksek üretim oranlarına izin veren yüksek oranda otomatikleştirilmiş bir süreç haline getirir. Pultrüzyondan üretilen bileşen türleri tipik olarak doğaları gereği prizmatiktir; parçanın boyutu ve uzunluğu boyunca aynıdır. (Mackin, D - 2018)

Bu imalat yönteminin ana cazibe merkezlerinden biri, aletlerin basitliği ve düşük işçilik gereksinimleridir. Elde edilen pultrüde profiller, atıksu tesislerinin altyapılarında, betonarme yapıların iç veya dış takviyesi olarak, yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve rehabilitasyonu amacıyla ve son zamanlarda ya kalıplanmış ızgaralar ve sandviç panellerle veya kompozit yapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik olarak, pultrüzyon profillerin üretim sürecinde düz cam (GF), karbon (CF) veya aramid (AF) takviye lifleri, sürekli şeritler veya katlar şeklinde, emprenye için bir termoset reçine banyosundan (genellikle bir polyester) çekilir, vinilester veya epoksi reçine de kullanılabilir. Islatma işleminden sonra, takviye paketi, kalıp boşluğunun son şeklini aldığı ve sertleştiği ısıtılmış kalıba girmeden önce, aşamalı bir şekilde gerçekleştirilmiş bir şekle getirilir. Alet kalıbı, harici veya dahili elektrikli ısıtıcılar, şerit veya tünel ısıtıcılar, kızgın yağ veya buharla ısıtılabilir; Bununla birlikte, harici elektrikli ısıtma sistemleri şimdiye kadar en yaygın olanlardır. Programlanmış bir güç kontrolörü, ısıtıcıların görev döngüsünü kontrol eder, kritik noktalarda bulunan sıcaklıklar aracılığıyla gerçek zamanlı ölçümleri kaydeder ve reçine matrisinin uygun bir küreleme işlemi için gerekli olan kalıp boyunca uygun sıcaklık profilini (TP) sağlar. Son olarak, zaten polimerize edilmiş ve konsolide edilmiş kompozit parça (GFRP, CFRP veya AFRP profili) kalıbın dışında, sürekli bir çekme sistemi ile çekilir ve soğutma işleminin ardından bir kesme testeresi parçayı istenen uzunlukta keser. (Silva, F - 2013)



Şekil 3.9. Pultrüzyon yöntemi şematik gösterimi (fiberbul.com)

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

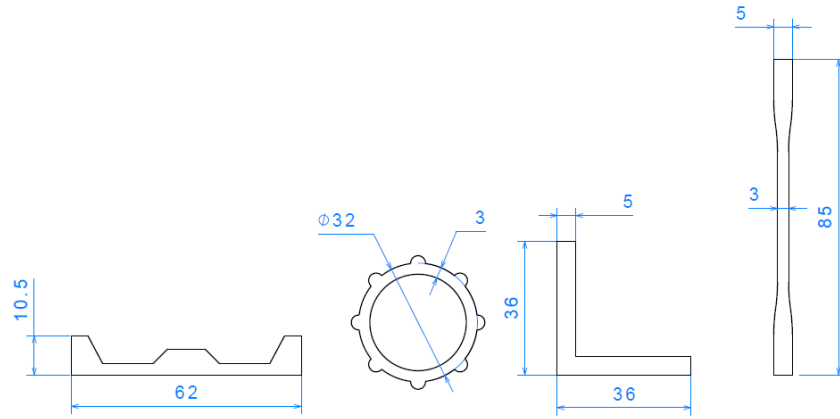
4.1. Deneyde Kullanılan CTP Profillerin Üretimi

Kullanılan numuneler pultrüzyon yöntemi ile üretilmiştir, takviye elemanları olarak düzgün çözülme iyi elyaf dağılımı, çok düşük statik elektriklenme, iyi reçine emilimi, hızlı ıslanma ve yüksek mekanik performans içeren şişecam 4800 tex iplikler kullanılmaktadır. Reçine olarak ortoftalik Polyester, İzofthalik Polyester ve vinilester reçine karışımı kullanılmaktadır. Üretim süreci sürekli olarak sarılmış cam elyaf ipliklerin reçine banyosunun içinden geçirilerek reçine emdirilmesi ve ısıtma işlemiyle başlar. Reçine emdirilen cam elyaf iplikleri daha sonra ısıtılmış kalıp içerisinden geçirilir. Reçine kalıp içerisinden geçirilirken bir yandan da kürlenip katılaştır. Kalıp içerinden dönen merdaneler vasıtasıyla çekilen profillere soğutma işlemi uygulanır ve profiller istenilen uzunluğa ulaştıktan sonra kesiciler yardımıyla kesilerek proses tamamlanmış olur.

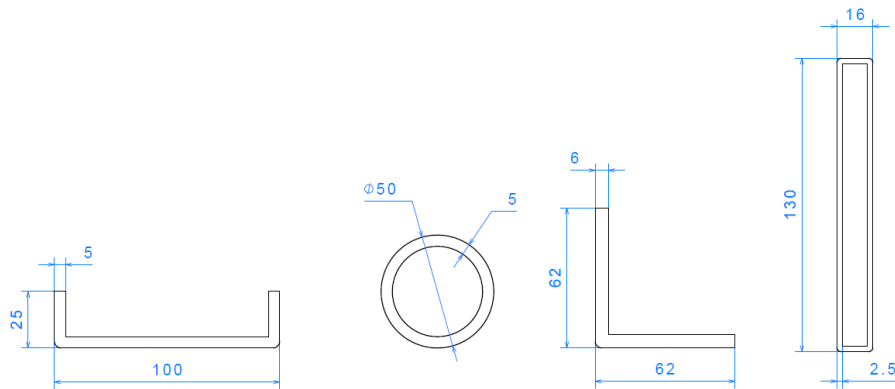
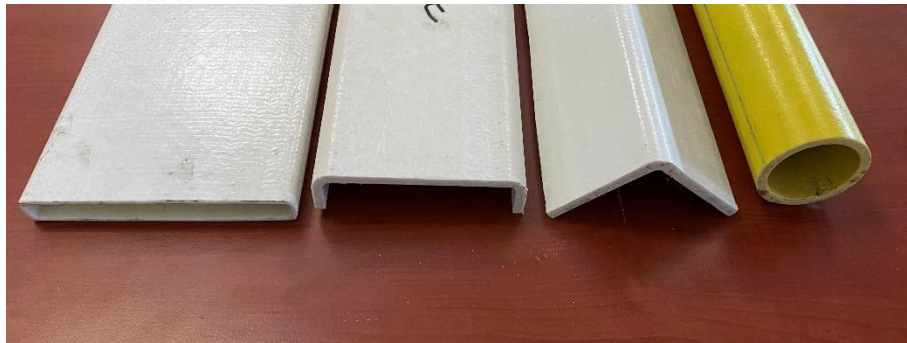
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan numunelerden kesit alanı 330 mm^2 olan profiller (Şekil 4.1.) Ceylan Kompozit Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından, kesit alanı 700 mm^2 olan profiller (Şekil 4.2.) ise Mitaş Kompozit Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Deneyde aynı kesit alanına sahip profillerin mekanik özellikleri inceleneceği için tüm profillerde eşit kesit alanını elde etmek için gerekli ölçülendirmeler ayarlandıktan sonra bazı profillerin belirlenen kısımlarından kesimler yapılarak hassas bir şekilde kesit alanları eşitlenmiştir.

Eğilme deneyi için tüm profillerin boy ölçüsü 350 mm olarak kesilmiştir, basma deneyi için ise profillerden 150 mm kesilerek numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. 330 mm² kesit alanlı profil numuneleri

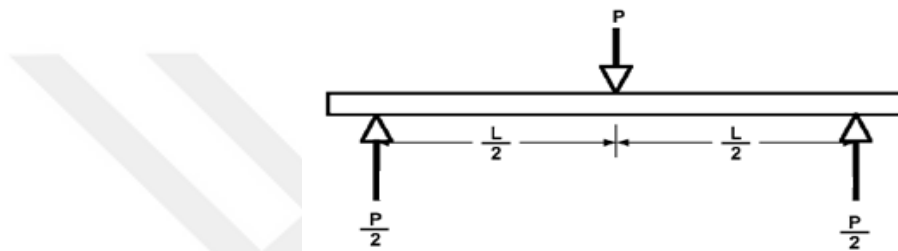


Şekil 4.2. 700 mm² kesit alanlı profil numuneleri

4.4. Deney Standartları

Polimer Matris Kompozit Malzemelerin Eğilme Özellikleri için Standart Test Yöntemi ASTM D 7264/D 7264M – 07 standardı esas alınmıştır. Yapılacak olan eğilme deneyi basit bir şekilde desteklenen bir kiriş üzerinde merkez yüklemeyi kullanan üç noktalı bir yükleme sistemi olduğu için standardın prosedür-A olan kısmı dikkate alınmıştır. Standartta belirtilen test yönteminin özeti;

- Prosedür A - Çubuk iki desteğe dayanır ve destekler arasında ortada bir yükleme burnu vasıtasıyla yüklenir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Üç nokta eğilme deneyi destek aralıkları gösterimi

- Numuneye uygulanan kuvvet ve sonuçta ortaya çıkan numune sapması, dış yüzeylerden birinde arıza meydana gelene veya deformasyon önceden belirlenmiş bir değere ulaşana kadar ölçülür ve kaydedilir.
- Test Hızı: Standart boyutlara sahip bir numune için test hızını 1.0 mm/dk [0.05 inç/dk] çapraz kafa hareketi oranında ayarlanmalıdır.

4.5. Eğilme ve Basma Deneyi

4.5.1. Eğilme ve basma deneyinde kullanılan cihaz ve ekipmanlar

4.5.1.1. Çekme ve eğilme cihazı

Eğilme ve basma deneyleri için TIME WDW-200E serisi 200 kN Kapasiteli ve Crosshead hassasiyeti 0.001 mm olan çekme kopma test cihazı kullanılmıştır. Eğilme deneyi için çekme cihazının alt kısmına standartlarda belirtildiği gibi mesnet açıklığı ayarlanabilir destek ve yükleme burnu sabitlenmiştir. Basma deneyi için yine standartlara

uygun deney aparatları sabitlenmiştir. Cihaz tamamen bilgisayar kontrollü olup bilgisayara takılı olan PCI kart vasıtasıyla güvenilir veri aktarımı ve kontrol sağlanmaktadır. İhtiyaç durumunda ayrılmış kontrol kumandası ile cihaz kirişi aşağı yukarı hareketini bilgisayardan bağımsız olarak gerçekleştirilebilir. Geniş raporlama özelliği sayesinde hem deney grafikleri hazır olarak alınabilmekte hem de anlık olarak tüm değerler data olarak alınabilmektedir.

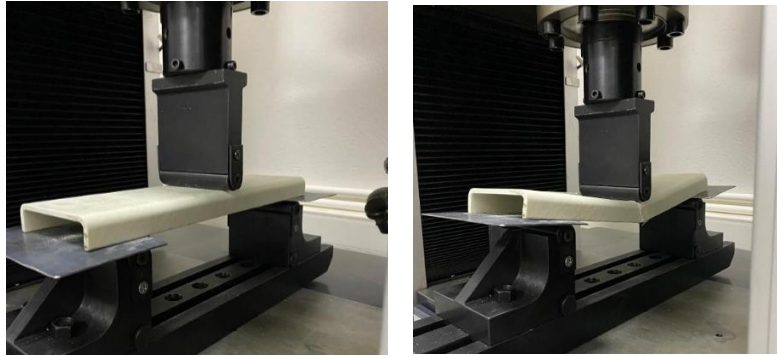
4.5.1.2. Kumpas

Deney sonuçlarının doğru sonuç vermesi için kullanılan profillerin ölçülerini belirlemek için 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas ve test numunelerinin orta noktalarını belirlemek için 0.05 mm hassasiyetli manuel kumpaslar kullanılmıştır.

4.5.2. Eğilme deneyinin yapılışı

Kesit alanları 330 mm² ve 700 mm² olarak belirlenen profillerin uzunlukları 350 mm olarak kesilmiş ve iki ayrı grupta eğilme deneyi yapılmıştır. Deneyde malzeme et kalınlığına göre standart olarak destekler arası mesafe 250 mm olarak ayarlanmıştır. Yükleme ucunun hızı ise standartta belirtildiği gibi 1 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

Deney başlatılmadan önce numunelerin orta noktası belirlenerek test cihazına hassas bir şekilde yerleştirilmiştir, yükleme ucu numuneye temas ettiği anda tüm veriler sıfırlanarak deneyler başlatılmıştır. Tüm numunelerde kırılma gerçekleşene kadar deneyler devam etmiş (Şekil 4.4.) ve deney grafiklerinin matlab programında çizilmesi için gerekli data dosyaları alınmıştır.



Şekil 4.4. Eğilme deneyi yapılan U profil numunesi

4.5.3. Basma deneyinin yapılışı

Kesit alanları 330 mm^2 ve 700 mm^2 olarak belirlenen profillerin uzunlukları 150 mm olarak kesilmiş ve iki ayrı grupta basma deneyi yapılmıştır. Deneye başlamadan önce basma aparatları hazırlanmış ince olan numunelerin bükülmeye karşı yönelimini engellemek deney için iki destek arasına sıkıştırılarak yapılmıştır. Numuneler deney cihazına yerleştirilirken ortalı şekilde olacak şekilde ayarlanmıştır.

Basma aparatının uç kısmı numuneye temas ettiği anda tüm veriler sıfırlanmıştır, yükleme hızı 5 mm/dk olacak şekilde ayarlandıktan sonra deneyler başlatılmıştır. Tüm numunelerde kırılma gerçekleşene kadar deneyler devam etmiş (Şekil 4.5.) ve deney grafiklerinin matlab programında çizilmesi için gerekli data dosyaları alınmıştır.

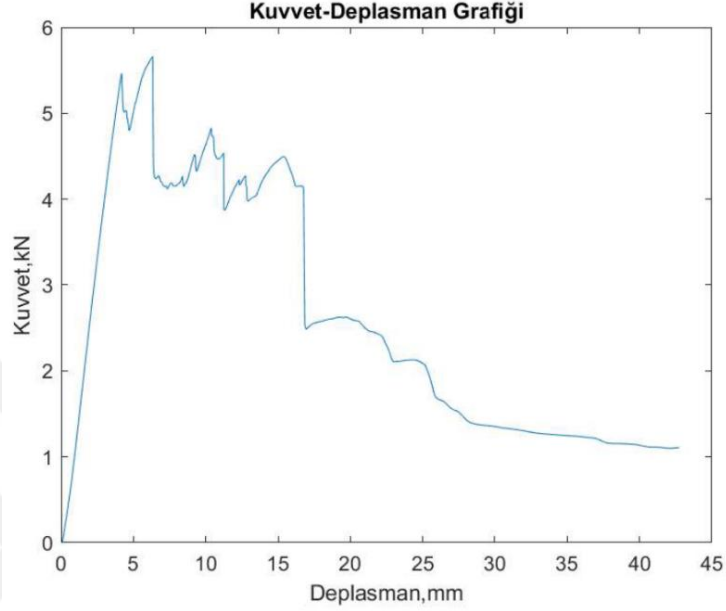


Şekil 4.5. Basma deneyi yapılan U profil ve köşebent profil numunesi

5. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

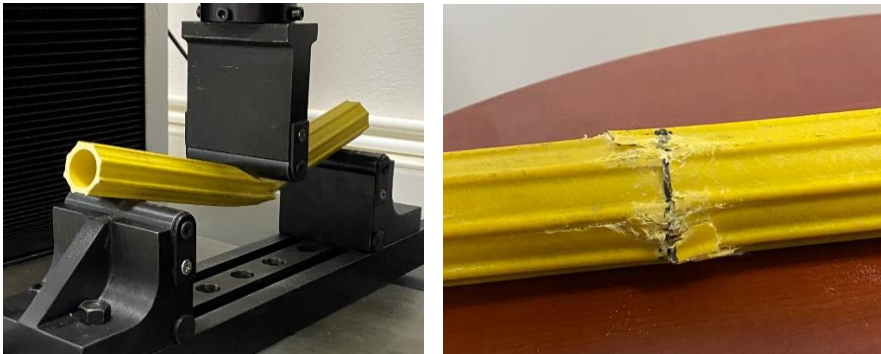
5.1. Eğilme Deneyi Sonuçları

5.1.1. Kesit alanı 330 mm² Olan CTP profillerin eğilme deneyi sonuçları

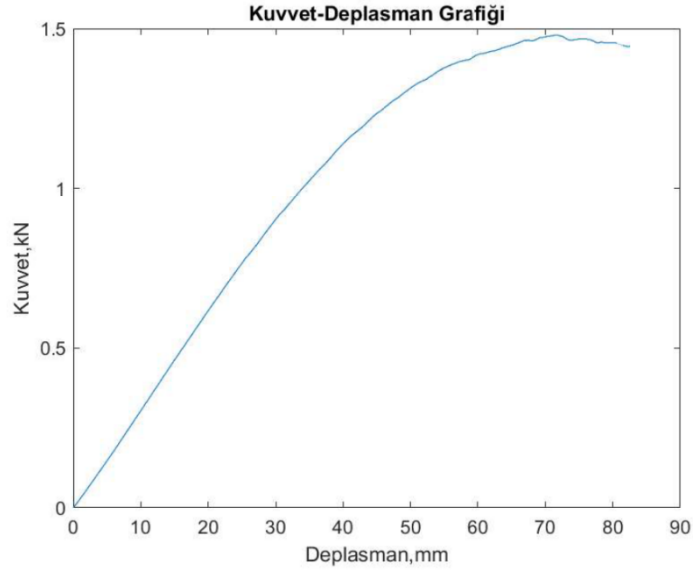


Şekil 5.1. 330 mm² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 5.1. de dairesel kesitli profilin özel bir şekli olan bu profil çeşidi (tırtıklı dairesel kesitli profil) Eğilme deneyine tabi tutulduğunda yüksek bir eğilme performansı göstermiş daha sonra kesit-et kalınlığında meydana gelen yüzeysel lif kırılmalarıyla deformasyona uğrayarak 4 kN'a kadar düşen dayanım özel profil şekli özelliğinden dolayı mukavemetini muhafaza ederek 15 mm eğilmeye dayanmış ve daha sonra tamamen tahrip olmuştur (Şekil 5.2.). Malzemenin mukavemet açısından dayanımı ilk lif kırılmalarında önemlidir ve bu değerler dayanım değeri olarak alınmalıdır.

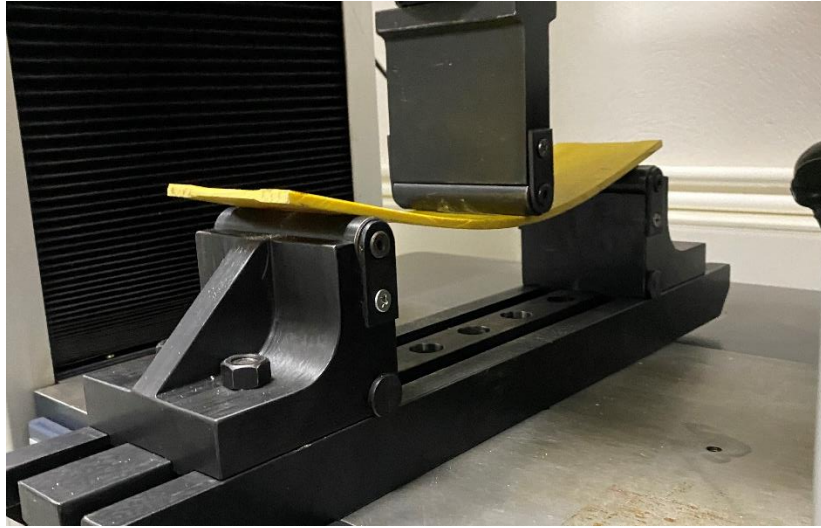


Şekil 5.2. 330 mm² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil numunesi eğilme deneyi

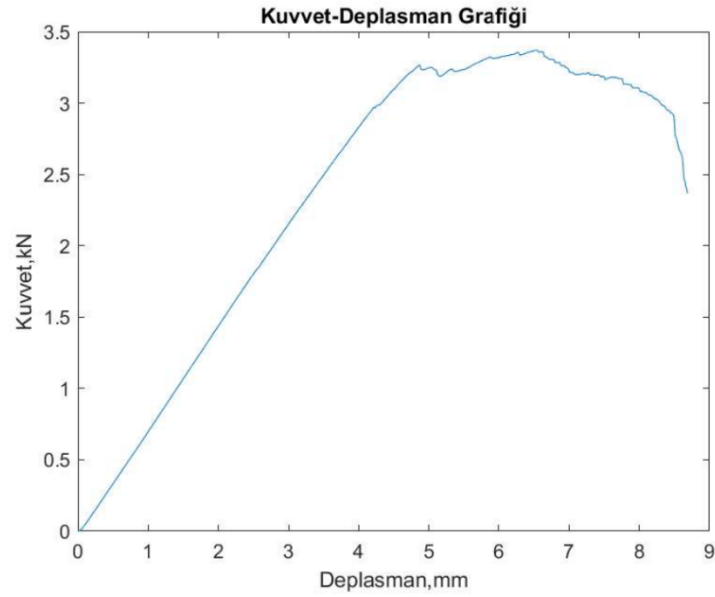


Şekil 5.3. 330 mm² kesit alanlı I profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu kesitimiz atalet momenti olarak çok farklı ölçülere sahip olduğundan yani kalınlığı yüksekliğine göre çok ince olduğundan çok düşük kuvvetlerde çok yüksek deplasman aralığında tahrip olmuştur (Şekil 5.3.). Eğilmeye son derece dayanıksız olmakla beraber (Şekil 5.4.) yüksek atalet momentinin olduğu ekseninde çok yüksek eğilme kuvvetlerine ulaşacağı açıktır.

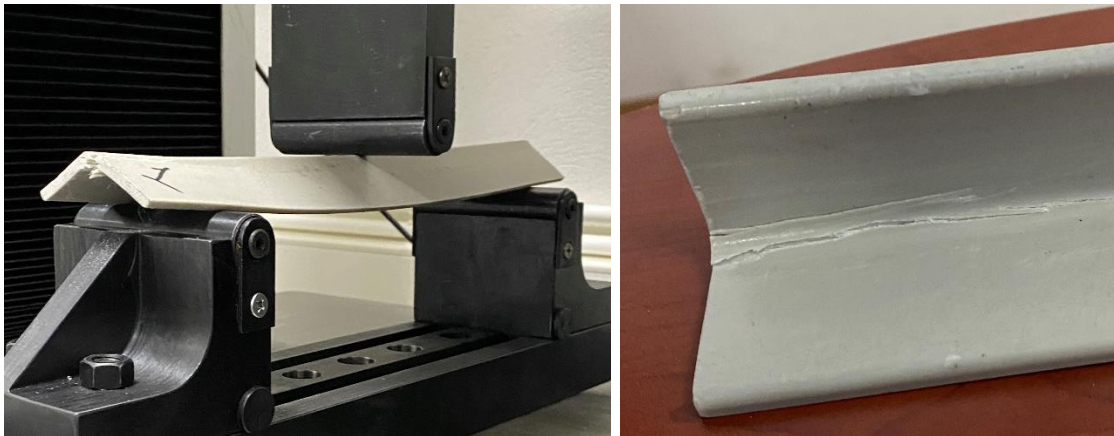


Şekil 5.4. 330 mm² kesit alanlı I profil numunesi eğilme deneyi

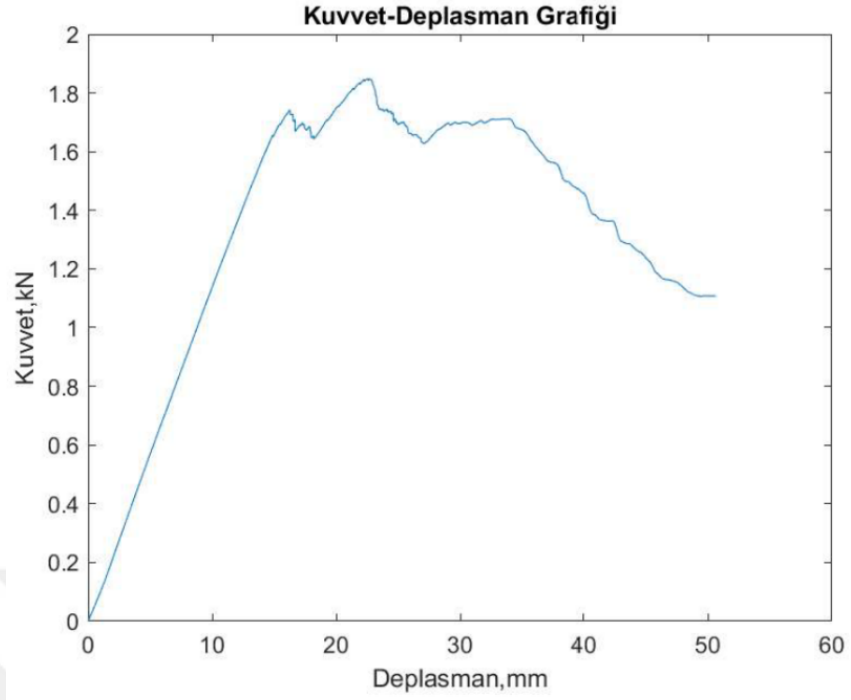


Şekil 5.5. 330 mm² kesit alanlı köşebent profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Köşebent profil çok kullanılan yapısal bir geometridir. Bu profilde önemli olan malzemenin kesit yoğunluğunun olduğu noktadan yüklenmesi esastır, bu şekilde yaptığımız deneyde malzeme 3.5 kN'luk bir kuvvete ve 4 mm deplasmana ulaşmıştır (Şekil 5.5), grafikten de görüleceği üzere bu değerlerden sonra köşebent kenarları orta noktadan lif ayrılması ve kesit değişimi yoluyla deformasyona uğramıştır (Şekil 5.6.). Bu kesit ancak bu şekliyle kullanıldığında en yüksek eğilme mukavemetine ve en düşük deplasman değerine sahip olacaktır.

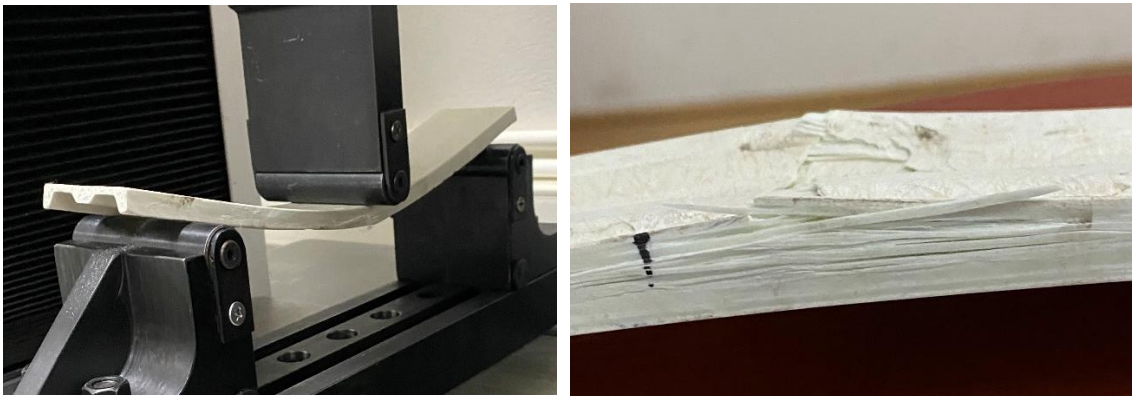


Şekil 5.6. 330 mm² kesit alanlı köşebent profil numunesi eğilme deneyi

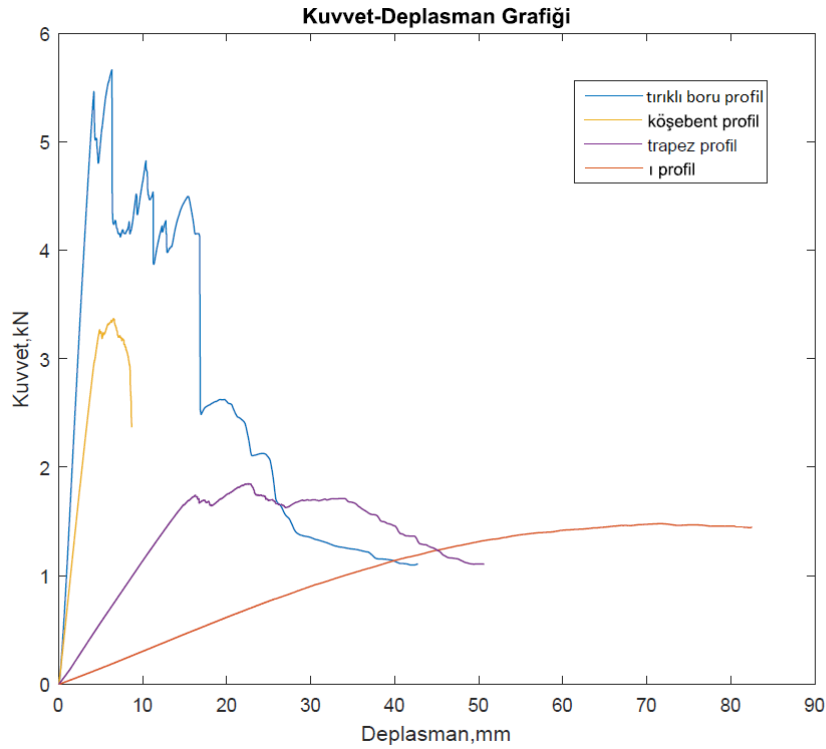


Şekil 5.7. 330 mm² kesit alanlı trapez profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu profil çeşidi trapezin açık uçları destek tarafına getirilerek eğilme deneyine tabi tutulmuş trapezi oluşturan kesitlerdeki çekmeden dolayı lif kopmaları ile 1.7 kN'luk bir eğilme mukavemetine dayanmış ilk etapta 10 mm'lik bir eğilme elastikiyeti sağlanmış (Şekil 5.7.) ilk liflerin kopmasıyla malzeme deformasyona uğramıştır. İlk lif kopmaları trapezin açık uçlarında meydana gelmiştir (Şekil 5.8.).



Şekil 5.8. 330 mm² kesit alanlı trapez profil numunesi eğilme deneyi



Şekil 5.9. 330 mm² kesit alanlı profillerin eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi

330 mm² kesit alanlı profillerin eğilme mukavemeti kuvvet-deplasman grafiği incelendiğinde (Şekil 5.9.) iki kategori gözümüze çarpmaktadır, boru ve köşebent profiller ayrı değerlendirilmeli, I ve trapez profiller ayrı değerlendirilmelidir. Burada önemli olan düşük deplasman ve yüksek eğilme kuvvetleridir. Bu açıdan bakıldığında konstrüksiyon ve maliyet açısından mümkünse birinci kategoride dairesel kesitli profil kullanımı, ikinci kategoride ise trapez profil kullanımı eğilme mukavemeti açısından bilimsel bir gerekliliktir.

Çizelge 5.1. 330 mm² kesit alanlı profillerin atalet momenti çizelgesi

	I_x (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	I_{xy} (mm ⁴)	I_{max} (mm ⁴)	I_{min} (mm ⁴)
I Profil	235340	470	0	235340	470
Dairesel kesitli profil	36380	36380	0	36380	36380
Trapez Profil	2900	135510	0	135510	2290
Köşebent Profil	39430	39430	23580	63010	15850

Çizelge 5.1. de Asal atalet momentleri incelendiğinde profil kesitlerine göre yüksek I_{max} değerinin olduğu yönlerde yükleme yapılması kesit geometrisi açısından önemlidir, keza dairesel kesitli profilde dengeli I_{max} I_{min} değerleri dairesel kesitlerin

eğilme mukavemetinde tercih sebebi olduğunu göz önüne sermektedir. Burada maliyet unsuru mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Çizelge 5.2. 330 mm² kesit alanlı profillerin eğilme kuvveti/deplasman oranı çizelgesi

	Eğilme Kuvveti (N)	Deplasman (mm)	Eğilme Kuvveti/Deplasman Oranı (N/mm)
I Profil	1500	71.9	20.86
Trapez Profil	1800	22.6	79.64
Köşebent Profil	3400	6.5	523.07
Dairesel kesitli profil	5600	6.3	888.88

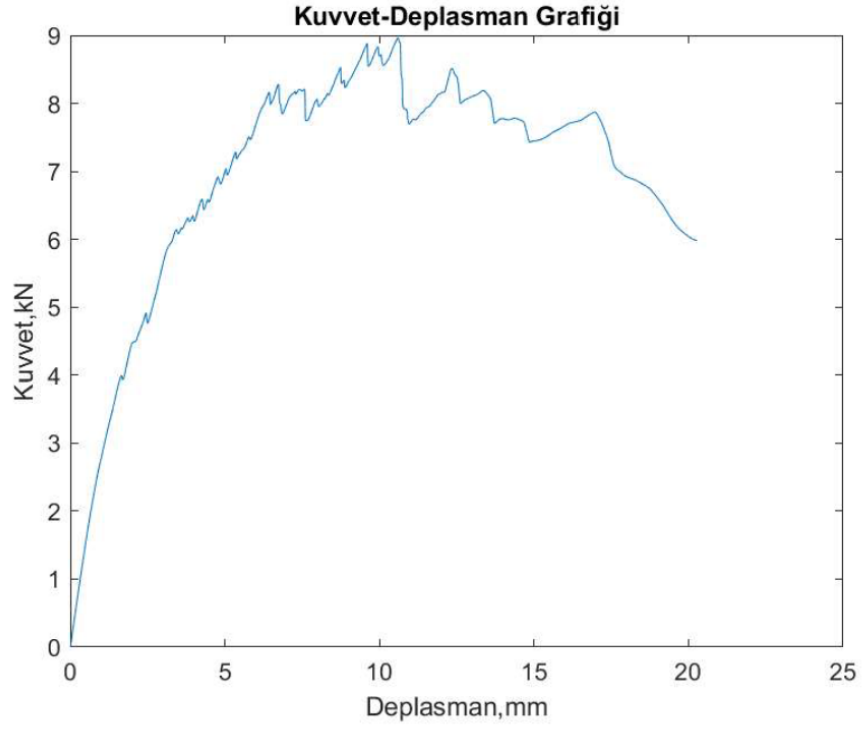
Çizelge 5.2. de görüldüğü gibi her mm deplasman başına gerekli olan en yüksek kuvvetler öncelikle dairesel kesitli profilde daha sonra köşebent profildedir. Dolayısıyla konstrüksiyon gereklilikleri ve maliyet dikkate alınarak ilk etapta dairesel kesitli profil daha sonra köşebent profil kullanılması eğilme mukavemeti açısından gereklidir.

Çizelge 5.3. 330 mm² kesit alanlı CTP ve demir profillerin fiyat, ağırlık çizelgesi

	CTP profil fiyatı (TL/m)	Metal profil fiyatı (TL/m)	CTP profil ağırlık (Kg/m)	Demir profil ağırlık (Kg/m)
I Profil	35	50	0.5	2.6
Tırtıklı dairesel kesitli profil	50	65	0.5	2.6
Trapez Profil	60	125	0.5	2.6
Köşebent Profil	40	110	0.5	2.6

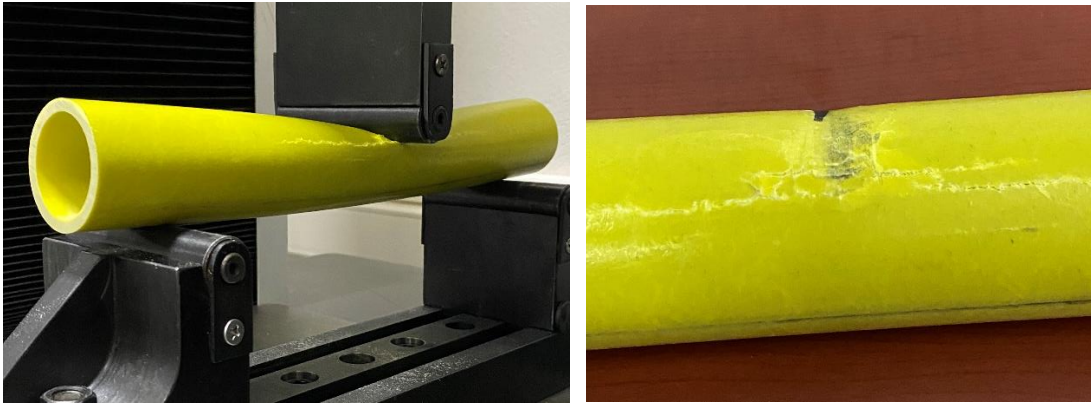
Çizelge 5.3. de görüldüğü gibi CTP profiller fiyat ve ağırlık yönünden metallere karşı çok avantajlıdır. Mukavemet açısından dairesel kesitli profil eğilme ve basmaya karşı göstermiş olduğu dayanımla öne çıkmıştır bunun yanında maliyet ve kullanılabilirlik açısından göze alındığında bu grupta en uygun kesit geometrisi dairesel kesitli profil olarak görülmektedir.

5.1.2. Kesit alanı 700 mm² olan CTP profillerin eğilme deneyi sonuçları

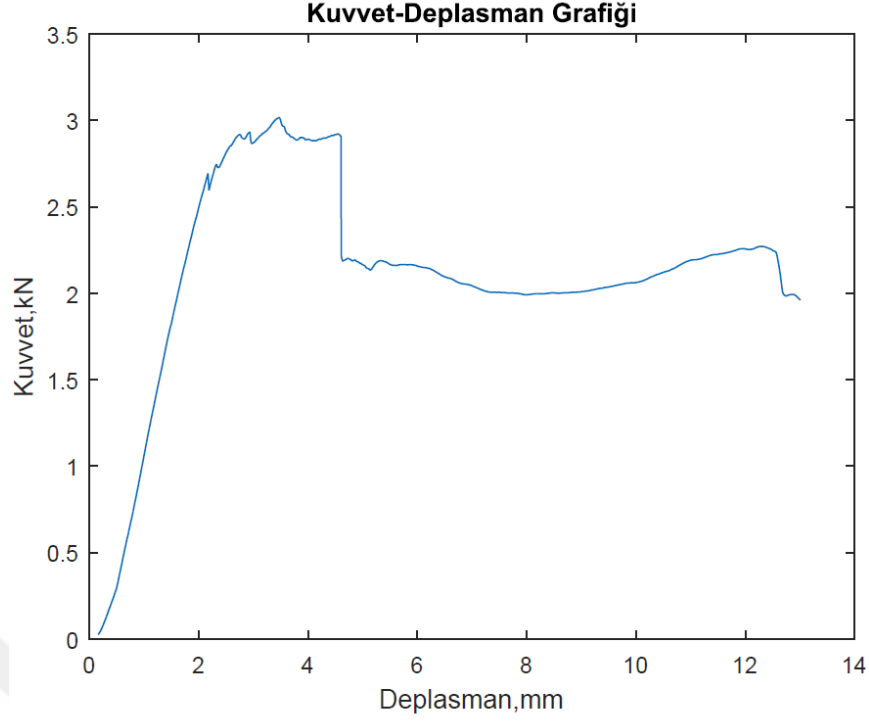


Şekil 5.10. 700 mm² kesit alanlı dairesel kesitli profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

5 mm et kalınlığına sahip dairesel kesitli profil geometrik özelliğinden dolayı yüksek eğilme mukavemetine ve düşük deplasman oranlarına sahiptir. İlk yüzeysel lif kırılmalarından sonra 8 kN'luk bir eğilme mukavemetine dayanmış (Şekil 5.10.) daha sonra ciddi tahribata uğrayarak deforme olmuştur (Şekil5.11.).



Şekil 5.11. 700 mm² kesit alanlı dairesel kesitli profil numunesi eğilme deneyi

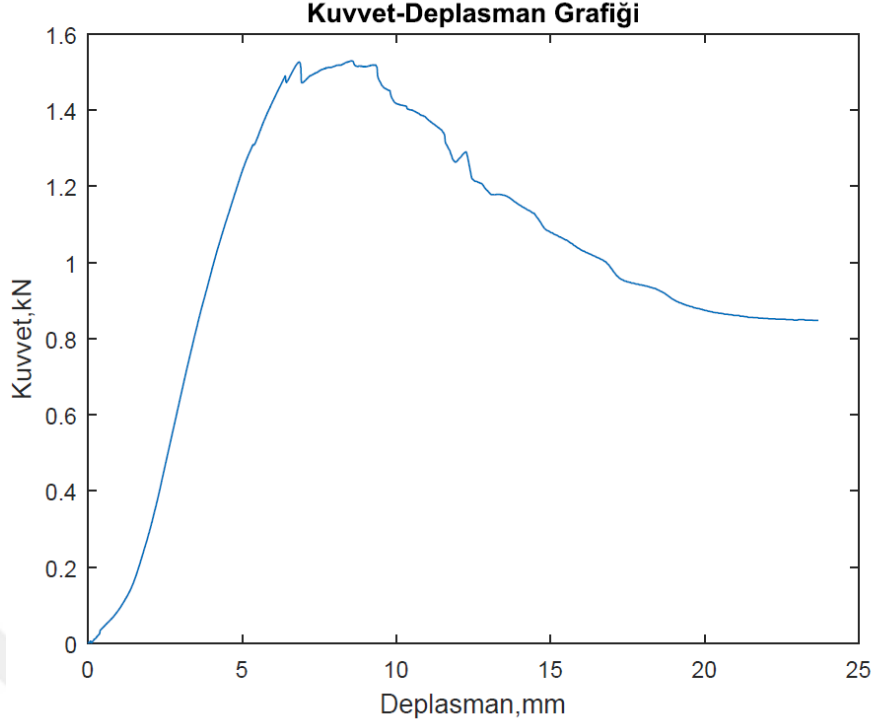


Şekil 5.12. 700 mm² kesit alanlı köşebent profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu profil kesit yoğunluğunun fazla olduğu sırt bölgesinden eğilme deneyine tabi tutulmuş 2.5 kN civarında (Şekil 5.12.) ilk deformasyonlar sırt bölgesindeki kesit yoğunluğunun olduğu yerde delaminasyon şeklinde lif ayrılmalarıyla kendini göstermiştir ve malzeme çok yüksek deplasman göstermeden tahrip olmuştur (Şekil 5.13.).

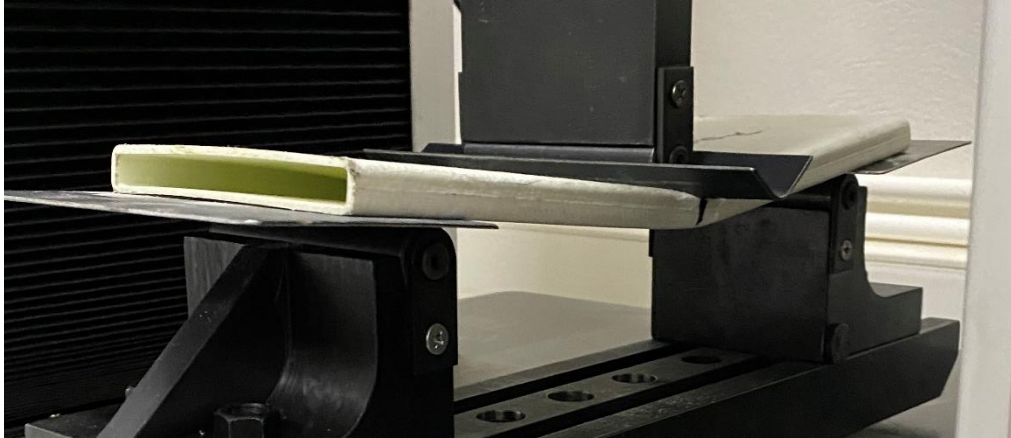


Şekil 5.13. 700 mm² kesit alanlı köşebent profil numunesi eğilme deneyi

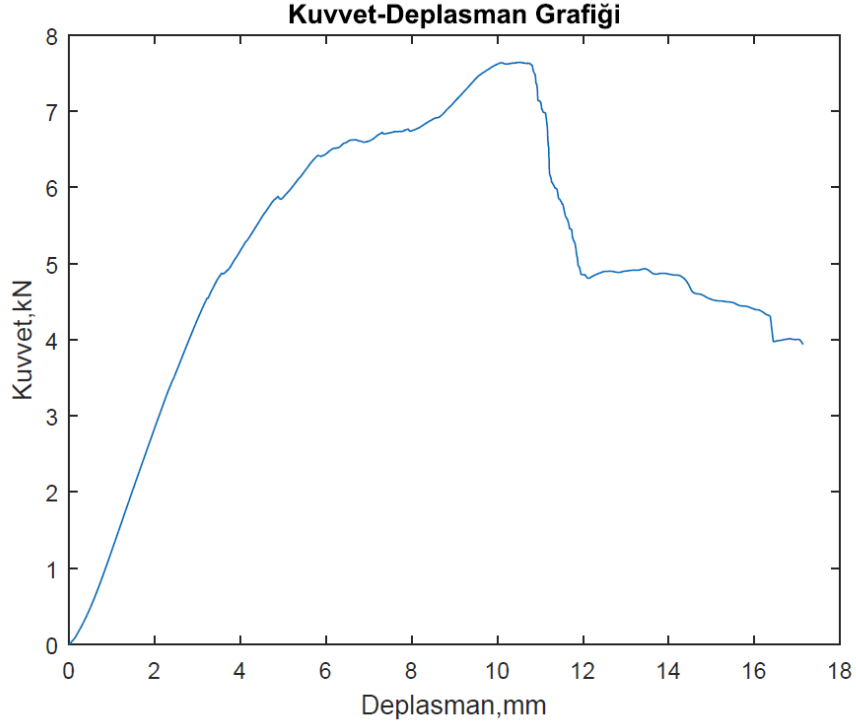


Şekil 5.14. 700 mm² kesit alanlı kutu profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu profil asal atalet momentleri açısından oldukça farklı seçilmiş bir profil çeşididir (Şekil 5.15.). Eğilme dayanımı grafikte görüldüğü gibi oldukça düşük (1.5 kN) bu değere göre deplasmanı oldukça yüksektir (Şekil 5.14.). Kesitten de anlaşılacağı üzere yatay olarak değil dikey olarak kullanılması ile yüksek eğilme mukavemeti ve düşük deplasman oranına sahip olacaktır.

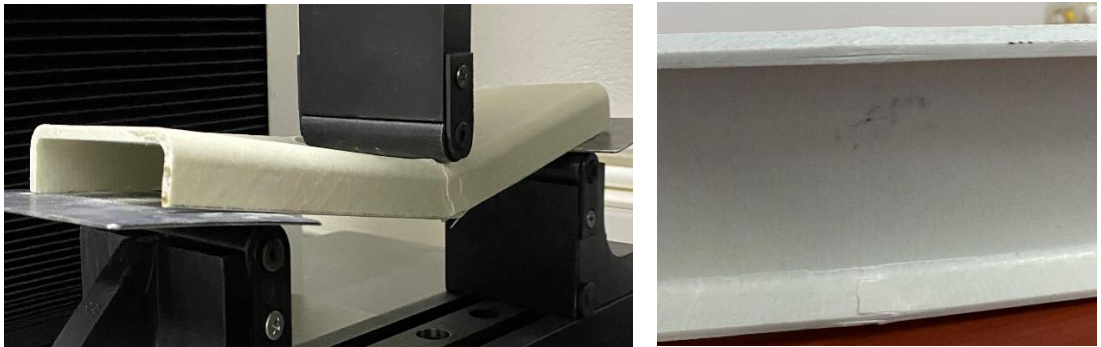


Şekil 5.15. 700 mm² kesit alanlı kutu profil numunesi eğilme deneyi

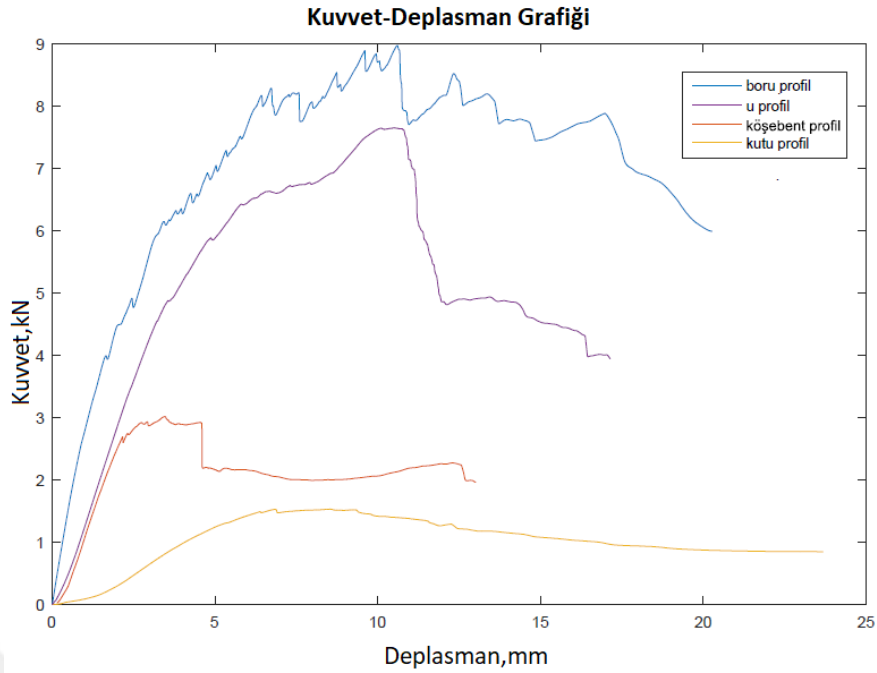


Şekil 5.16. 700 mm² kesit alanlı U profil eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği

U profiller geometrileri gereği yüksek eğilme dayanımı ve düşük deplasman değerlerine sahiptir. Yapılan deneyde yaklaşık 5-6 kN civarında ve 4 mm deplasmanda (Şekil 5.16.) kesit sürekliliğinin değiştii noktalarda aksel lif ayrılmaları U kesitin açık uçlarında kuvvet tatbik noktası civarında lif kopmaları ve delaminasyon benzeri tabakasal ayrışmalar ile deformasyona uğramıştır (Şekil 5.17.).



Şekil 5.17. 700 mm² kesit alanlı U profil numunesi eğilme deneyi



Şekil 5.18. 700 mm² kesit alanlı profillerin eğilme deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi

Aynen 330 mm² kesit alanlı profillerde olduğu gibi birleşik grafikte 2 kategori görülmektedir. Boru ve U profiller hemen hemen aynı deplasman aralığında yakın eğilme kuvvetleri taşımaktadırlar (Şekil 5.18.). Her iki profilde de ilk kırılmalar yüzeysel ve malzeme sürekliliğinin bozulduğu alanlarda ve kuvvet tatbik ucunun geometrisine göre oluşmuştur. Köşebent profilde nispeten yüksek eğilme mukavemeti düşük deformasyon oranı ve kesit yoğunluğu olan sırt bölgesinde tabakasal ayrılmalar şeklinde deformasyon gözükmüş, kutu profilde ise kesitin yatay ekseninde fazla esnemesinden dolayı uygulanan kuvvet düşmüş deplasman artmıştır. Yaklaşık 15 kN civarında ve 7 mm gibi yüksek deplasman oranında lif ayrılması ve kopması şeklinde deformasyon kendini göstermiştir.

Çizelge 5.4. 700 mm² kesit alanlı profillerin atalet momenti çizelgesi

	I_x (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	I_{xy} (mm ⁴)	I_{max} (mm ⁴)	I_{min} (mm ⁴)
Dairesel kesitli profil	181130	181130	0	181130	181130
Kutu Profil	1090410	30050	0	1090410	30050
U Profil	868330	30030	0	868330	30030
Köşebent Profil	257090	257090	154720	411810	102370

Çizelge 5.4.'den de anlaşılacağı üzere asal atalet değeri yüksek olan (I_{max}) yönlerde profillerin kullanımı çok daha uygun olacaktır.

Çizelge 5.5. 700 mm² kesit alanlı profillerin eğilme kuvveti/deplasman oranı çizelgesi

	Eğilme Kuvveti (N)	Deplasman (mm)	Eğilme kuvveti/Deplasman Oranı (N/mm)
Kutu Profil	1500	6.9	217.39
U Profil	7800	10	780
Dairesel kesitli profil	8900	10	890
Köşebent Profil	3100	2.8	1107.14

Çizelge 5.5. de görüldüğü gibi eğilme kuvveti açısından her mm deplasman başına gerekli eğilme kuvveti köşebent, dairese kesitli profilde ve U profilde çok az farklarla birbirine yakındır. Konstrüksiyon ve maliyet açısından bu profillerden birisi seçilebilir.

330 mm² kesit alanlı profiller ile 700 mm² kesit alanlı profiller karşılaştırıldığında köşebent ve dairese kesitli profil açısından kesit alanları dolayısıyla et kalınlıklarının artmasıyla eğilme mukavemeti aynı deney parametreleri kullanılmasına rağmen artmıştır. Özellikle köşebent profilde bu fark ilginç bir şekilde kesit alanının iki kat artmasıyla neredeyse eş değer olarak iki kat artmıştır. 330 mm² ve 700 mm² dairese kesitli profil kesit geometrileri tıpatıp aynı olmamakla beraber eğilme mukavemeti/deplasman oranlarında ciddi bir değişiklik olmamıştır.

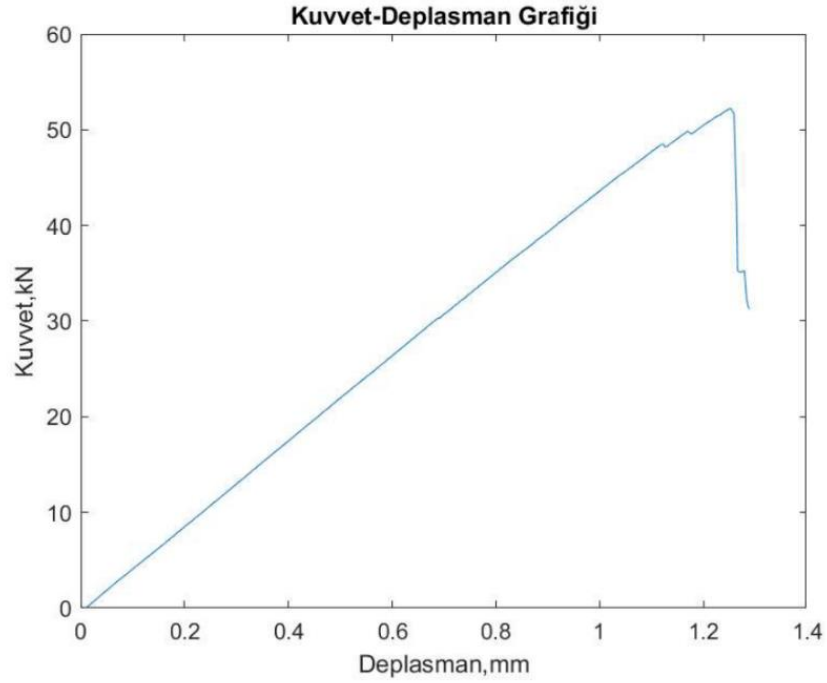
Çizelge 5.6. 700 mm² kesit alanlı CTP ve demir profillerin fiyat, ağırlık çizelgesi

	CTP profil fiyatı (TL/M)	Metal profil fiyatı (TL/M)	CTP profil ağırlık (Kg/M)	Demir profil ağırlık (Kg/M)
Dairesel kesitli profil	108	125	1	5.4
Kutu Profil	99	120	1	5.4
U Profil	125	130	1	5.4
Köşebent Profil	60	90	1	5.4

700 mm² kesit alanlı CTP profiller çizelge 5.6. da görüldüğü gibi maliyet açısından da demir profillere oranla daha uygundur. Maliyet uygunluğunun yanında ağırlık olarak ta yaklaşık 5/1 oranında daha hafif olan CTP profiller mukavemet, fiyat ve ağırlık kıyaslaması yapılırsa metaller'e oranla oldukça caziptir.

5.2. Basma Deneyi Sonuçları

5.2.1. Kesit alanı 330 mm^2 olan CTP profillerin basma deneyi sonuçları

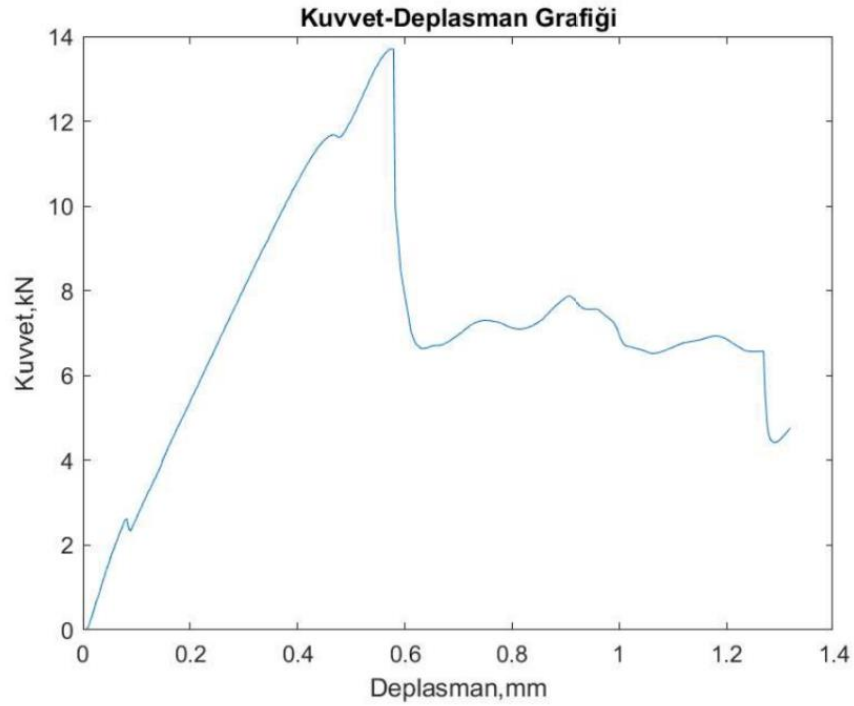


Şekil 5.19. 330 mm^2 kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu profil çeşidi tırtıklı olduğundan ve kompozit malzemelerde malzeme sürekliliği sağlandığı için tırtık kenarlarında etkisyle yüksek basma mukavemeti ve düşük deplasmanda (Şekil 5.19.) tahrip olmuştur (Şekil 5.20.).

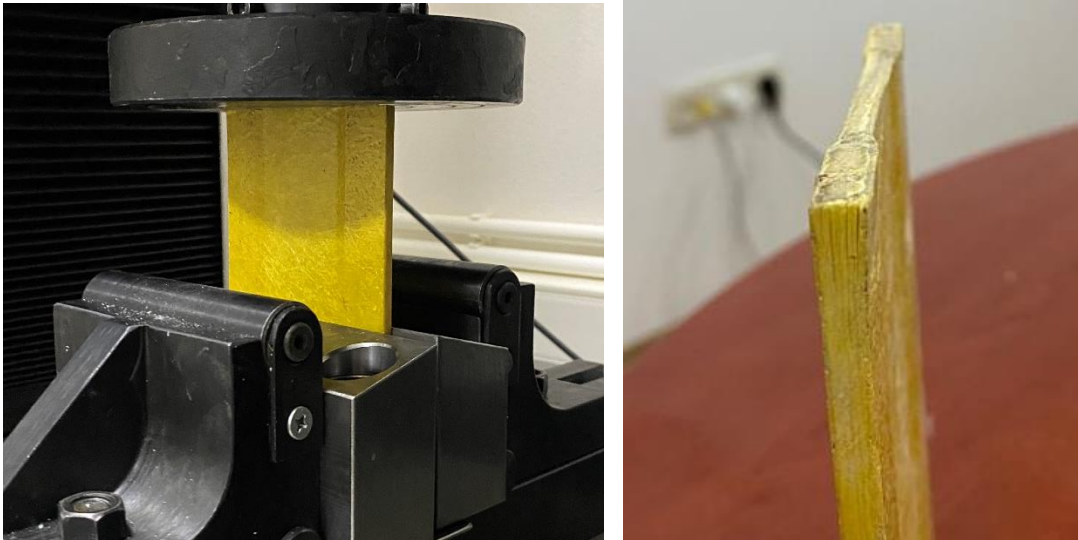


Şekil 5.20. 330 mm^2 kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil numunesi basma deneyi

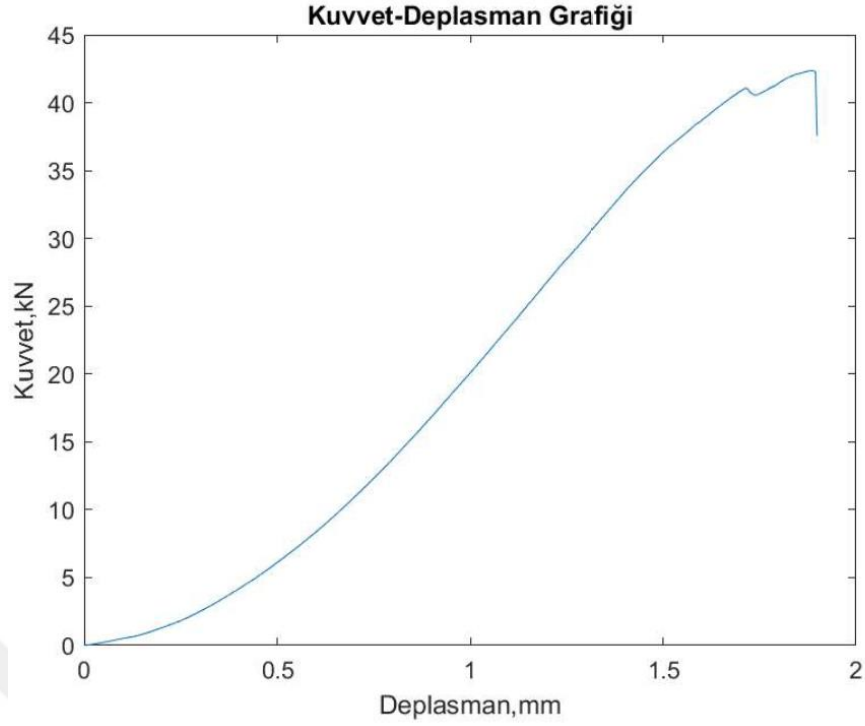


Şekil 5.21. 330 mm² kesit alanlı I profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

I profil çene etkisiyle 2 kN civarında matris/fiber ayrılmasından sonra düşük deplasman değerlerinde 12 kN civarında bir değere (Şekil 5.21.) ulaşarak kenarlardan başlayan lif ayrılmasına maruz kalmış ve 14 kN civarında kesit yüzeyi tamamen tahrip olmuştur (Şekil 5.22.).

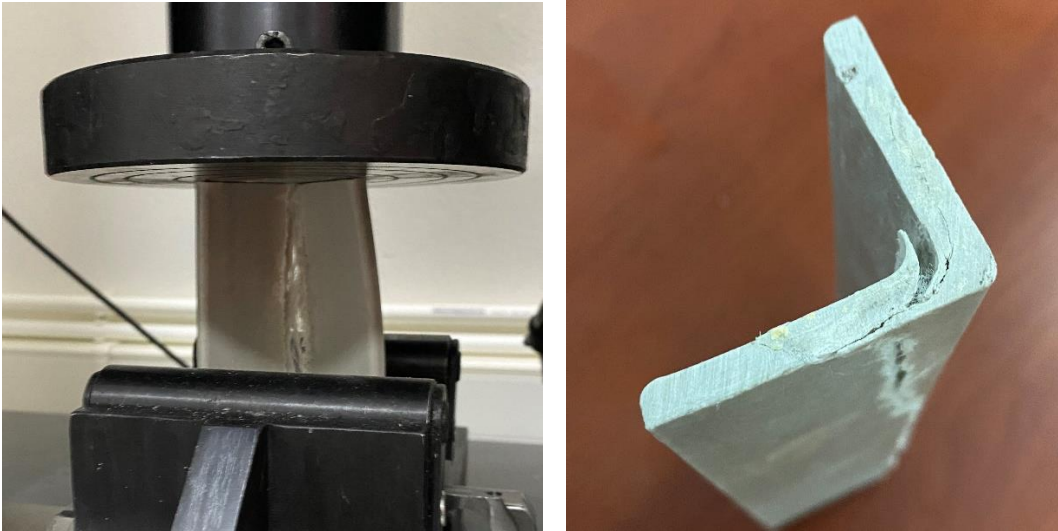


Şekil 5.22. 330 mm² kesit alanlı I profil numunesi basma deneyi

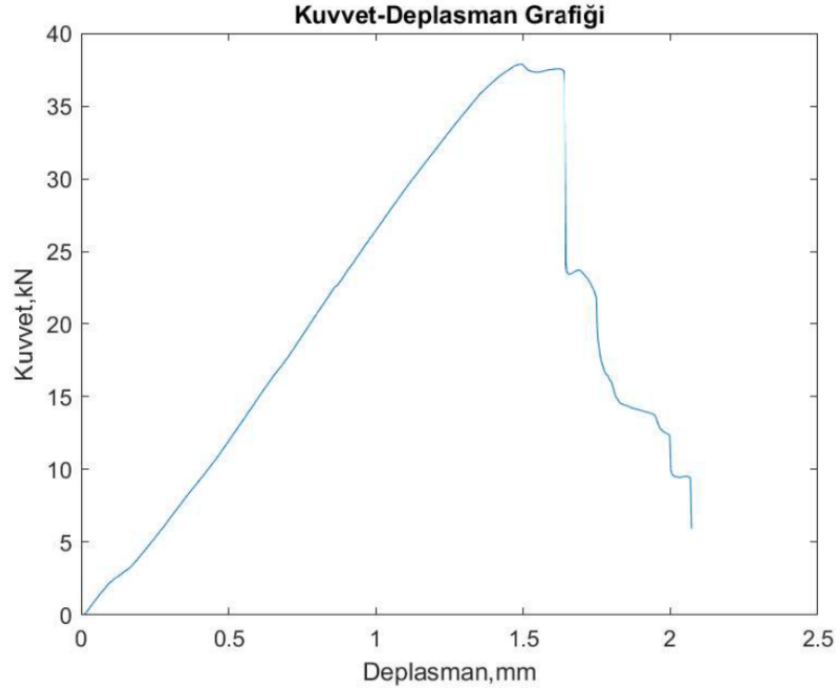


Şekil 5.23. 330 mm² kesit alanlı köşebent profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Köşebent profil basma kuvveti uygulandığında kısmen burkulmaya uğramış (Şekil 5.23.) daha sonra oldukça düşük deplasman aralığında yüksek basma mukavemeti göstermiş kesit yoğunluğun olduğu orta bölgede aksenal lif ayrılması yoluyla tahrip olmuştur (Şekil 5.24.).

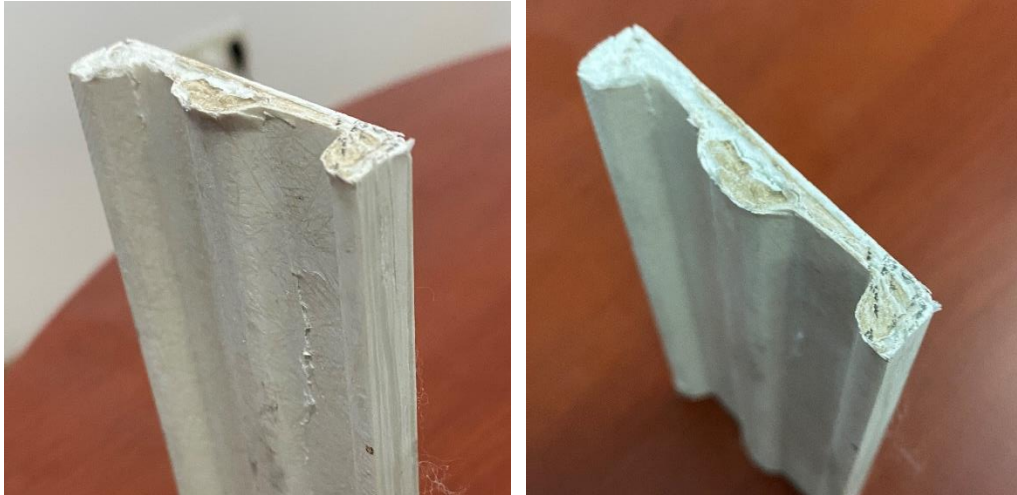


Şekil 5.24. 330 mm² kesit alanlı köşebent profil numunesi basma deneyi

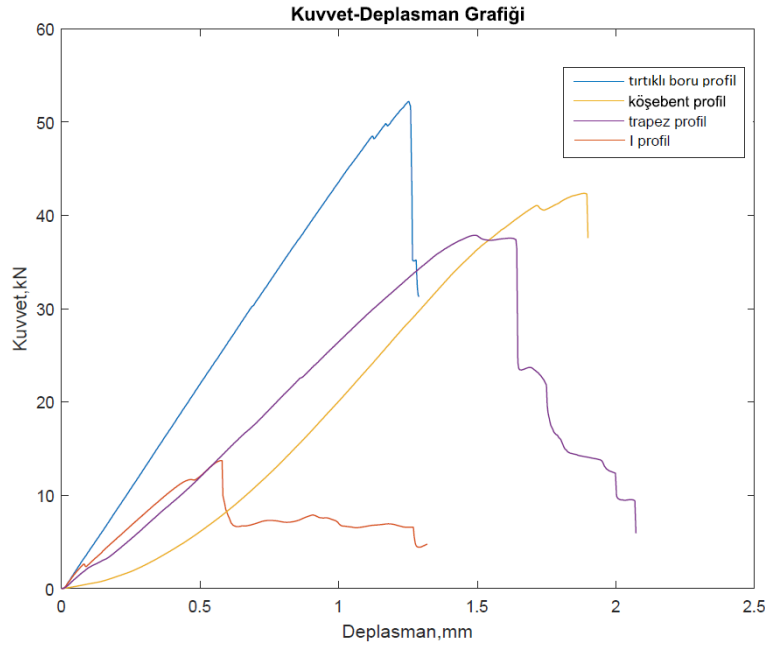


Şekil 5.25. 330 mm² kesit alanlı trapez profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Trapez kesit yüksek basma kuvvetine karşılık (Şekil 5.25.) özellikle orta bölgedeki kesit yoğunluğunun olduğu noktada yine aksenal yük ayrılması yoluyla deformasyona uğramıştır (Şekil 5.26.).



Şekil 5.26. 330 mm² kesit alanlı trapez profil numunesi basma deneyi



Şekil 5.27. 330 mm² kesit alanlı profillerin basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi

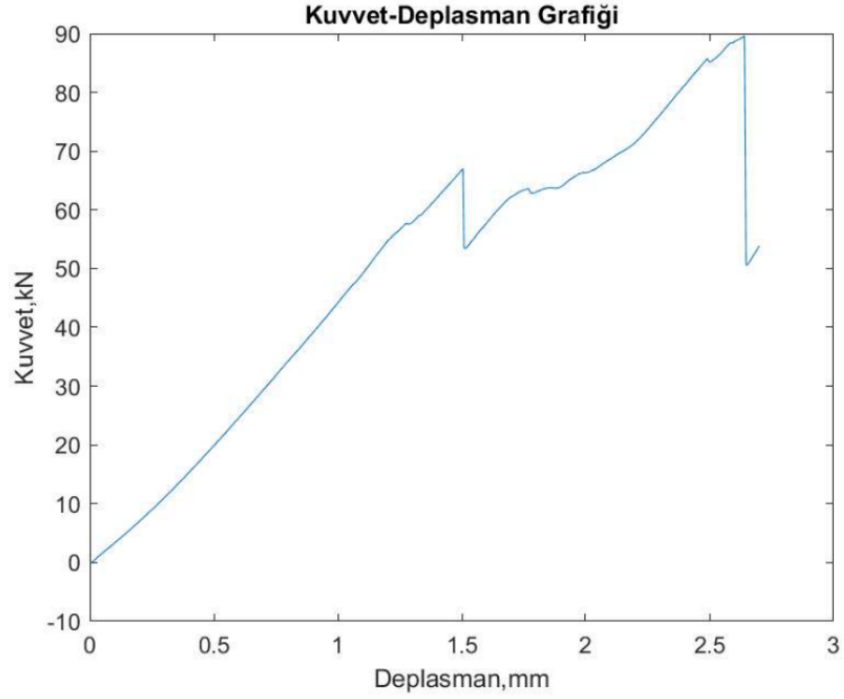
Basma deneyinde tırtıklı dairesel kesitli profil en yüksek basma mukavemeti en düşük deplasman oranına sahip olduğundan en ideal profil geometrisi olduğu söylenebilir. Daha sonra trapez profil trapez kenarlarının büyüklükleriyle orantılı olarak yüksek basma ve düşük deplasman değerlerine sahiptir. Köşebent profil kısmen burkulmaya uğramış gözükse de yine üçüncü tercih edeceğimiz profil geometrisidir (Şekil 5.27.). I profil ise çok düşük deplasman/basma kuvveti oranına sahip olduğundan ideal bir kesit geometrisi değildir.

Çizelge 5.7. 330 mm² kesit alanlı profillerin basma kuvveti/deplasman oranı çizelgesi

	Basma Kuvveti (N)	Deplasman (mm)	Basma kuvveti /Deplasman Oranı (N/mm)
Köşebent Profil	42300	1.8	23500
I Profil	13200	0.55	24000
Trapez Profil	37500	1.4	26780
Tırtıklı Dairesel kesitli profil	52300	1.25	41840

Çizelge 5.7. da görüldüğü gibi basma mukavemetleri açısından her mm deplasman başına gerekli basma kuvveti tırtıklı dairesel kesitli profilde çok yüksektir, konstrüksiyon ve maliyet gereklilikleri dikkate alınarak öncelikli tırtıklı dairesel kesitli profil seçilmelidir. Trapez profil ve I profilde ise oranlar çok yakındır ikinci seçenek olarak bu iki profilden birisi seçilebilir.

5.2.2. Kesit alanı 700 mm² olan CTP profillerin basma deneyi sonuçları

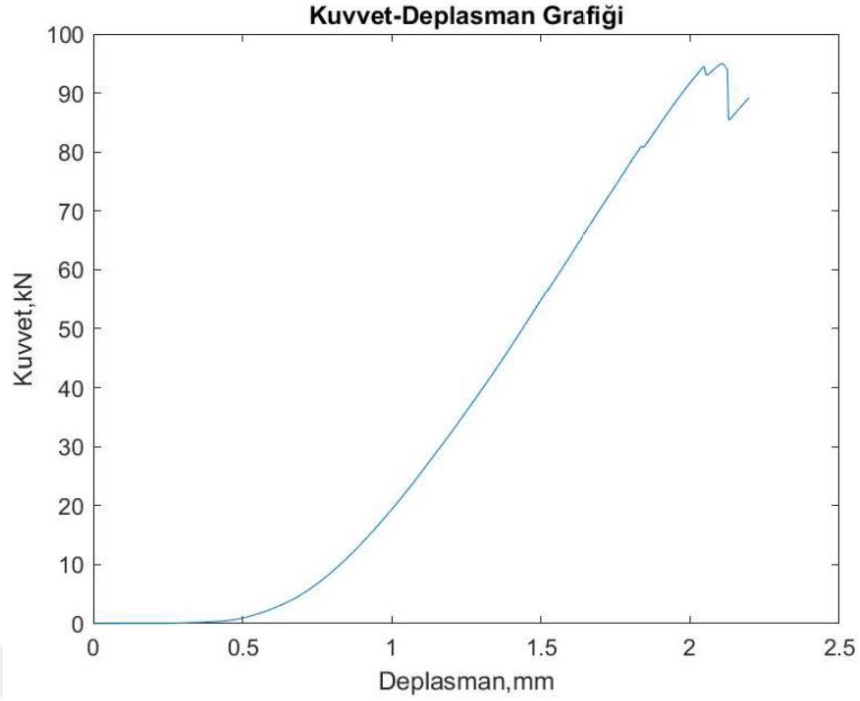


Şekil 5.28. 700 mm² kesit alanlı dairesel kesitli profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Yaklaşık 70 kN basma kuvveti civarında 1.5 mm gibi düşük bir deplasmanda (Şekil 5.28.) malzeme aksenal ve radyal lif ayrılması yoluyla deformasyona uğramıştır (Şekil 5.29.). Daha sonraki tahribatlar ve yüksek basma kuvvetleri lif ezilmelerinden kaynaklanan basma kuvvetleridir, mukavemetçe hiçbir önemi yoktur.

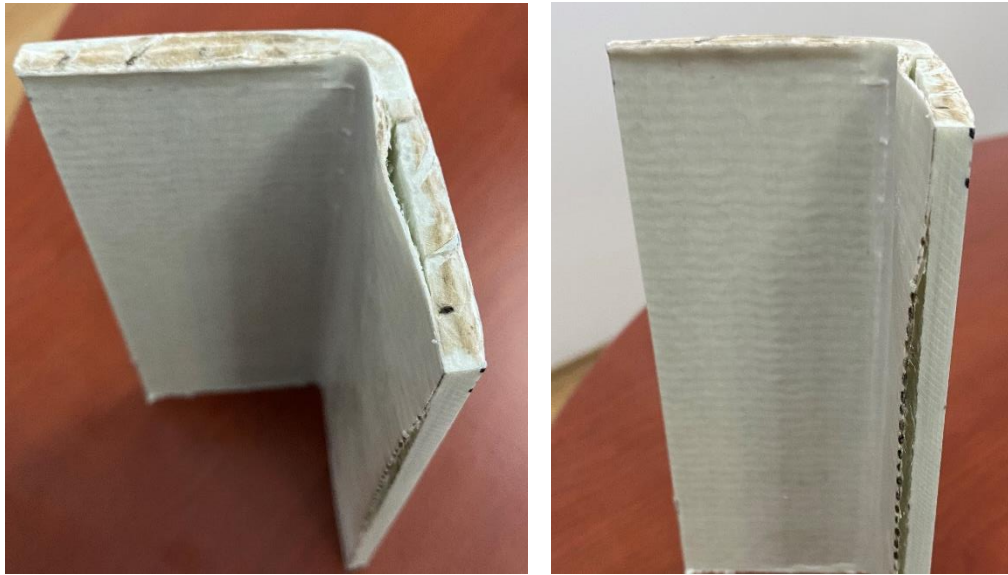


Şekil 5.29. 700 mm² kesit alanlı dairesel kesitli profil numunesi basma deneyi

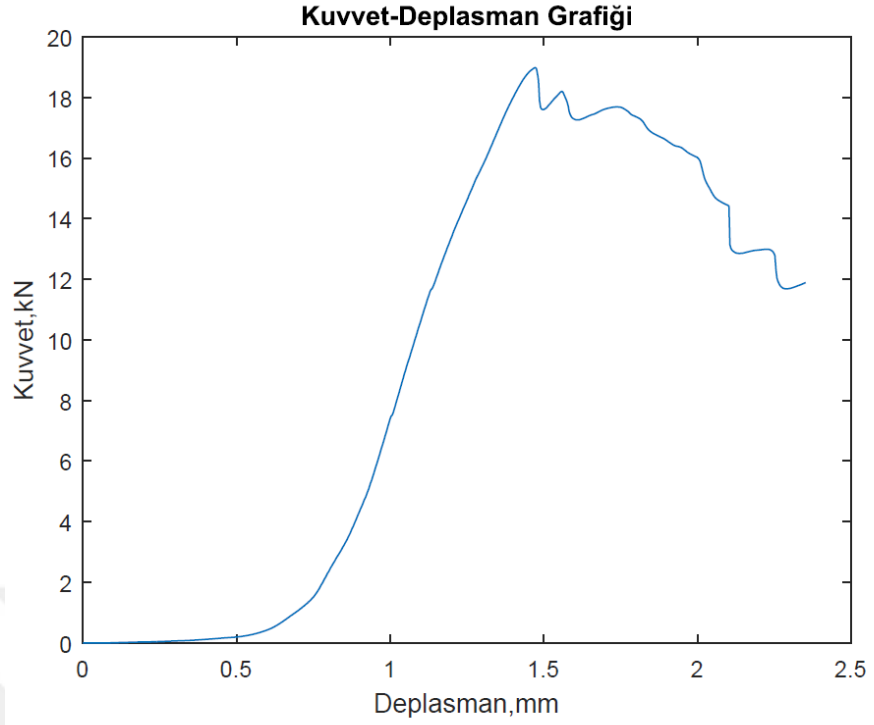


Şekil 5.30. 700 mm² kesit alanlı köşebent profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu deneyde malzeme kısmen burkulmaya uğramış (Şekil 5.30.) daha sonra özellikle kesit yoğunluğunun olduğu bölgenin katkısıyla yüksek basma kuvvetlerine ulaşmış ve düşük deplasman değerlerinde delaminasyon benzeri aksenal tabakasal lif ayrılması yoluyla tahrip olmuştur (Şekil 5.31.).

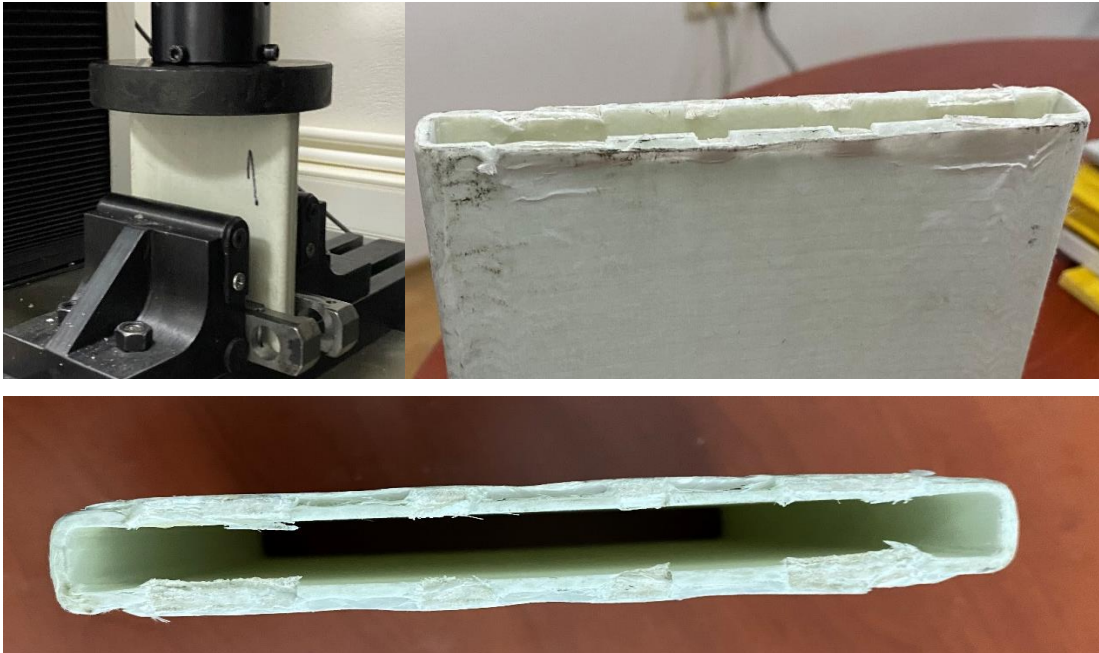


Şekil 5.31. 700 mm² kesit alanlı köşebent profil numunesi basma deneyi

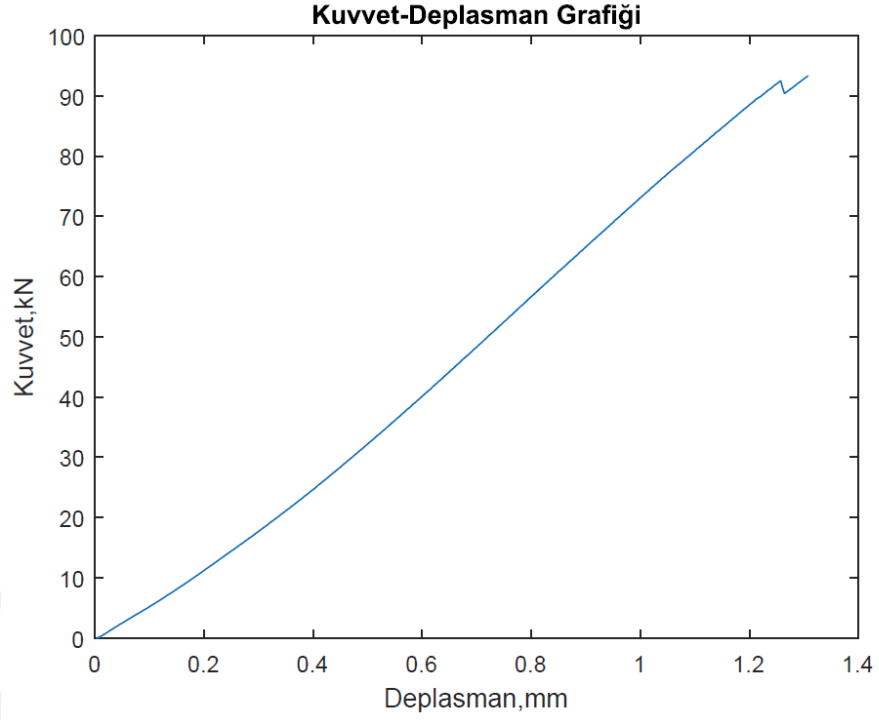


Şekil 5.32. 700 mm² kesit alanlı kutu profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

Bu kesitte çene etkisinden sonra malzeme deplasman/basma kuvveti oranı oldukça yüksek (Şekil 5.32.) şekilde aksenal lif ayrılması şeklinde tahribe uğramıştır (Şekil 5.33.).

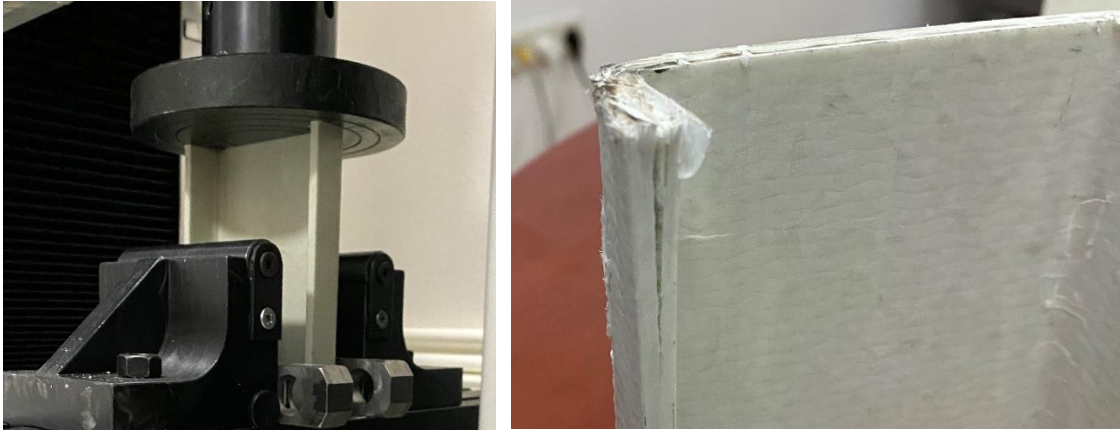


Şekil 5.33. 700 mm² kesit alanlı kutu profil numunesi basma deneyi

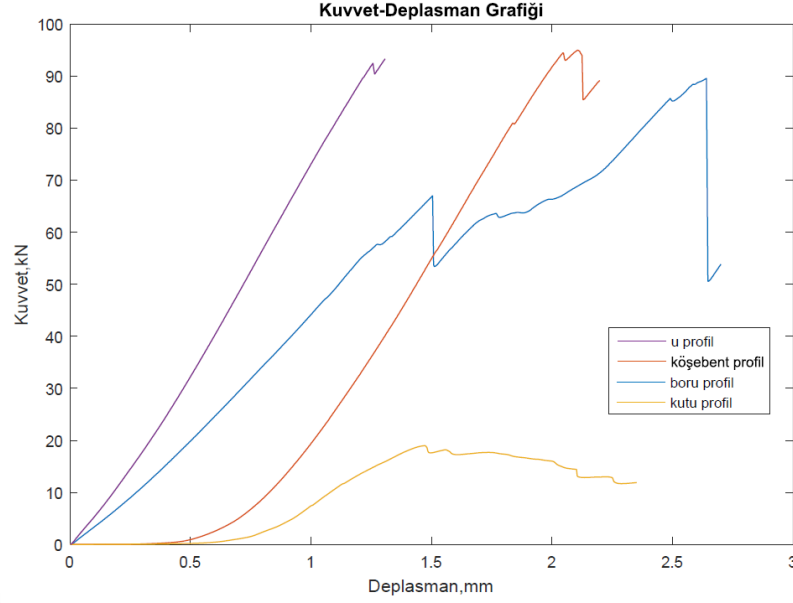


Şekil 5.34. 700 mm² kesit alanlı U profil basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği

U profilin kesit özelliğinden dolayı deplasman/basma kuvveti oranı oldukça düşüktür (Şekil 5.34.). Malzeme kesit süreksizliğinin bulunduğu açık uçlarından tabakasal lif ayrılması yoluyla tahrip olmuştur (Şekil 5.35.).



Şekil 5.35. 700 mm² kesit alanlı u profil numunesi basma deneyi



Şekil 5.36. 700 mm² kesit alanlı profillerin basma deneyi kuvvet-deplasman grafiği birleşimi

Şekil 5.36 incelendiğinde basma kuvveti en yüksek olan U profil ve köşebent profilin basma kuvvetleri en yüksek çıktığı ancak köşebent profilde kısmi burkulma ile birlikte basma kafasının geometrisinden kaynaklanan sert kesme kuvvetleri etkisiyle malzemenin basma kuvveti yükselmesine rağmen deplasmanın arttığı görülmektedir. Bu durumda en ideal profil geometrisi U profildir. Daha sonra köşebent profil gelir. Dairesel kesitli profil ise yüksek basma kuvvetine karşın daha düşük deplasman değeri verdiği için tercih edilebilir. Çalışmamızda seçilen kutu profil en ve genişlik oranları oldukça farklı seçildiğinden basma kuvvetleri açısından son derece dayanıksızdır.

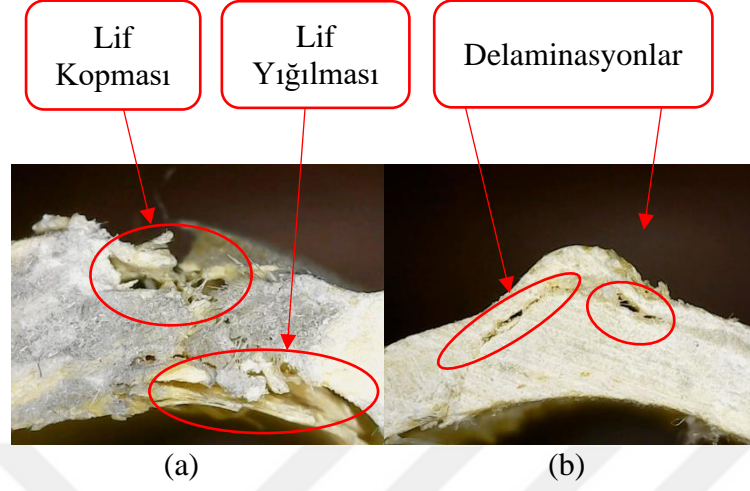
Çizelge 5.8. 700 mm² kesit alanlı profillerin basma kuvveti/deplasman oranı çizelgesi

	Basma Kuvveti (N)	Deplasman (mm)	Basma kuvveti/deplasman oranı (N/mm)
Kutu Profil	19100	1.4	13640
Köşebent Profil	94500	2.1	45000
Dairesel kesitli profil	68300	1.4	48780
U Profil	91300	1.3	70230

Çizelge 5.8. incelendiğinde her mm deplasman başına basma kuvveti en ideal profil U profildir. Boru ve köşebent profilin basma kuvveti/deplasman oranı birbirine çok yakın olduğundan konstrüksiyon ve maliyet açısından uygun ise tercih edilmesinde bir fark yoktur.

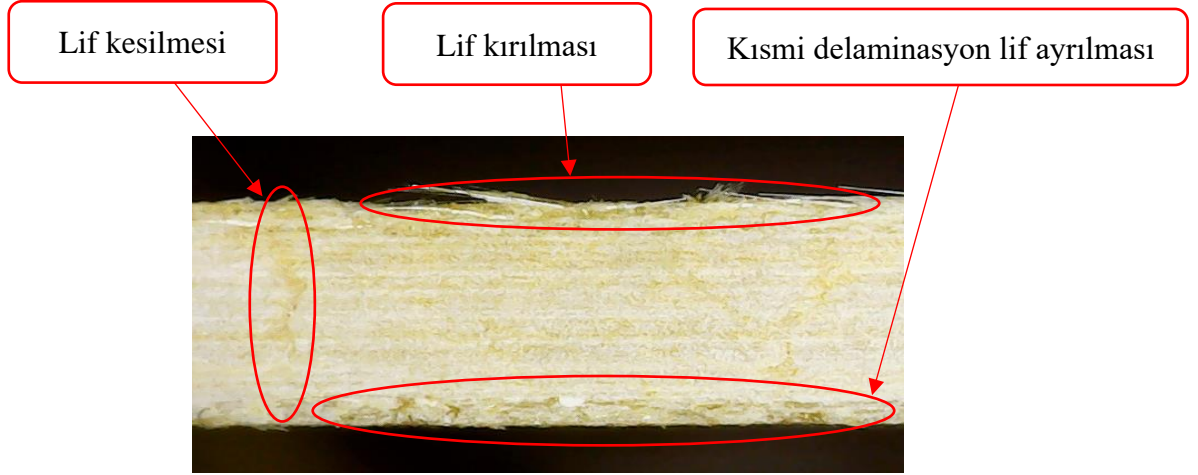
5.3. Eğilme Deneyi Hasar Bölgesi Mikroskop Görüntüleri

5.3.1. Kesit alanı 330 mm² olan CTP profillerin hasar görüntüleri



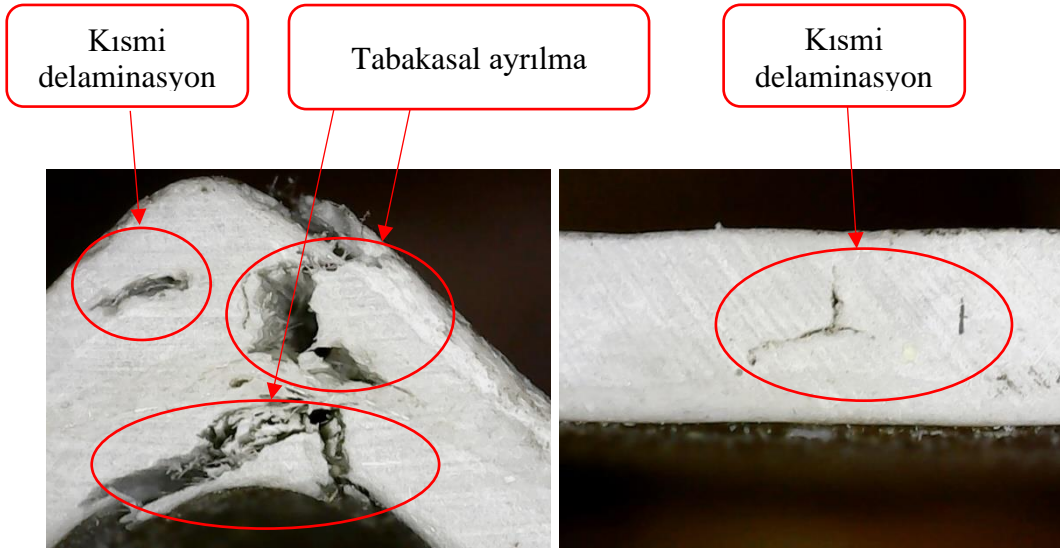
Şekil 5.37. 330 mm² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri

Şekil 5.37. (a) da görüldüğü gibi max. yükleme ile beraber çekme yönünde dış liflerde kopmalar meydana gelmiş, iç liflerde ise basma gerilmeleri dolayısıyla lif yığılması meydana gelmiştir. Şekil 5.37. (b) de geometrik olarak tırtık kesit yığılmasının olduğu noktalarda delaminasyonlar meydana gelmiştir.



Şekil 5.38. 330 mm² kesit alanlı I profil hasar görüntüleri

Şekil 5.38 de I profil de ise geniş yüzeyden eğilme gerilmesi uygulandığından kesit geometrisine bağlı olarak çekme yönünde lif kırılmaları, basma yönünde kısmi delaminasyonla birlikte lif yığılmaları yine malzemeden kaynaklı kayma gerilmesine bağlı olarak lif kesilmeleri meydana gelmiştir.



Şekil 5.39. 330 mm² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri

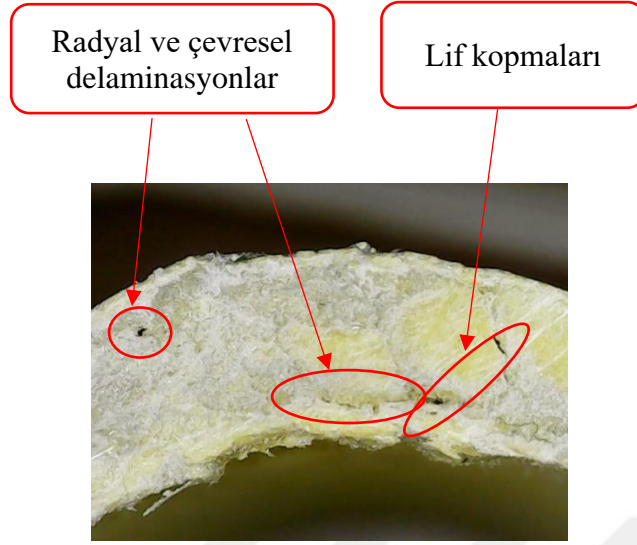
Köşebent profilde kesit yığılmasının en yoğun olduğu bölgelerde eğilme gerilmesi yönünden bağlı olarak radyal yönde aksenal lif ayrılmaları, kısmi delaminasyonlar, üçüncü eksende köşebent birleşme noktasında aksenal yönde ciddi tabakasal ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.39.).



Şekil 5.40. 330 mm² kesit alanlı trapez profil hasar görüntüleri

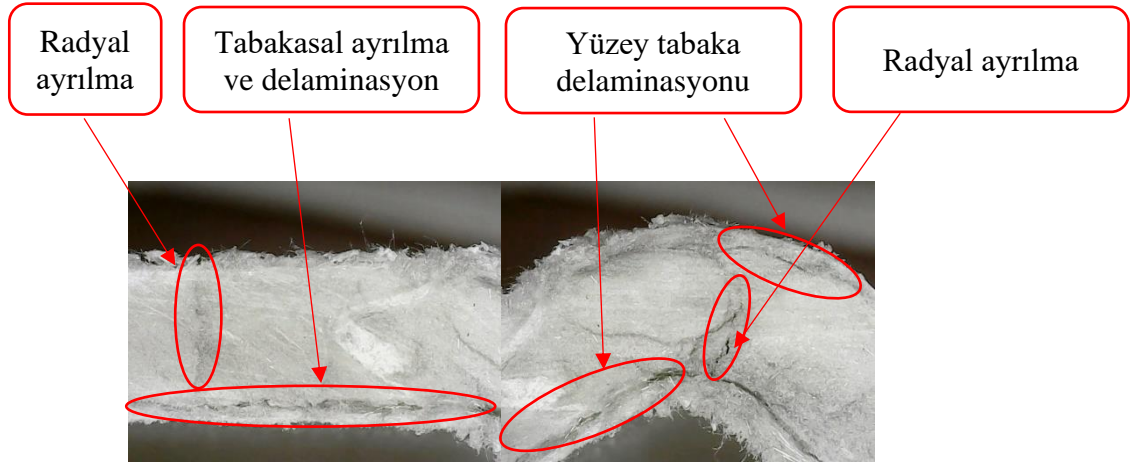
Trapez profilde ise geometrik sürekliliğinin bozuldu trapez uç noktalarında çekmelere bağlı olarak ciddi oranda lif kırılması ve tabakasal ayrılmalar ile birlikte profil ekstrüzyon kalıbı ile temas ettiği yüzeylerde reçine/lif oranının reçine rehine bozulmasından dolayı delaminasyonlar meydana gelmiştir (Şekil 5.40.).

5.3.2. Kesit alanı 700 mm² olan CTP profillerin hasar görüntüleri



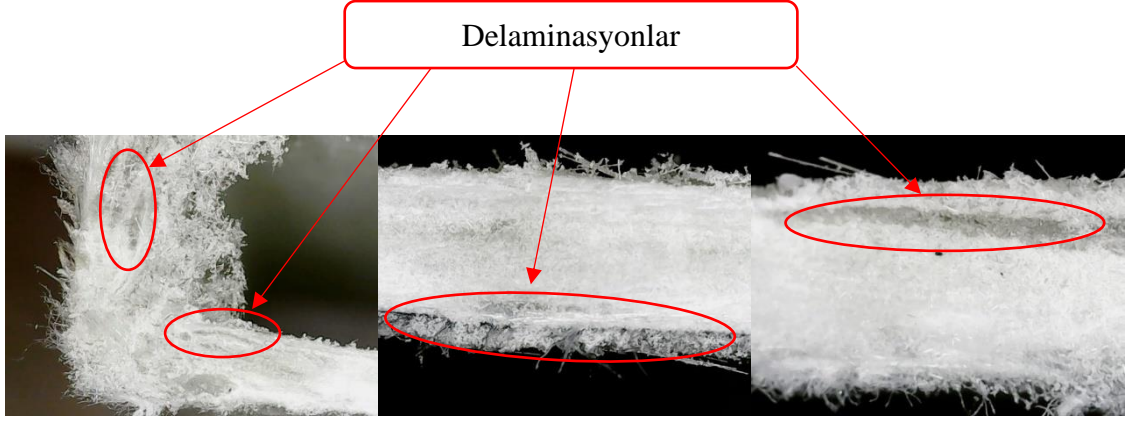
Şekil 5.41. 700 mm² kesit alanlı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri

Dairesel kesitli profilde ise tırtıklı olamayan net dairesel kesit söz konusu olduğundan malzeme üretimi daha homojen şekilde gerçekleştirilebilir. Yine eğilme gerilmesi yönünde lif kopmalarıyla beraber aksel yönde farklı yönlerde delaminasyonlar ve lif kopmaları meydana gelmiştir (Şekil 5.41).



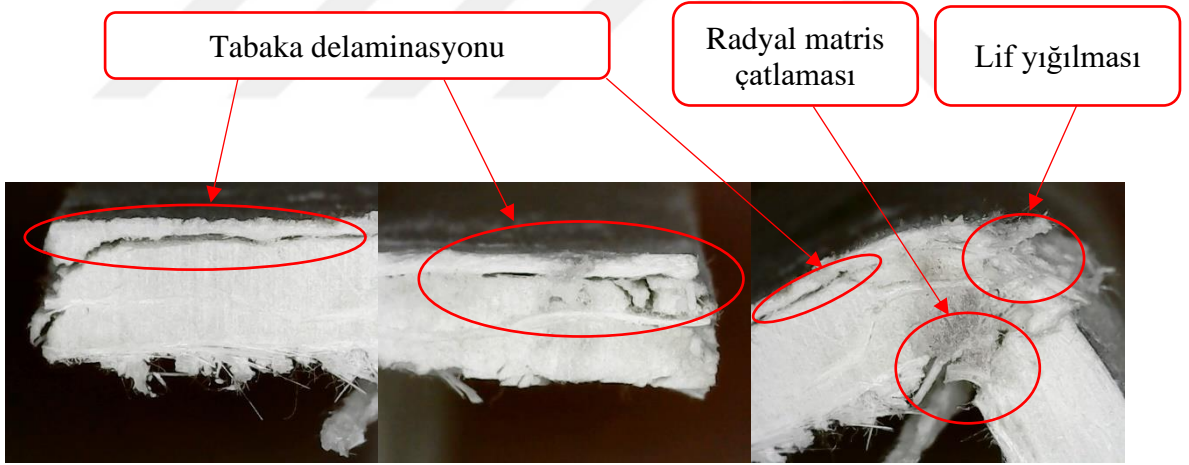
Şekil 5.42. 700 mm² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri

Köşebent profilde kenar bölgelerde aksel yönde ekstrüzyon kalıbına yakın yüzeylerde tabakasal ayrılma ve delaminasyonlar, radyal yönde tabakasal ayrılma, kesit yığılmasının olduğu birleşme bölgesinde kalıba yakın olan yerlerde ciddi oranda delaminasyonlar ve eğilme gerilmesi yönünde matris çatlaması kaynaklı radyal ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.42.).



Şekil 5.43. 700 mm² kesit alanlı kutu profil hasar görüntüleri

Kutu profil 130x16x2.5 mm olarak seçildiğinden eğilme gerilmesi atalet momentinin küçük olduğu yüzeye uygulanmıştır, profilin et kalınlığı içerisinde kısmen iç ve dış kalıp yüzeylerine yakın bölgelerde delaminasyonlar özellikle 16 mm'lik kalınlığın olduğu bölgelerde lif kırılmaları ve basma yönündede lif yığılmaları meydana gelmiştir (Şekil 5.43.).

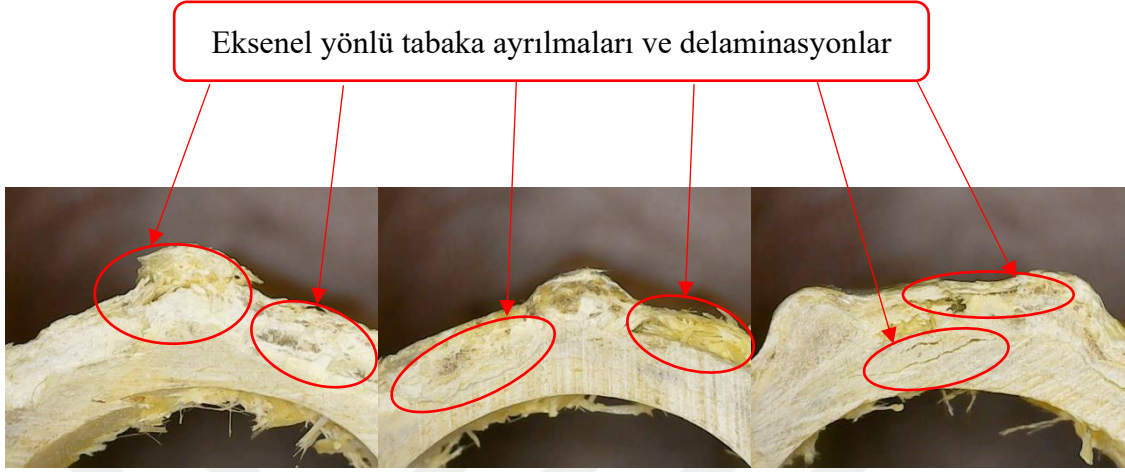


Şekil 5.44. 700 mm² kesit alanlı U profil hasar görüntüleri

U profilde malzeme geometri sürekliliğinin bozulduğu köşe noktalarda radyal matris çatlama kaynaklı fiber tabaka ayrılmaları, kalıp yüzeylerine yakın noktalarda tabaka delaminasyonları ve eğilme metodolojisine göre çekme kaynaklı lif kopmaları, basma kaynaklı lif yığılmaları meydana gelmiştir (Şekil 5.44.).

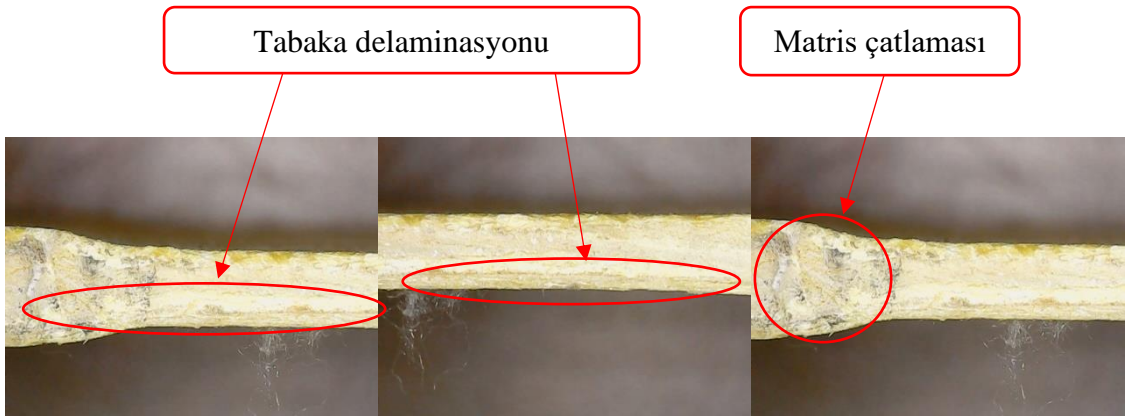
5.4. Basma Deneyi Hasar Bölgesi Mikroskop Görüntüleri

5.4.1. Kesit alanı 330 mm² olan CTP profillerin hasar görüntüleri



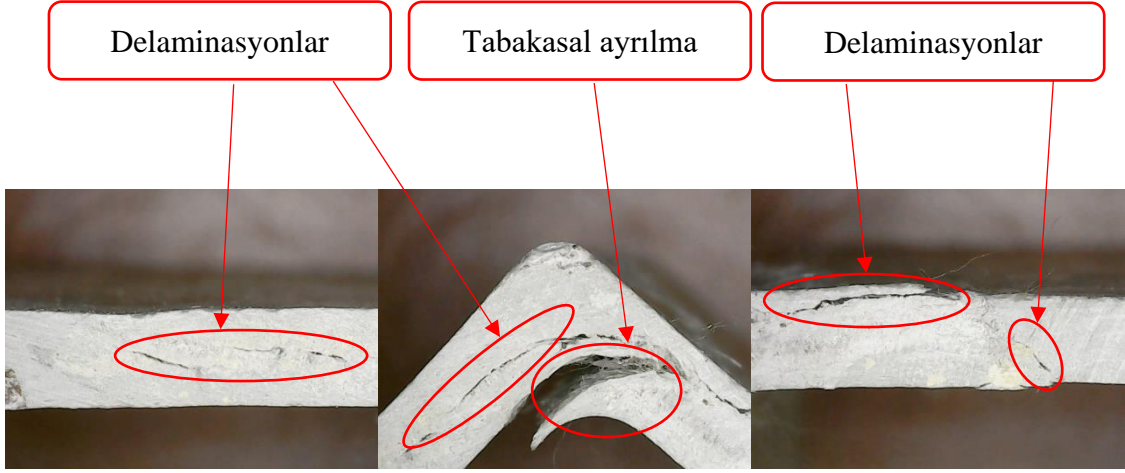
Şekil 5.45. 330 mm² kesit alanlı tırtıklı dairesel kesitli profil hasar görüntüleri

Tırtıklı dairesel kesitli boruda tırtık bölgelerinin basma yönlü eksenel yönde tabaka ayrılmalarına çok müsait olduğu görülmüştür. Bunun sebebi malzemenin çevresel yönde sürekliliği olmamasıdır. Ekstrüzyon imalatında tırtık bölgelerindeki ayrılmalar reçine/fiber oryantasyonun bozulması sonucu basma yönünde lif tabakaları delaminasyonları meydana getirmiştir. Bu delaminasyonlar borunun doğal çevresel kesitini de etkilemektedir (Şekil 5.45.).



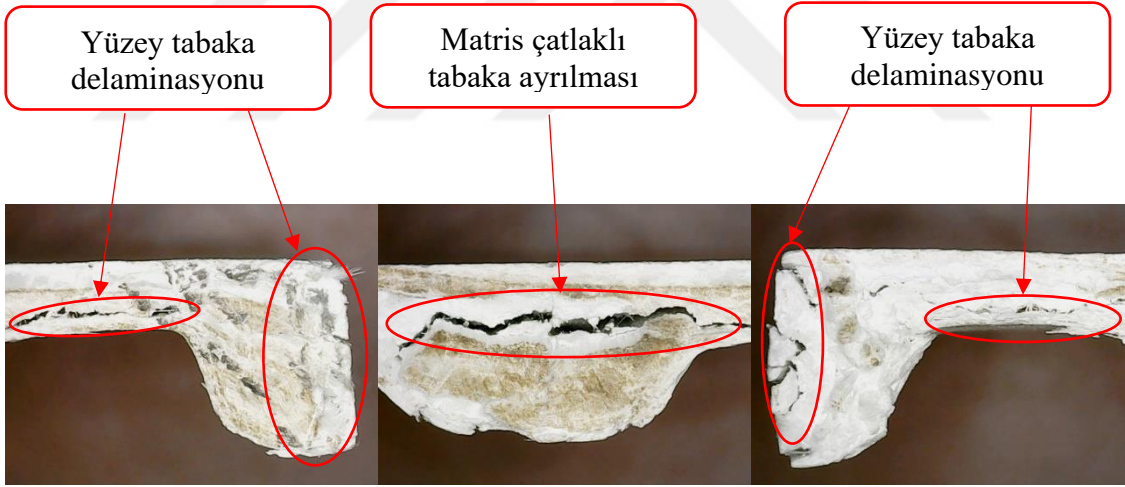
Şekil 5.46. 330 mm² kesit alanlı I profil hasar görüntüleri

I profilde geometrik sürekliliğin bozulduğu bölgelerde matris çatlama ve yüzey tabaka delaminasyonları meydana gelmiştir (Şekil 5.46.).



Şekil 5.47. 330 mm² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri

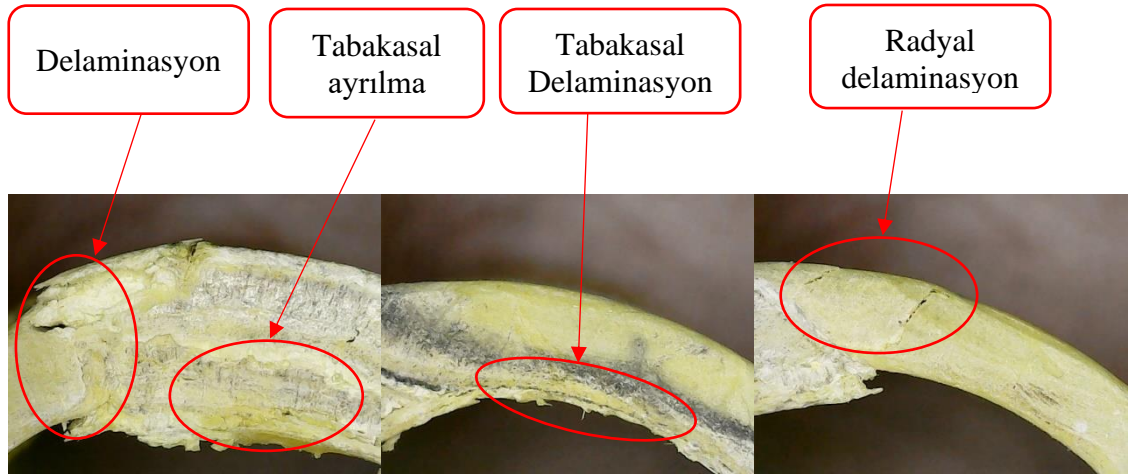
Köşebent profilde ise basma gerilmesi yönünde aksel matris çatlama kaynaklı delaminasyonlar, kesit yığılmasının olduğu birleşme noktasında tabakasal ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.47.).



Şekil 5.48. 330 mm² kesit alanlı trapez profil hasar görüntüleri

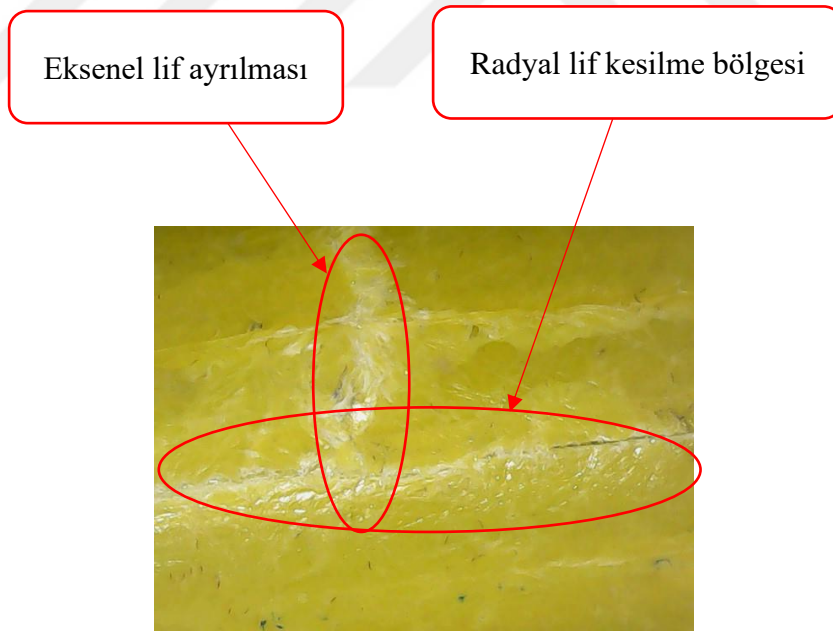
Trapez profilde ise yine malzeme sürekliliğinin bozulduğu noktalarda ana kesit ile trapez kenarlarının ayrıldığı noktalardan matris çatlama kaynaklı tabaka ayrılmaları, ekstrüzyon kalıbına yakın noktalarda da yüzey tabaka delaminasyonları meydana gelmiştir (Şekil 5.48.).

5.4.2. Kesit alanı 700 mm² olan CTP profillerin hasar görüntüleri



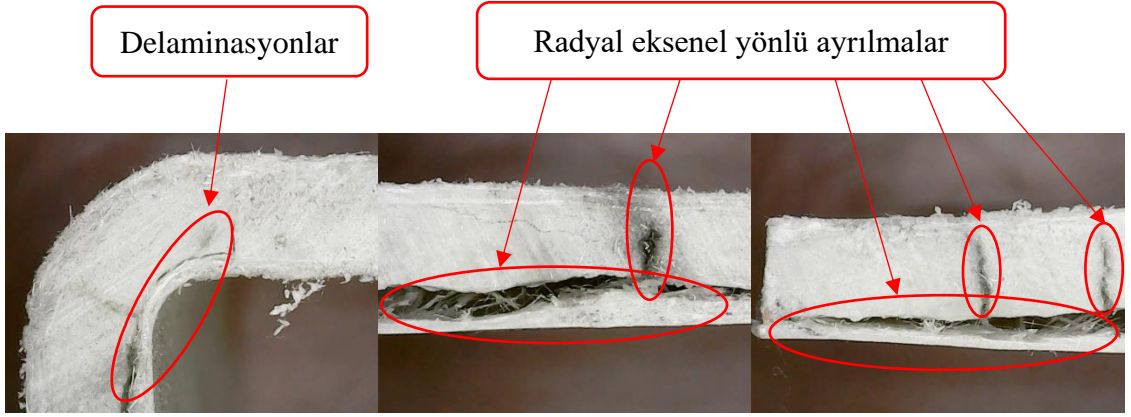
Şekil 5.49. 700 mm² kesit alanlı boru profil hasar görüntüleri

Dairesel kesitli profilde basma yönünde lif yığılmaları ve kısmi delaminasyonlar, radyal yönde de kısmi delaminasyonlar meydana gelmiştir. Boru iç yüzeyinde kalıp yüzeyine yakın bölgelerde tabaka ayrılmaları görülmüştür (Şekil 5.49.).



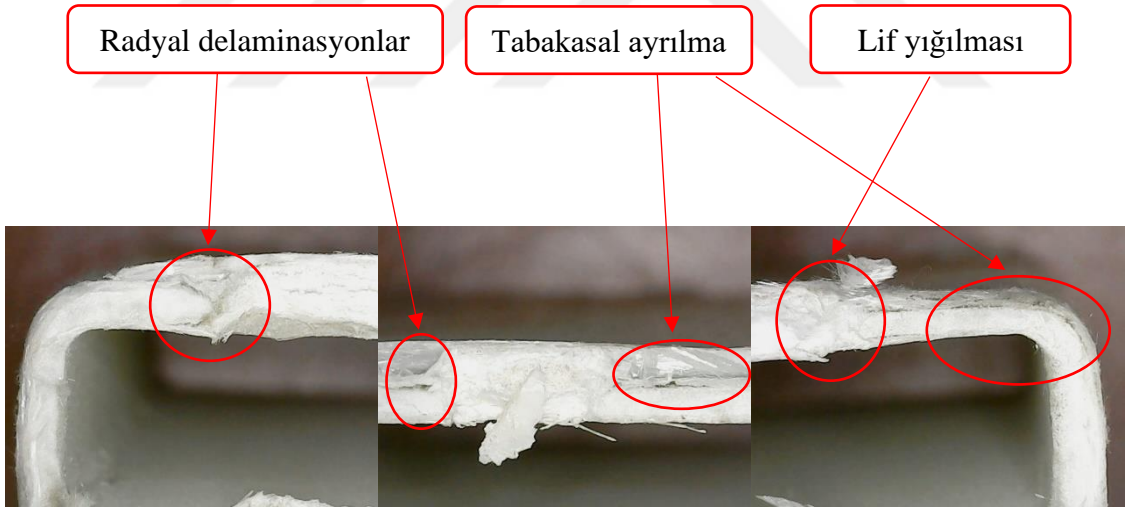
Şekil 5.50. 700 mm² kesit alanlı boru profil yatay hasar görüntüleri

Basma hasar bölgesi incelendiğinde basma yüzeyinden yaklaşık 20 mm uzaklıkta çevresel yönde lif kırılmaları meydana gelmiştir. Lif kırılmaları kaynaklı lif yığılması meydana gelmiştir (Şekil 5.50.).



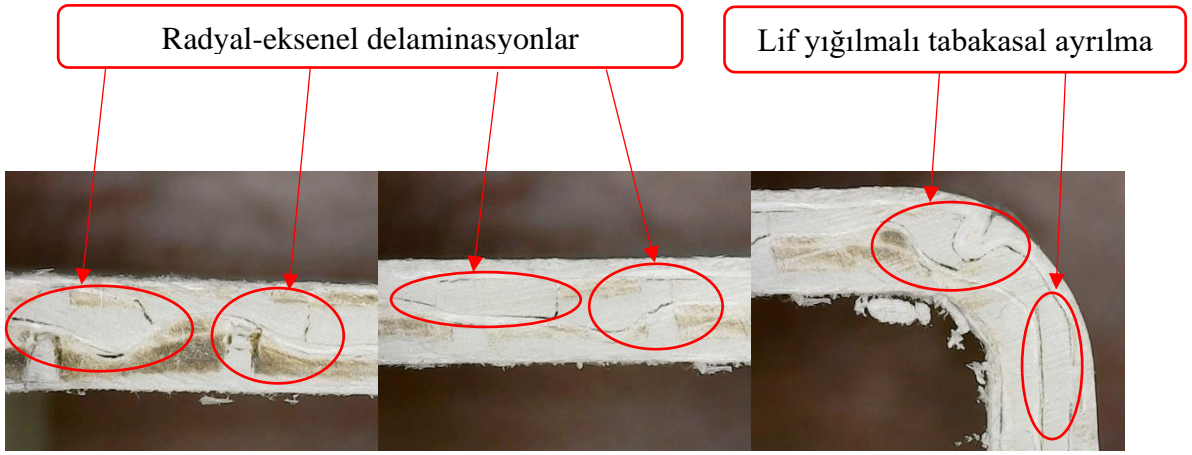
Şekil 5.51. 700 mm² kesit alanlı köşebent profil hasar görüntüleri

Köşebent profilde köşe bölgelerde aksel yönde matris ayrılma kaynaklı delaminasyonlar, köşebent uç bölgelerinin her ikisinde de radyal ve aksel yönlü tabakasal ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.51.).



Şekil 5.52. 700 mm² kesit alanlı kutu profil hasar görüntüleri

Kutu profilde lif yığılması kaynaklı radyal delaminasyonlar, çevresel delaminasyonlar ve kıvrım bölgelerinde kalıp kenarlarında delaminasyon kaynaklı tabakasal ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.52.).



Şekil 5.53. 700 mm² kesit alanlı U profil hasar görüntüleri

U profilde çevresel yönde radyal aksenal delaminasyonlar, köşe bölgelerde lif yığılması kaynaklı tabakasal ayrılmalar meydana gelmiştir (Şekil 5.53.).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızda iki farklı kesit grubunda ekstrüzyon metoduyla üretilmiş polyeşter matrisli cam elyaf profillerde farklı kesit geometrilerinin eğilme ve basma gerilmeleri açısından avantaj ve dezavantajları açıklanmaya çalışılmıştır.

- Eğilme gerilmesi açısından 330 mm² ortak kesit alanına sahip profiller ;

330 mm² kesit alanlı profillerin eğilme mukavemeti kuvvet-deplasman grafiği incelendiğinde iki kategori gözümüze çarpmaktadır, boru ve köşebent profiller ayrı kategoriler olarak değerlendirilmeli, I ve trapez profiller ayrı değerlendirilmelidir. Burada önemli olan düşük deplasman ve yüksek eğilme kuvvetleridir. Bu açıdan bakıldığında konstrüksiyon ve maliyet açısından mümkünse birinci kategoride dairesel kesitli profil kullanımı, ikinci kategoride ise trapez profil kullanımı eğilme mukavemeti açısından bilimsel bir gerekliliktir.

Dairesel kesitli tırtıklı profil 8 mm deplasmana karşılık 5700 N'luk bir eğilme kuvvetine dayanmakta, köşebent profil aynı deplasmana 3500 N'luk bir eğilme kuvvetiyle karşılık vermiştir. İkinci kategoride ise trapez profil ise 18 mm'lik deplasmana karşılık 1800 N'luk bir gerilmeye dayanmakta, I profil ise aynı deplasmanda 700 N'luk bir kuvvetle karşılık vermiştir ancak, I profil düşük atalet momenti yönünde yüklendiğinden 70 mm'lik deplasmanda 1700 N'luk eğilme kuvvetiyle deformasyona uğramıştır.

330 mm² CTP profiller fiyat ve ağırlık yönünden metallere karşı çok avantajlıdırlar. Mukavemet açısından dairesel kesitli profil eğilme ve basmaya karşı göstermiş olduğu dayanımla öne çıkmıştır, bunun yanında maliyet ve kullanılabilirlik açısından göze alındığında bu gruplandırmada en uygun kesit geometrisi dairesel kesitli profil olarak görülmektedir. Dairesel kesitli profil %30'luk fiyat avantajına karşılık, 5 kat daha hafiftir.

- Eğilme gerilmesi açısından 700 mm² ortak kesit alanına sahip profiller;

Bu kesit grubundaki dairesel kesitli ve U profiller'in 10 mm deplasmana karşılık; dairesel kesitli profil 8900 N, U profil ise 7800 N eğilme kuvvetine dayanmaktadır. Her iki profilde de ilk kırılmalar yüzeysel ve malzeme sürekliliğinin bozulduğu alanlarda ve kuvvet tatbik ucunun geometrisine göre oluşmuştur. Köşebent ve kutu profil ise 2.8 mm'lik

deplasmana karşılık köşebent profil 3100 N, kutu profil ise 1000 N'luk eğilme kuvvetine dayanmaktadır.

Köşebent profilde nispeten yüksek eğilme mukavemeti, düşük deplasman oranı ve kesit yoğunluğu olan sırt bölgesinde tabakasal ayrılmalar şeklinde deformasyon gözükmüş, kutu profilde ise kesitin yatay ekseninde fazla esnemesinden dolayı uygulanan kuvvet düşmüş deplasman artmıştır. Eğilme kuvveti/deplasman oranı incelendiğinde en avantajlı kesit 1107 oranı ile köşebent profildedir. Konstrüksiyon açısından uygun ise mukavemet açısından en uygun kesit köşebent profildir.

Maliyet açısından; Köşebent profil %35 daha ucuz ve metallere 5.5 kat daha hafiftir.

- Basma gerilmesi açısından 330 mm² ortak kesit alanına sahip profiller ;

Basma deneyinde tırtıklı dairesel kesitli profil en yüksek basma mukavemeti en düşük deplasman oranına sahip olduğundan en ideal profil geometrisidir. Daha sonra trapez profil trapez kenarlarının büyüklükleriyle orantılı olarak yüksek basma ve düşük deplasman değerlerine sahiptir. Köşebent profil kısmen burkulmaya uğramış gözükse de yine üçüncü tercih edeceğimiz profil geometrisidir. I profil ise çok düşük deplasman/basma kuvveti oranına sahip olduğundan ideal bir kesit geometrisi değildir.

Mukavemet açısından değerlendirildiğinde de tırtıklı dairesel kesitli profil kullanımı bilimsel bir gerekliliktir. %30'luk fiyat avantajına karşılık daha hafif olması en büyük tercih nedenidir.

- Basma gerilmesi açısından 700 mm² ortak kesit alanına sahip profiller ;

U profil ve köşebent profilin basma kuvvetleri en yüksek çıkmıştır. Bu durumda en ideal profil geometrisi U profildir. U profilin basma kuvveti/deplasman oranı 70230 N/mm dir. Daha sonra köşebent ve dairesel kesitli profil gelir. Her iki profilin basma oranı/deplasman oranı birbirine eşittir, konstrüksiyon gerekliliği burada tercih unsurudur. Çalışmamızda seçilen kutu profil en ve genişlik oranları oldukça farklı seçildiğinden basma kuvvetleri açısından son derece dayanıksızdır.

Maliyet açısından en uygun profil kesiti köşebent profildir.

- Hasar bölgesi görüntüleri incelendiğinde 330 mm² kesit alanına sahip tırtıklı dairesel ve trapez kesitli profillerde malzeme sürekliliği bozulmasından dolayı eksenel yönde ciddi tabakasal ayrılmalar sonucu bu kesitlerin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Her iki kesit alanına sahip profillerin tümünde polyester reçineye bulaşmış lifler ısıtılmış ekstrüzyon kalıbına girerken reçine viskozitesi düştüğünden dolayı kalıp temas yüzeylerinde matris ayrılması kaynaklı ciddi oranlı delaminasyonlar meydana gelmektedir. Ekstrüzyon metoduyla üretilmiş CTP profillerin en büyük dezavantajı budur. Bunun çözümü lif beslenme açısı ve algoritmasının değiştirilmesidir.

7. KAYNAKLAR

www.dapurkuidaman.blogspot.com

Gözde,C (2016) Plastikler (polimerler)

Yıldırım,G (2011),Pultrüzyon metoduyla üretilmiş ctp profillerin şekil ve boyutlarının eğilme ve basınç dayanımlarına etkileri.

<https://tur.sciences-world.com/>

PengLiu, New Design Consideration of Polymer Matrix Composite Materials Author links open overlay panel

Kompozit Malzemeler Polimer Matrisli Kompozitler ,Bartın Üniversitesi- 2008

BAŞER, G (2012), Production of fiber reinforced thermoplastic composites

Pradeep K. (1993), Metal-matrix Composites I Composites and Solidification Laboratories, Materials Engineering Department, College of Engineering and Applied Science, The University of Wisconsin-Milwaukee Milwaukee, WI 53211, USA,

W, Donald (1976), Ceramic-matrix composites-I

Krishan, K (1993), Ceramic Matrix Composites

Stephen, W (2006), Experimental studies of thin-ply laminated composites Sangwook Sihn a,*, Ran Y. Kim a , Kazumasa Kawabe b

Chandra, R (1999), Damping studies in Fiber-reinforced composites ± a review 1, S.P. Singh *, K. Gupta 2 Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Hauz Khas 110016, New Delhi, India

<https://polser.com/en/frp/fiberglass-types>

<https://afzir.com/tr/glass-fiber/>

<https://www.kompozitshop.com/>

<https://www.kompozitsan.com/>

DiCarlo, J (1977), Techniques for increasing boron fiber fracture strain Lewis Research Center Cleveland, Ohio 44135

Xinghai, Z (2021), Research progress of ultrafine alumina fiber prepared by sol-gel method: A review Lei Li a,b,* , Xiaolian Liu a,b, Gang Wang a,b, Yalin Liu a,b, Weimin Kang a,b,* , Nanping Deng a,b, Xupin Zhuang a,b, a School of Textile Science and Engineering, Tiangong University, 300387, PR China b State Key Laboratory of Separation Membranes and Membrane Processes, Tiangong University, 300387, PR China

<http://tr.excelcera.com/>

www.alpapowder.com

www.tvarc.com.tr

Kin, L (1999), Long-term environmental fatigue of pultruded glass-fiber-reinforced composites under flexural loading, Carl R. Schultheisz b , Donald L. Hunston,

Stickel, M (2012), Glass Fiber-Reinforced Composites: From Formulation to Application Joy,Mala Nagarajan

Morampudi, P (2020), Review on glass fiber reinforced polymer composites Author links open overlay panel Kiran Kumar Namala Yeshwanth Kumar Gajjela Majjiga Barath Ganaparthi Prudhvi

3.Tübitak Bilim Genç (2015), Boyalardaki Pigmentler Nasıl Elde Ediliyor.

İskender,A. (1987), Renk Kimyasının Ekolojisi, Tekstil ve Makine

Enzimlerin etki mekanizması-Ankara üniversitesi açık ders

Elkington, M (2014), Hand layup: understanding the manual process,D. Bloom,C. Ward,A. Chatzimichali &K. Potter

www.ceyrekmuhendis.com/kompozit-uretim-yontemleri/

Belloul, N (2015), Effect of the Aggressive Environment on the Damage of a Glass Polyester Composite Developed by Hand Layup Process,1 Hassiba Hamadache,1 Ali Ahmed Benyahia,2 and Aïcha Serier1

Durgun, I (2014), Composite Parts Production With Hand Lay Method Conference: 7th Engineering and Technology Symposium - MTS7 - Çankaya UniversityAt: Ankara / Turkey

Işık, A (2008), İstanbul teknik üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü kompozit malzemeden imal edilmiş bir takviye elemanın eğilme ve burulma yükü altında deneysel ve sayısal olarak incelenmesi yüksek lisans tezi uçak müh.

Ay, I (2011) Plastik malzemelerin işleme teknikleri

www.baranboya.com/smc-pres-kaliplama

Abdanb, K (2018), Physical Properties of Novel Kenaf Short Fiber Reinforced BulkMolding Compounds (BMC) For Compression Moulding Subramaniasarma Sreenivasana, Shamsuddin Sulaimana, Mohd Khairol Anuar Mohd Ariffina, B.T Hang Tuah Baharudina,

Bartın üniversitesi (2008), Kompozit Malzemeler Polimer Matrisli Kompozitler

www.poliya.com

Palmer, J (2010), Sheet moulding compound (SMC) from carbon fibre recycle, L. Savage, O.R. Ghita *, K.E. Evans College of Engineering, Physics and Mathematical Sciences, University of Exeter, North Park Road, EX4 4QF, Exeter, UK

www.tezkom.com

Composites Institute (1998), Introduction to Composites - Fourth Edition.

Plastics Engineering (2015), This digital issue of Plastics Engineering

Hubbert, P (2012), Autoclave processing for composites, McGill University, Canada and G. FERNLUND and A. POURSAARTIP The University of British Columbia, Canada

Beşergil, B (2012), Polimer Matris Kompozitler; Üretim Prosesleri

Abdalla, F.H. (2005), Design and fabrication of low cost filament winding machine, S.A. Mutasher, Y.A. Khalid, S.M. Sapuan *, A.M.S. Hamouda, B.B. Sahari, M.M. Hamdan Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Universiti Putra Malaysia, 43400 Serdang, Selangor, Malaysia

Bayraktar, Ö- Öngerilimli karbon elyaf takviyeli kompozit üretimi için sistem tasarımı, imalatı ve kompozit malzeme üretimi

Mackin, D (2018), Pultrusion manufacturing, materials testing, and life cycle assessment of thermoplastic gfrp composites by Christopher B.Sc. Mechanical Engineering (Biomedical Option), University of New Brunswick

Silva, F (2013), Saving Energy in the GFRP Pultrusion Process*, M.C.S. Ribeiro¹, A.C.M. Castro¹, M.R. Alvim¹, J.P. Meixedo¹, A. Fiúza² and M.L. Dinis² School of Engineering, Polytechnic of Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida,

www.fiberbul.com