

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PULTRUZYON METODUYLA ÜRETİLMİŞ CTP
PROFİLLERİN ŞEKİL VE BOYUTLARININ EĞİLME
VE BASINÇ DAYANIMLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürkan YILDIRIMER

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PULTRUZYON METODUYLA ÜRETİLMİŞ CTP
PROFİLLERİN ŞEKİL VE BOYUTLARININ EĞİLME
VE BASINÇ DAYANIMLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

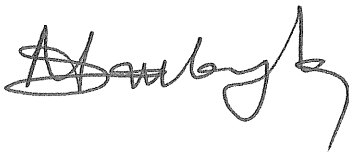
Gürkan YILDIRIMER

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Bu tez 15 / 06 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

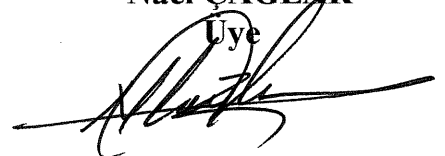
**Doç. Dr.
Mehmet SARIBIYIK
Jüri Başkanı**



**Yrd. Doç. Dr.
Metin İPEK
Üye**



**Doç. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Üye**



TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her tŸrlŸ desteği veren, benden bilgi ve tecrŸbelerini esirgemeyen değerli hocam sayın Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a teŐekkŸr ederim.

Tezin hazırlanmasında desteğini esirgemeyen ArŐ. GŸr. Ferhat AYDIN' a teŐekkŸr ederim.

Bilgi ve tecrŸbelerini esirgemeyen, numunelerin temininde hep yanımızda olan ESA KİMYA METAL A.Ő.'ne teŐekkŸr ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, bana kazandırdıkları her Őey için ŐŸkranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi.....	1
1.2. Literatür taraması.....	7
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	10
2.1. Matris elemanlarına göre kompozitler	12
2.1.1. Metal matrisli kompozitler	12
2.1.2. Seramik matrisli kompozitler.....	13
2.1.3. Polimer matrisli kompozitler	14
2.1.3.1. Termoplastikler	16

2.1.3.2. Termosetler	20
2.2. Takviye edilme şekillerine göre kompozitler	24
2.2.1. Parçacık takviyeli kompozitler	24
2.2.2. Lamine kompozitler	25
2.2.3. Elyaf takviyeli kompozitler	25
2.2.3.1. Aramid elyaflar.....	28
2.2.3.2. Bor elyaflar	29
2.2.3.3. Silisyum karbür elyaflar.....	30
2.2.3.4. Alümina elyaflar.....	30
2.2.3.5. Karbon elyaflar.....	30
2.2.3.6. Cam elyaflar	32
BÖLÜM 3.	
CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER (CTP).....	35
3.1. CTP'nin avantajları.....	35
3.2. CTP üretimi	36
3.2.1. CTP üretiminde kullanılan malzemeler.....	36
3.2.1.1. Polyester reçineler	36
3.2.1.2. Hızlandırıcılar.....	36
3.2.1.3. Dolgu maddeleri.....	37
3.2.1.4 Boyalar.....	37
3.2.1.5. Katalizörler.....	38
3.2.1.6. Kalıp ayırıcılar.....	39
3.2.1.7. Takviye malzemeleri	39
3.3 CTP üretim yöntemleri.....	44

3.3.1. Elle yatırma yöntemi	44
3.3.2. Püskürtme yöntemi.....	46
3.3.3. Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi.....	48
3.3.4. Hazır kalıplama yöntemi	49
3.3.5. Islak sistem pres kalıplama yöntemi	50
3.3.6. Vakum bonding yöntemi	51
3.3.7. Otoklav yöntemi.....	51
3.3.8. Preslenebilir takviyeli termoplastik (GMT) yöntem.....	52
3.3.9. Elyaf sarma yöntemi.....	53
3.3.10. Profil çekme / pultrüzyon (pultrusion) yöntemi.....	54
3.4. CTP profil çeşitleri.....	61
3.5. CTP'nin yapıda kullanılması	62
3.5.1. Prefabrik konutlar.....	62
3.5.2. Köprüler ve çatı makasları.....	63
3.5.3. Cephe kaplama panelleri	63
3.5.4. CTP beton kalıpları	64
3.5.5. Diğer uygulamalar.....	64

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	68
4.1. Eğilme deneyi.....	69
4.1.1 Eğilme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar	69
4.1.1.1. Eğilme makinesi.....	69
4.1.1.2. Dijital Kumpas	70

4.1.2. Deney numunelerinin hazırlanması.....	71
4.1.3. Eğilme deneyinin yapılışı	72
4.1.4. Eğilme deneyi sonuçları	73
4.1.4.1. Kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri	75
4.1.4.2. Kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları	77
4.1.4.3. Dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri	78
4.1.4.4. Dikdörtgen kutu profillere ait eğilme deneyi sonuçları.....	80
4.1.4.5. I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri	82
4.1.4.6. I kesitli profillere ait eğilme deneyi sonuçları.....	84
4.2. Metal levhalı eğilme deneyi sonuçları	87
4.2.1. Metal levha konulan kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri.....	87
4.2.2. Metal levha konulan kare kutu profillere ait eğilme deneyi sonuçları.....	88
4.2.3. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri	89
4.2.4. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait eğilme deneyi sonuçları	90
4.2.5. Metal levha konulan I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri	92
4.2.6. Metal levha konulan I kesitli profillere ait eğilme deneyi sonuçları.....	93
4.3. Metal levhalı ve levhasız kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	95
4.4. Metal levhalı ve levhasız dikdörtgen kutu profillerin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	96
4.5. Metal levhalı ve levhasız I profillerin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	97
4.6. Basınç deneyi.....	99
4.6.1. Basınç deneyinde kullanılan ekipmanlar	99
4.6.1.1. Basınç presi	99

4.6.2. Deney numunelerinin hazırlanması.....	100
4.6.3. Basınç deneyinin yapılışı.....	100
4.6.4. Basınç deneyi sonuçları.....	101
4.6.4.1. Kare kutu profil basınç deneyi sonuçları	102
4.6.4.2. Dikdörtgen kutu profil basınç deneyi sonuçları	103
4.6.4.3. I kesitli profillere ait basınç deneyi sonuçları	104
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	106
KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ	111

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Alan
b	: Genişlik
CTP	: Cam elyaf takviyeli plastik
h	: Yükseklik
I	: Atalet momenti
L	: Mesnet açıklığı
M	: Moment
P	: Yük
W	: Mukavemet momenti
y	: Tarafsız eksen uzaklığı
σ	: Gerilme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Termoplastik polimer zinciri	6
Şekil 1.2.	Termoset plastik polimer zinciri	6
Şekil 2.1.	Metal matrisli kompozit örnekleri.....	13
Şekil 2.2.	Seramik matrisli kompozit örnekleri.....	14
Şekil 2.3.	Pultruzyonla üretilmiş CTP profil örnekleri.....	14
Şekil 2.4.	Elastomerin seyrek ağlaşmış iç yapısı.....	16
Şekil 2.5.	Termosetlerin sık ağlaşmış iç yapısı.....	20
Şekil 2.6.	Aramid elyafı	28
Şekil 2.7.	Bor elyaf üretimini gösteren şema	29
Şekil 2.8.	Karbon elyaf üretimi	31
Şekil 2.9.	Karbon elyafı	32
Şekil 2.10.	Cam elyaf üretimi.....	33
Şekil 2.11.	Cam elyaf üretim şeması	33
Şekil 3.1.	Elyaf çeşitleri	40
Şekil 3.2.	Kumaş çeşitleri	41
Şekil 3.3.	Keçe (Mat) çeşitleri.....	42
Şekil 3.4.	Kesikli cam elyaf takviyeleri	42
Şekil 3.5.	Tek yönlü cam elyafı tipinin şekli.....	43
Şekil 3.6.	İki yönlü cam elyafı tipinin şekli	43
Şekil 3.7.	Çok yönlü cam elyafı tipinin şekli	44
Şekil 3.8.	El yatırması yönteminin genel görünümü	45
Şekil 3.9.	Püskürtme yönteminin genel gösterimi.....	47
Şekil 3.10.	RTM yönteminin genel gösterimi.....	48
Şekil 3.11.	Hazır kalıplama yönteminin genel gösterimi.....	50
Şekil 3.12.	Vakum bonding malzemeleri.....	51
Şekil 3.13.	Otoklav	52
Şekil 3.14.	Elyaf sarma yöntemi	53

Şekil 3.15. Profil çekme makinesinin genel gösterimi	54
Şekil 3.16. Profil çekme makinesi	54
Şekil 3.17. Fitol sehpararı (Elyaf bobinleri).....	55
Şekil 3.18. CTP profil detayı.....	55
Şekil 3.19. Kontrol ünitesi	56
Şekil 3.20. Örnek kalıp şekli	57
Şekil 3.21. Paletler.....	57
Şekil 3.22. Bıçaklar.....	58
Şekil 3.23. Pultruzyonla üretilmiş CTP profil örnekleri.....	61
Şekil 3.24. CTP sistemle yapılan konut.....	62
Şekil 3.25. Çatı makasları	63
Şekil 3.26. Cephe kaplama panelleri	64
Şekil 3.27. CTP metro istasyonu	64
Şekil 3.28. CTP yaya ve hafif araç köprüsü.....	65
Şekil 3.29. Basel gözlem evi	66
Şekil 3.30. Pultruzyon yöntemiyle üretilmiş CTP malzemelerin uygulama örnekleri	67
Şekil 4.1. Eğilme makinesi ve donanımı.....	70
Şekil 4.2. Eğilme makinesi ve düzeneği	70
Şekil 4.3. Dijital kumpas.....	71
Şekil 4.4. Deneyde kullanılan numuneler	72
Şekil 4.5. Eğilme deneyine tabi tutulmuş numuneler	72
Şekil 4.6. Eğilme deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar	73
Şekil 4.7. Kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri.....	76
Şekil 4.8. Kare kutu profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması	77
Şekil 4.9. Kare kutu profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.10. Dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri	80
Şekil 4.11. Dikdörtgen kutu profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması ..	81
Şekil 4.12. Dikdörtgen kutu profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması	81
Şekil 4.13. I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri.....	83
Şekil 4.14. I kesitli profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması	84
Şekil 4.15. I kesitli profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması	85
Şekil 4.16. Eğilme deneyine tabi tutulmuş numuneler	86

Şekil 4.17. Eğilme deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar	86
Şekil 4.18. Metal levha konulan kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri	87
Şekil 4.19. Metal levha konulan kare kutu profillerin eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması	88
Şekil 4.20. Metal levha konulan kare kutu profillerin sehim miktarlarının karşılaştırılması	89
Şekil 4.21. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri	90
Şekil 4.22. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması	91
Şekil 4.23. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması	91
Şekil 4.24. Metal levha konulan I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri	92
Şekil 4.25. Metal levha konulan I kesitli profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması	93
Şekil 4.26. Metal levha konulan I kesitli profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması	94
Şekil 4.27. Kare kutu profillerin eğilme gerilmelerinin metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması	95
Şekil 4.28. Kare kutu profillerin sehim miktarlarının metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması	95
Şekil 4.29. Dikdörtgen kutu profillerin eğilme gerilmelerinin metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması	96
Şekil 4.30. Dikdörtgen kutu profillerin sehim miktarlarının metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması	97
Şekil 4.31. I kesitli profillerin eğilme gerilmelerinin metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması	97
Şekil 4.32. I kesitli profillerin sehim miktarlarının metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması	98
Şekil 4.33. Basınç presi	99
Şekil 4.34. Basınç deneyinde kullanılan numuneler	100
Şekil 4.35. Basınç deneyine tabi tutulan numuneler	101
Şekil 4.36. Basınç deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar	101

Şekil 4.37. Kare kutu profillere ait basınç gerilmelerinin karşılaştırılması	102
Şekil 4.38. Dikdörtgen kutu profillere ait basınç gerilmelerinin karşılaştırılması ..	103
Şekil 4.39. I kesitli profillere ait basınç gerilmelerinin karşılaştırılması.....	104
Şekil 4.40. I kesitli profillerde deney sonrası oluşan kırılma ve ezilmeler	105

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı termosetlerin mekanik özellikleri	24
Tablo 2.2. Bazı takviye malzemesi olarak kullanılan liflerin mekanik özellikleri.....	27
Tablo 4.1. Deneyde kullanılan profillerin ebatları	71
Tablo 4.2. Kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları.....	77
Tablo 4.3. Dikdörtgen kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları.....	80
Tablo 4.4. I kesitli profillerin eğilme deneyi sonuçları.....	84
Tablo 4.5. Metal levha konulan kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları	88
Tablo 4.6. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları..	90
Tablo 4.7. Metal levha konulan I kesitli profillerin eğilme deneyi sonuçları.....	93
Tablo 4.8. Kare kutu profillerin basınç deneyi sonuçları.....	102
Tablo 4.9. Dikdörtgen kutu profillerin basınç deneyi sonuçları.....	103
Tablo 4.10. I kesitli profillerin basınç deneyi sonuçları	104

ÖZET

Anahtar Sözcükler: Pultruzyon metodu, Cam Elyaf Takviyeli Plastik, Profil, Eğilme, Basınç

Pultruzyon metodu ile üretilen Cam elyaf takviyeli plastikler (CTP), özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. CTP malzemenin aksenel üstün mekanik dayanımının yanı sıra, hafifliği, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermesi, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, elektromanyetik alan oluşturmaması v.b. özellikler CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olmasına katkı sağlamaktadır. Halen inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılmakta olan CTP ile yapılmış az sayıda örnekler bulunmaktadır.

Bu çalışmada; pultruzyon metodu ile üretilen CTP kutu ve I profillerin yük etkisi altındaki eğilme ve basınç dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda eğilme karşısında en düşük dayanıma sahip büyük kesitli kutu ve I profillerde ve basınç karşısında dayanımı en düşük olan büyük kesitli I profillerde lokal kırılmalar tespit edilmiş tezin son kısmında da lokal kırılmaların oluşturduğu olumsuz durumun çözümüne yönelik alternatif çözüm önerisinde bulunulmuştur.

THE IMPACTS OF SHAPES AND DIMENSIONS OF GFRP PROFILES PRODUCED BY PULTRUSION METHOD TO BENDING AND COMPRESSIVE STRENGTH

SUMMARY

Keywords: Pultrusion methods, Glass Fibre Reinforced Plastic, Profile, Bending, Pressure

Glass fibre reinforced plastic (GFRP) materials, which manufactured using the pultrusion proces, the mass adaptation of GFRP sections as secondary and primary load bearing elements has been applied in construction. The pultrusion process became a competitive alternative to traditional structural materials. Factors in choosing GFRP materials for structural engineering applications are: lightweight, non-corrosive, chemically resistant, possess good fatigue strength, non-magnetic, and, subject to the materials selected, provide electrical and flame resistance. Currently, use of the Pultruded GFRP sections as secondary and primary load bearing elements has been applied in limited construction.

In this study; Bending and compressive strength of GFRP boxes and I profiles which were produced with pultrusion method under weight impact have been analysed. In the study carried out, local breakings have been determined in the I profiles and boxes with big sections. The lowest tension to bending and also in the I profiles with big sections and have the lowest tension to pressure have been determined in the final part of the thesis alternative proposals have been offered for dealing with the negative situation which local breakings, cause.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi

Yapılarda kullanılan malzemeler, sağlamlık ve mukavemetlik gibi iki temel özelliğe sahip olmalıdır. Günümüz binalarında kullanılacak malzemelerde olması istenen sağlamlık, malzemenin kendi atalet kuvveti ve dış kuvvetlere karşı direnç gösterebilecek düzeyde olmasıdır. İkinci özellik ise mukavemet özelliğidir. Malzemeye çeşitli yükler uygulandığında malzeme mutlaka karşı direnç göstermeli ve deformasyona izin vermemeli ya da deformasyon oluyorsa bile çok küçük boyutlarda kalmalıdır [1]. Malzemenin mukavemet değeri, yük ile deformasyon arasındaki orantı ile belirlenir. Bu yüzden yapıda yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmelidir. Bununla birlikte, yapıda kullanılacak malzemeye yük uygulanıp sonra kaldırıldığında, yükleme durumunda gözlenen deformasyon ortadan kalkıyorsa bu tip malzemeler de kullanılabilir. Böyle bir özelliğe sahip malzemeler, genel olarak elastik yapı malzeme olarak tanımlanırlar. Elastik malzemedeki, yükleme durumunda yük ile deformasyon arasında eğer sabit bir oran varsa, bu tip malzemeye lineer elastik malzeme denir. Yapıda kullanılacak malzeme için sağlamlık ve mukavemetlik iki temel gereksinim olmakla birlikte malzeme, sünme yapmamalıdır. Eğer yapıda kullanılan bir malzemenin sünme özelliği varsa ne kadar sağlam ve mukavim olursa olsun en kısa zamanda yük ve ısı sayesinde şekil değiştirir, bu durum istenmeyen olaylar ile sonuçlanabilir. Ayrıca, malzeme hafif yani, yoğunluğu düşük olmalıdır. Hafif malzemeler yapıya büyük avantaj getirmektedir. Çünkü yoğunluğu fazla olan yapı malzemelerine, hareketli yükler (rüzgar, deprem, v.b.) karşısında, yoğunluğu az olan malzemelere göre, daha fazla kuvvet gelmektedir. Bunlara ek olarak, yapıda kullanılacak malzemeler sağlıklı ve güvenli olmalıdırlar. Güvenli olma kriteri ise herhangi bir zorlanma veya aşırı yük karşısında deformasyonu belli bir seviyeye çıkabilir fakat ani kırılma, kopma veya yıkılma yapmamalıdır.

Ayrıca, yangın anında ani alev almamalı, ısı karşısında ani deformasyona uğramamalı, erimemeli ve bu esnada zehirli gaz çıkarmamalıdır. Konstrüksiyonda kullanılacak malzeme belirlendikten sonra, yapının şekli de kullanılacak malzemenin özelliklerine bağlı olarak tasarlanır. Örneğin, geniş açıklıklı kirişlerde kullanılacak malzeme, büyük yükleri karşılamak için yüksek çekme, basınç ve kesme mukavemetine sahip olmalıdır. Ayrıca, yükleme durumunda deplasmanı minimum, yüksek sağlamlık ve hareketli yüklerin etkisini azaltmak için de yoğunluğu düşük olmalıdır. Eğer bir malzeme yüksek basınç mukavemetine karşı düşük çekme mukavemetine sahipse, yapı malzemenin zayıf olduğu yön dikkate alınarak dizayn edilmeli ve yükler genellikle basınç doğrultusunda çalıştırılmalıdır [1]. Bu duruma klasik bir örnek vermek gerekirse, kubbe ve yay biçimli yapılarda kullanılan malzeme olan tuğlaların özelliği, basınç mukavemeti yüksek fakat çekme kuvveti düşüktür. Bu özelliklerini göz önüne alarak yapılan dizaynda, yapıya gelen yükler basınç doğrultusunda taşınmakta ve malzemeye göre yapının nasıl dizayn edilmesi gerektiğine dair güzel bir örnek teşkil etmektedir. Diğer taraftan, eğer malzeme düşük sağlamlık, fakat buna karşın düşük sünme karakteristiğine sahip ise, bu tip malzemeler yüklerin ve esnemenin az olduğu yerlerde kullanılabilirler. Bu tip malzemelerin kullanım yerine örnek olarak, çatılar verilebilir. Çatıdaki yükler, kubbe tarzı formlarda olduğu gibi basınç yönünde taşınır, bu durumda yükün az olabilmesi için malzemenin özgül ağırlığı da düşük olmalıdır. Malzemenin çekme mukavemeti yüksek ise, yapı formu ters çevrilerek malzemeyi basınca değil de çekmeye çalıştırmak, oluşması muhtemel problemleri önler. Buradan çıkarılacak sonuç, yapının formunu yapıda kullanılacak malzemelerin özellikleri ile yakından ilgilidir.

Mühendislikte yaşanan gelişmeler sonucunda, yapılarda bütün malzemelerin az çok kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Yakın zamanda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, yapılarda kullanılan malzemeler yapısal olarak iki gruba ayrılmıştır. Bunlardan ilki, malzemenin iç yapısı üniform olan homojen malzemeler; diğeri ise, genel olarak yeni nesil malzemeler olarak adlandırılan ve içerisinde iki veya daha fazla homojen malzeme bulunan kompozit malzemelerdir. Yapıda kullanılan, homojen malzeme olarak büyük bir oranda demir kastedilmektedir. Yeryüzü kabuğunun %5'i demirden meydana gelmektedir [1]. Yaklaşık 3000 yıldır kullanılmakta olan demir, 19. yy'ın başlarındaki endüstri devriminden sonra yapılarda kullanılan temel malzeme olarak

yerini almıştır. Endüstri devriminin ardından ortaya çıkan buhar makineleri sayesinde, demirin işlenmesi için gerekli olan ısı ve diğer ihtiyaçlar sağlanmış oldu. Bu sayede, ucuz ürün elde edilmeye başlandı. Bütün bu gelişmeler doğrudan mühendisliğe yansdı ve elde edilen gelişmeler büyük bir hızla yayılmaya başladı. İlk yapı malzemeleri olan ham demiri, patlamalı fırınlarda işleyerek dökme demir ve dövme demir elde edildi. Dökme demir ucuz üretim yöntemi sayesinde, 19.yy'da geniş bir kullanım alanı buldu. Hatta dünyanın ilk demir köprüsü 1778'de İngiltere'de Coalbrookdale Kasabası civarında, Severn Nehri üzerindeki 31m açıklığa sahip köprüdür [2]. Yapı malzemesi olarak kullanılan dökme demirin en büyük sorunu, düşük çekme mukavemeti ve kırılma doğasıydı. En büyük avantajı ise, isminden de anlaşılacağı gibi döküm yöntemi ile üretildiği için istenilen her şekle sokulabilmesiydi. Ancak, böyle bir işlemi yapabilmek için yüksek ısıya, uygun kalıba ve doğal olarak yetişmiş kalifiye bir elemana ihtiyaç vardı. Diğer taraftan dökme demirin tersine, dövme demir daha esnek, daha yüksek çekme mukavemetine sahip fakat şekil verilmesi zor bir malzemeydi. Bu yüzden dökme ve dövme demir, yapı mühendisliğinde yok denecek kadar az yer almıştır. Fakat, Bessemer ve Siemens dövme ve dökme demir yerine, korozyona nispeten daha dayanıklı olan çeliği keşfettiler [1]. Dövme demir üretim yöntemine benzeyen çelik üretimi ile levha ve profil elde ettiler. Bu yeni keşfedilen malzeme, demir yollarında ve gemi imalatında sıkça kullanılmaya başlandı. Büyük miktarda çeliğin üretilmesi, mühendislik alanında büyük ve olumlu bir yönde etki yaptı.

Çeliğin, yapı malzemelerinden beklenen yüksek çekme ve basınç mukavemetine ek olarak dayanım, yük karşısında yüksek oranda gösterdiği lineer elastik davranış ve ısı karşısında sünme oranının ihmal edilecek kadar az olması; mühendislikte yeni bir çığır açtı. Bütün bunlara ek olarak; yük karşısında ani kırılma yapmaması da büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

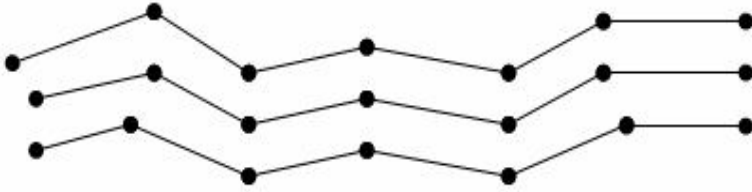
Çeliğin yapı mühendisliğine girmesi ile yapıların şekilleri büyük bir değişime uğramıştır. Daha önce hayal bile edilemeyen, geniş açıklıklara sahip yapıları üretmek mümkün kılmıştır. Bu başarıyı, günümüzde de çok büyük açıklıklı köprüler ve çatı makasları gibi yerlerde görmekteyiz. Bununla beraber, yaygın olarak kullanılan çeliğin, aşınmaya eğilimli olduğu ve çeliğin özelliklerinin korunabilmesi için

alınacak önlemlerin maliyet açısından büyük yükler getirdiği fark edildi. Ayrıca, çeliğin yoğunluğunun fazla olması da diğer bir dezavantajıydı. Örneğin; yeni tür malzemeler sayesinde 20.yy'da geliştirilmeye başlanan uçakların, sadece yüksek kuvvetlere dayanmayıp, aynı zamanda hafifliklerine de şahit olunmuştur. Buradan çıkarılacak sonuç, yapılarda da kullanılacak malzeme çelikten daha az yoğunluğa sahip fakat onun kadar yüksek dayanım ve mukavemete sahip olmalıdır. Bu amaçla, 19.yy'ın sonlarında yapılarda kullanılmak amacıyla çeşitli malzemeler üretilmeye başlandı. Bunlardan biri olan alüminyum yoğunluk bakımından çeliğin dörtte biri olmasına rağmen mukavemeti de aynı oranda düşüktür. Bu yüzden yapıda taşıyıcı olarak kullanılmamaktadır. Alüminyumun tersine, titanyum ve bakır çeşitli yapılarda kullanılmıştır.

Temel olarak, bir yapıda kullanılacak malzemelerin gereksinimlerini demir ve çelik karşılmasına rağmen; bu malzemelerin dezavantajları arasında yer alan unsurlar yeni nesil malzemeler olan kompozit malzemeler geliştirilmektedir. Kompozit, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılması ile oluşan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip, yeni bir malzeme olarak tanımlanır [3]. Kompozit malzemeler binlerce yıldır, insanların farkında olarak ya da olmayarak, sorunların çözümü için kullandıkları malzemelerdir. Fakat bu yapay malzemeler üzerindeki araştırmalar son yüz yıl içerisinde büyük bir gelişme göstermiştir. Bu büyük gelişmeye, homojen malzemelerden kalan genel bilgi birikimi, analitik ve dizayn yapabilme becerilerinin katkısı da büyük olmuştur. Kompozit malzemenin tarihi incelendiğinde, Orta Doğuda, fazladan eğilme dayanımı sağlamak amacıyla, ok yayları üzerine farklı lif yönleri oluşturacak şekilde konulan malzemeler, kerpiç yapı sistemleri ile MÖ. 2800'lü yıllara ait olduğu tespit edilen lamine edilmiş çeşitli tahta parçalarının Mısır'da bulunması ve buna ek olarak birçok yapıda kaya-çakıl gibi malzemeleri birbirine bağlamak için kireç, kum ve kil karışımından elde edilen bağlayıcı ile yapılmış kompozit malzemeler tespit edilmiştir [4]. Bulunan bu yapıştırıcı malzeme, yavaş donması, malzemeleri daha sağlam bir hale getirmesi ve düşük sıcaklıkta kolay şekil verilebilmesi nedeni ile hala en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu tip bağlayıcı karışımlar, yapı malzemelerinin mukavemetini ve dayanımını artırdığı için sürekli araştırma konusu olmuştur. Jhon Smeaton 1756 yılında içerisinde kireç, kalsiyum oksit, alüminat ve silikat bulunan bir

karışımı Eddystone Fenerinin yapımında kullanmış ve bu gelişmeden kısa bir süre sonra, 1796'da James Paker kil ve kireç taşının karışımı ile elde edilen Roma Çimentosunun patentini almıştır [1]. Böylece 19.yy'ın sonlarına doğru çok büyük bir icat olan çimento keşfedilmiş oldu. Joseph Aspdin 1824 yılında, günümüzde de yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli çimento yapımının ilk adımını atmıştır. Aspdin'in çimentosu, kireç ocağında yakılmış kil ve tebeşirin toz haline getirilmesi ile oluşmaktaydı. Aspdin'in kullandığı temel malzemeleri çok daha yüksek sıcaklıklara kadar yakan Isaac Jhonson, 1845 yılında yeni bulduğu üretim yöntemi ile daha yüksek mukavemete sahip çimentoyu keşfetmiş oldu. Bu yeni üretim yöntemini Portland şehri yakınlarında bulduğu için, bu yeni ürüne Portland ismini verdi. Bu icat, günümüzde de beton karışımlarında en çok kullanılan çimentolardan biri olmuştur. Çimento, taş, kum gibi beton karışımlarından beklenen sertlik ve rijitliği su ile sağlanmakta ve bu sayede karışıma çelik gibi kolay şekil verilebilmekteydi. Beton ile çelik arasındaki temel fark; beton, çelikten çok daha büyük alanlarda ve kütsel olarak kullanılabilmekte, ayrıca betona daha kolay şekil verilebilmesi nedeniyle plak veya baraj gibi kütle tarzı yapılarda kolaylıkla uygulanabilmekteydi. Bu yüzden çimento 20.yy'da en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi olmuştur. Bu kadar yaygın olarak kullanılmaya başlanan beton, tek başına dökme demir gibi basınç mukavemeti çok yüksek fakat çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle, yeni yapı tasarımları için problem olmuştur. Bu sorunu gidermek için, çeliğin yüksek çekme mukavemetini betonun basınç mukavemeti ile birleştirmenin yolları aranmış ve sonunda çelik çubuklarının tek yönlü, temelden çatıya kadar kesintisiz olarak beton içerisine katılmasıyla aranan yüksek basınç ve çekme mukavemetine sahip yeni bir yapı malzemesi bulunmuş oldu. Bulunan bu malzeme günümüzde de kullandığımız güçlendirilmiş betondur. Güçlendirilmiş beton sonraki yıllarda üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda bir üst üretim yöntemi olan ön germeli beton üretimine kadar gelmiştir. Bu yüzden, günümüzde yaygın olarak kullandığımız beton tam anlamı ile bir kompozit malzemedir. Bu yüzyılın başından itibaren, hem homojen hem de kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmakta ve yapılan bu araştırmalar genellikle organik maddeler olan ve yaygın olarak plastik diye tanımlanan süper polimerler üzerine kaymıştır. Bu malzemeler özellikle 2. Dünya Savaşından sonra hızlı bir yükseliş içerisinde olmuştur [1]. Süper polimerlerin kimyasal yapısının temeli monomerlerden

oluşmaktadır. Monomerler, atomundan oluşmakta ve bunların birleşmesi ile polimerler oluşmaktadır. Bu kimyasal olay, polimerizasyon olarak bilinmekte ve temel olarak polimer zincirlerinin oluşması olarak tanımlanmaktadır. Süper polimerler (plastikler) iki temel yapı içerisinde olabilmektedirler. Bunlardan ilki, ısı ile tekrar tekrar şekil verilebilen basit polimer zincirlerinden oluşan ve yapısal olarak Şekil 1.1’de de gösterilen Termoplastiklerdir [1].



Şekil 1.1. Termoplastik polimer zinciri

Diğer süper plastik ise, polimer zincirleri arasında Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi, oluşan bağ zincirleri sayesinde, bir kere üretildikten sonra bir daha şekilsel olarak üzerinde ısı veya başka bir yöntem ile tekrar değişiklik yapılamayan malzeme, Termoset plastik olarak tanımlanır[1].



Şekil 1.2. Termoset plastik polimer zinciri

İlk termoset plastik, fenol ve formaldehit karışımı olan bakalittir. 1907 yılında Belçikalı kimyager olan Leo Beakeland tarafından üretilmiştir. Silikon, epoksi ve polyester bu grupta yer almaktadır. Bu grupta yer alan ve yapı malzemelerinde en çok kullanılan süper plastik (reçine) ise polyesterdir. Fakat tek başına yapı elemanı olarak kullanılamaz. Çünkü yük altında kullanım için yapı malzemelerinde aranan dayanım ve mukavemet değerleri nispeten düşüktür ve buna ek olarak da malzemede gözlenen sünme ise ihmal edilemeyecek düzeyde yüksektir. Betonda olduğu gibi, bu malzemenin üzerinde de çekme mukavemetini arttırmak ve yapıda taşıyıcı eleman

olarak kullanabilmek için cam liflerinin de arasında bulunduğu birçok malzemeyle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, Polyester reçinesinin cam elyafları ile birleşmesinde gösterdiği uyum, bu ikilinin en çok tercih edilen malzemeler arasında yer almasını sağlamıştır. Takviye malzemesi olarak karbon ve boron elyafı gibi çeşitli elyaf cinsleri de denenmiş fakat ekonomik olarak en uygun olanın cam elyafı olduğu tespit edilmiştir. Bu geliştirilen teknolojik yapı malzemesi, yeni yapı tasarımlarında süratle kendisine yer edinmektedir. Örneğin, Londra'daki Merpoth okulunun ve Dubai Havaalanının çatı sistemleri CTP malzemedan yapılmıştır [1].

1.2. Literatür taraması

Mirmiran ve arkadaşları [5] FRP ile betonu hibrit olarak kullanarak, kolon kiriş dayanım ve sünekliğini incelemişlerdir. Betonla doldurulmuş boruların kolon kiriş davranışlarını araştırmak amacıyla numuneler hazırlamış ve farklı kombinasyonlarda deneyler yapmışlardır. Ayrıca bazı kiriş teorileri kullanarak hesaplamalar yapıp, deney verileri karşılaştırılmalı grafikler halinde ifade etmişlerdir. Sonuç olarak betonla doldurulmuş elemanlarda çeşitli performans artışları elde etmişlerdir.

Fam ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada dikdörtgen kesitli CTP elemanın içersini betonla doldurarak hibrit yapı elde etmişler ve kolon kiriş gibi kullanmışlardır. Bazı elemanları tamamıyla bazılarını ise kısmen betonla doldurup, hazırlanan numunelere farklı eksantrik yükler uygulayarak deneyler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda deney numunelerine ait çeşitli grafikler elde etmişler ve tamamen dolu profiller ile kısmen dolu profiller arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Deneyler sonucunda yarı dolu profil kirişler tam dolu profiller ile benzer rijitlik göstermiş fakat eğilme deneylerinde yarı dolu profiller daha düşük değerlerde kırılmıştır.

Ferreria A.J.M, Riberio M.C.S. and Marques A.T. CTP Profiller ile polimer betonu hibrit kiriş olarak kullanmışlar [7] deneysel çalışmalarla teorik modellemeler yaparak farklı kesitlerdeki kirişlere eğilme testleri yapmışlardır. Profil, polimer beton, hibrit kiriş sonlu eleman modelinin yük-deformasyon grafiklerini karşılaştırmışlardır.

Hibrit dikdörtgen kesitli kirişleri tasarlayan üreten ve test eden yazarlar en yüksek dayanımı hibrit kirişlerde elde etmişlerdir.

Beton ile CTP kutu profillerin hibrit kullanımında kesit özelliklerinin basınç ve eğilme davranışlarına etkileri incelenmiş [8] yapılan çalışmada dikdörtgen kesitli CTP elemanın bazıları betonla doldurulmuş bazıları boş olarak bırakılmıştır. Elemanlar eğilme deneyine tabi tutulmuş ve deney sonucunda boş profile göre beton doldurulmuş numunelerin maksimum eğilme dayanımında artışlar görülmüş ayrıca, hem basınç hem eğilme testlerinde lif miktarının artmasıyla mukavemet değerlerinde artışlar görülmüştür.

CTP profillerle depreme dayanıklı yapı modelleri ve analizleri yapılmış [9] yapılan çalışmada CTP malzemesinin yapısından kaynaklanan kesme kuvvetlerine karşı dayanım zayıflığını ortadan kaldırmak için sorunun tespit edildiği kolonların, kat kirişlerinin, döşeme kirişlerinin, döşeme tali kirişlerinin ve aşıkların kesit alanı değiştirilmesi yoluna gidilmiş, ayrıca çatı makaslarına stabilite çubukları eklenmiştir. Yapılan bu değişiklikler dışında yapının geometrik şekli, yük değerleri, zemin cinsi ve uygulanan yük kombinasyonları aynı kalmak şartıyla SAP 2000 programında tekrar simüle edilerek çözülmüştür. Yapılan çözümlemede yapı elemanların kesitleri güvenlik tahkiklerinden geçmiş ve böylece modernizasyon sonunda yetersiz kesit problemi ortadan kaldırılmıştır.

Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerle sera modellemesi yapılmış [10] sera modellemesinde aşıklarda kutu profiller kullanılmıştır. Bu profiller kullanılmadan önce eğilme deneyine tabi tutulmuşlar deney sonucunda kutu profillerde lokal kırılmalar meydana gelmiş ve bu durum numunelerin eğilme dayanımlarında düşüşe neden olmuştur. Numunelerde lokal kırılmaların önlenmesi amacıyla aynı profillerden kesilen dolu kesitli numuneler deneye tabi tutulmuş deney sonucunda numunelerin eğilme gerilmelerinde artışlar görülmüştür.

Almir Barros da S. Santos Neto ve Henriette Lebre La Rovere'n'in yaptıkları çalışmada [11] CTP kiriş tasarımlarının eğilme davranışları incelenirken dayanabilecekleri maksimum yük yerine çalışma yükleri altında izin verilen sehim miktarları göz önüne alınmıştır. Yapılan çalışmada CTP profillerin eğilme davranışları analitik, deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Profiller üzerinde üç nokta eğilme testleri uygulanarak eğilme dayanımları ve kayma modülleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar sonlu elemanlar analizleri ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Literatürde Yapılmış çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada; son yıllarda piyasalarda kullanılmaya başlanmış yeni nesil malzemelerden sayılan CTP elemanların şekil ve boyutlarının eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmak için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışma için farklı kesit ve boyutlardaki CTP kutu ve I profillerden yararlanılmış, bu profillere önce eğilme sonra basınç deneyi uygulanmış deney sonucunda elde edilen sonuçlara göre numuneler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemedeki toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Kompozitler yapay ve çok fazlı malzemelerdir. Yapıyı oluşturan bileşenler, kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır [12]. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre avantajı, bileşenlerinin en iyi özellikleri, bir araya getirmesidir. Mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, ısıl iletkenlik, rijitlik, ağırlık, fiyat ve estetik görünüm gibi özelliklerinden biri veya birkaçı, kompozit malzeme üretimiyle iyileştirilebilmektedir.

Kompozit üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemeler üzerindeki çalışmalar, 1940'lı yıllarda, cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılacak en uygun malzemelerdir. İlk cam takviyeli plastik tekne 1942'de yapılmış ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da A.B.D.'de alınmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemelerden yapılmaya başlanmıştır [13]. Günümüzde bu malzemeler, her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Elyaf takviyeli gelişmiş kompozitler, kompozit malzemeler içerisinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Hatta gelişmiş elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi, jet motorundan sonra en büyük teknolojik devrim olarak nitelendirilir. Bu tür kompozitlere yüksek teknoloji kompozitleri de denilmektedir. Bunlar elastiklik modülü yüksek olan karbon elyaf veya bor elyaf takviye edilmektedir. Diğer kompozitlere göre oldukça yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptirler. Yüksek mukavemetli çeliğe göre aynı mukavemet değerlerine sahip gelişmiş kompozitler, % 70 oranında daha hafiftirler. Bazı gelişmiş

kompozitler, alüminyuma göre üç kat daha kuvvetlidir. Bu sebeple kompozitlerden imal edilen uçak parçalarının ağırlığı, geleneksel uçak malzemelerinden imal edilenlere göre % 60 oranında daha düşüktür [14]. Günümüzde uçak endüstrisinde, % 30'lara varan oranlarda kompozit malzeme kullanılmaktadır. Son 10 yılda uçak sanayinde kullanılan kompozit malzeme gelişimi, çeşitli aşamalardan geçmiştir. İlk aşamada kompozitler, uçakların bazı kısımlarında deneme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Test uçuşları sonunda herhangi bir problem çıkmayınca, mevcut uçakların metal parçaları, kompozitlerle değiştirilerek kullanılmıştır. General dynamics firmasının ürettiği F-111'lerin gövdesinde kullanılan bor-epoksi çifti, yine aynı kuruluşun ürettiği Northrop F-5'lerin gövdesinde kullanılan grafit-epoksi çifti, bu uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Üçüncü aşamada ise, uçak tasarımı sırasında parçaların bir kısmının kompozit malzemelerden yapımı uygun görülmüştür. Grumman F-14 ve McDonnell-Douglas F-15'lerde kullanılan bor-epoksi, General Dynamics'e ait YF-16'larda kullanılan karbon-epoksi esaslı kompozitler, bunlara örnek olarak verilebilir. Alüminyum içine dizilmiş bor lifleri, 1000°C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alaşımı içerisinde oluşturulmuş nikel-niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler, uçak sanayinde kullanılan diğer kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler üzerinde yoğun çalışmalar devam etmektedir. Özellikle gelişen teknolojinin malzeme gereksinimini karşılamak için tek çözüm olarak bu malzemeler görülmektedir. Birçok kişinin hayalini, tamamen kompozit malzeme kullanılarak uçak üretimi süslemektedir [14].

Bir malzemenin kompozit malzeme olabilmesi için;

1. İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
2. Kimyasal bileşenleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzleri ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
3. Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
4. Bileşenlerinin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısı ile bu amaçla üretilmiş olması [15].

Yukarıdaki tanımlarda da yer alan “ malzemenin üç boyut olarak bir araya getirilmiş olması” ifadesi, burada fiziksel anlamda bir araya getirmeyi, heterojen bir malzeme özelliği göstermeyi ve makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmayı kastetmektedir. Buna örnek olarak cam takviyeli plastiği verecek olursak, cam lifleri ile plastiğin bileşmesiyle oluşmuş bir kompozit malzemedir. Malzeme ayrıntılı olarak incelenirse malzemenin seçilen her noktası, bileşimi oluşturan malzemelerden hangisine isabet ederse onun özelliğini taşıyacaktır. Ama bütün olarak baktığımızda farklı bir malzemedir.

Kompozitler;

1. Matris elemanlarına göre

- a) Metal matrisli kompozitler
- b) Seramik matrisli kompozitler
- c) Polimer matrisli kompozitler

2. Takviye edilme şekillerine göre

- a) Parçacık takviyeli kompozitler
- b) Lamine kompozitler
- c) Elyaf takviyeli kompozitler

2.1. Matris elemanlarına göre kompozitler

2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Son zamanlarda metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar, fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını ve daha yaygın olarak kullanımına sebep olmuştur. MMK'lerin en önemli üstünlüğü mekanik, fiziksel ve termal özelliklerinin endüstriyel uygulamalarda istenen değerlere ayarlanabilmesidir. Ayrıca yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik ve

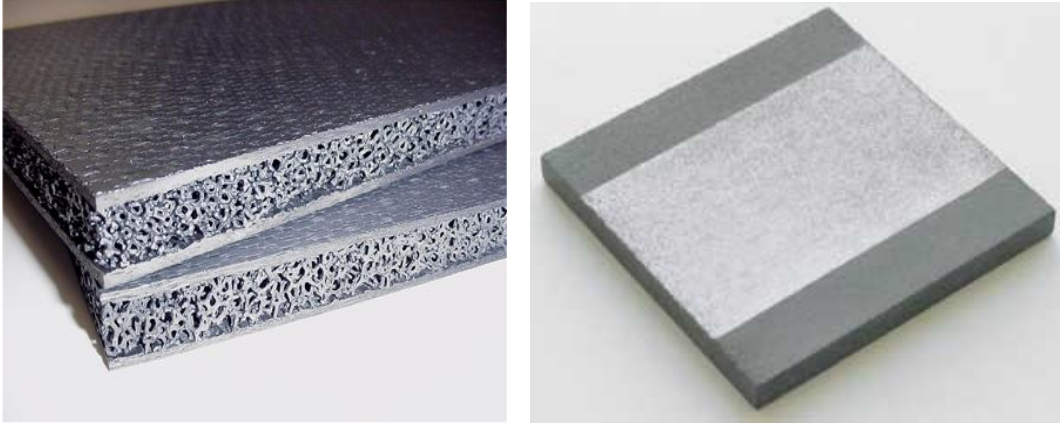
çekme dayanımı, düşük termal iletkenlik, yüksek abrazyon aşınma direnci, yüksek sürünme dayanımı v.b. gibi üstünlükleri de vardır. Geleneksel malzemelere göre üstünlüklerinin yanında sakıncaları da mevcuttur. En önemli sakıncaları tokluk ve sünekliklerinin düşük olmasının yanında üretimlerinin daha zor ve pahalı olmasıdır. Bu gruptaki kompozitler, genellikle alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal ve alaşımların matris işlevleriyle; karbon, boron ve diğer bazı metal elyaf, parçacık, plakacık, whisker yapısında takviye fazını oluşturmasından meydana gelmektedir. Bu karma malzemeler daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik özellikleriyle nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay-havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üretim süreçlerinde yeni geliştirilen son-net şekil verme teknikleri başarı ile uygulanmaktadır [16].



Şekil 2.1. Metal matrisli kompozit örnekleri

2.1.2. Seramik matrisli kompozitler

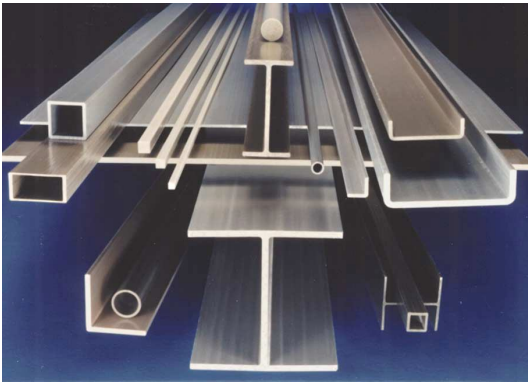
Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları ($d= 1,5 - 3,0$ gr/cm³) için oldukça çekicidir. Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bu nedenle liflerle takviye edilirler. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler [17].



Şekil 2.2. Seramik matrisli kompozit örnekleri

2.1.3. Polimer matrisli kompozitler

Plastik-polimer gurubu matris malzemelerin çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri veya pekiştirmeleri kısaca bu gruptaki kompozit malzemeler grubunu oluşturmaktadır. En tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve “fiberglas” olarak bilinen polyster esaslı reçinelerin cam elyafı ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak ileri kompozit gurubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modülü ve yüksek tokluğa sahiptir.

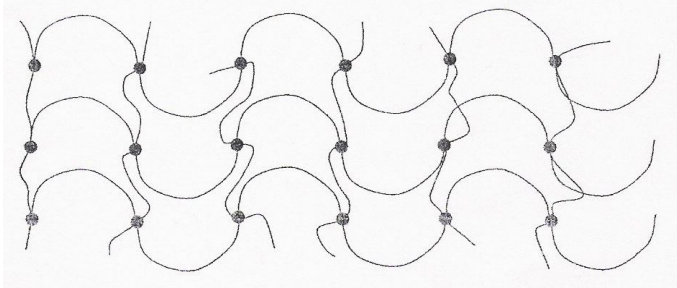


Şekil 2.3. Pultruzyon metoduyla üretilmiş CTP profil örnekleri

Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin, yani makro moleküllerin varlığı ilk Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve kısa bir süre içerisinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir. Yapı malzemeleri olarak da polimerlerin çok büyük bir önemi vardır. Bugün dünyada üretilen polimerlerin yaklaşık %30'u her sene inşaat mühendisliği ve yapı endüstrisinde kullanılmaktadır.

Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin art arda dizilmesi ile oluşan uzun zincirli yapılardır. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır. Genelde polimer denince ilk akla organik polimerler gelmesine rağmen inorganik polimerler de oldukça yaygındır. Polimer zincirleri doğrusal yani lineer olabildiği gibi dallanmış yapıda da olabilir, bu durumda ana zincirden yan dallar ayrılmaktadır. Yan dallar başka ana zincirlere bağlanıyorsa oluşan polimerlere çapraz bağlı polimerler denir ki, günümüzde kullanılan polimerlerin yarıya yakını çapraz bağlı yapıdadır. Çapraz bağlı polimerler hiç bir solventte çözünmezler ancak sıvıları emerek şişerler ve bir jel oluştururlar. Şekil 2.4'de lineer bir polimer zincirinin şematik görünüşü görülmektedir. Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılmalık, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristallik derecesi mekanik özelliklerinde çok önemlidir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleri de kristallığı arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri onların erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirleri donmuş, kauçuksu yapıdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri ise çekme-uzama testleri ile belirlenir [18].

İçyapılarına göre plastikler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.4. Elastomerin seyrek ağlaşmış iç yapısı

2.1.3.1. Termoplastikler

Termoplastikler, oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Bunlarda çizgisel molekül zincirleri birbirine zayıf metaller arasında Van der Waals bağları ile bağlanır. Rijit bir yapıya sahip değildir. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Bu malzemeler tekrar soğutulduğunda yeniden sertleşir. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozite hali yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosete göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler kristal veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda oldukça düzenli şekil oluştururlar. Amorf polimerler de ise uzun zincirler birçok noktada birbirine dolaşmıştır. Bunlar polimeri daha büyük sıcaklıklarda rijit yapar. Kısa elyafla küçük hacim ortamında hamur veya levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadır. Kimyasal etkilere karşı keza hassastırlar. Tutuşma dirençleri iyidir. [19].

Termoplastiklerin özellikleri şöyle özetlenebilir:

- a) Çok düşük rijitlik,
- b) Çok düşük çekme dayanımı ve düşük sertliğe sahip olduklarından aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler.
- c) Daha büyük süneklik, yaklaşık % 1 ile 500 arasında değişir.
- d) Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur.

Fiziksel özellikleri de şöyle özetlenebilir:

- a) Metaller ve seramiklerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları 1.2 g/cm^3 iken seramiklerin yoğunlukları 2.5 g/cm^3 ve metallerin yoğunlukları ise 7 g/cm^3 civarındadır.
- b) Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler. Kaba olarak bu metallerin yaklaşık 5 katı seramiklerin yaklaşık 10 katıdır.
- c) Düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- d) Özgül ısıları metallerin 2 katı yüksek olup seramiklerin 4 katıdır.
- e) Termal iletkenlikleri metallere göre yaklaşık 3 kat daha düşüktür.
- f) Yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler [19].

Bazı termoplastik çeşitleri şöyle sıralanabilir:

1. Asetal

Formaldehitten hazırlanır. Ticari ismi poli-methelene metilen (POM)'dir. Yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında ergime noktası yüksek (180°C) olup, nem alma kapasitesi düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı çinko ve pirinç ile yarış halindedir. Bazı otomotiv parçaları, kapı kolları, pompalar ve benzer parçaların yapımında kullanılır [19].

2. Arkilik

Polimet metha arkilik (PMMA) ile sembolize edilir. Lineer polimer olduğu için şekilsizdir. Bu önemli özelliği saydam olarak optik uygulamalarda cam ile yarış halinde olmasını sağlar. Örneğin, otomobil kuyruk ışığı lensleri ve uçak camlarında kullanılır. Camla karşılaştırıldığında dezavantajı ise çok düşük çizme direncine sahip olmasıdır. Arkiliğin diğer önemli bir özelliği de tekstil için elyaflarda kullanılmasıdır. Buna Poli akro-nitrile (PAN) örnek olup ticari ismi de Du Pont'dur. Akronitril-Butadiene-Streyn (ABS): Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. ABS iki fazlı olup bir fazı sert kopolimeri (Streyn-acrylonitrile) iken diğer fazı ise Streynbutadiene kopolimer olup kauçuktur. Üç farklı başlama maddeleri değişik oranlarda karıştırılır.

3. Polietilen (PE)

En çok kullanılan ve en ucuz plastik türüdür (toplam tüketimin % 35 i kadar). Arı halde saydamdır ve sudan hafiftir. Simetrik moleküler yapı nedeni ile büyük ölçüde kristalleşebilir. Kristalliği arttıkça (%90'a kadar) özgül ağırlık, mukavemet ve yumuşama sıcaklığı yükselir. Genellikle ince film halinde paketleme, ambalaj ve örtü işlerinde, boru, hortum ve çeşitli ucuz mutfak ev eşyası üretiminde kullanılır [19].

4. Polivinilklorür (PVC)

Polietilenden sonra en çok kullanılan plastik türü olup oldukça ucuzdur. Mukavemeti yüksek, kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Alevle yanmaya karşı dirençli olmakla beraber zehirli gaz yayar. Döşeme kaplamaları, boru, hortum yapay deri üretimine elverişlidir. Son yıllarda kapı ve pencere malzemesi olarak büyük ölçüde kullanılmaya başlanmıştır.

5. Polistrin (PS)

Arı halde saydamdır, kokusuz olmakla beraber çevre ve kimyasal etkilere karşı direnci düşüktür. Gevrek olmakla beraber kolay işlenir ve ucuzdur. Radyo kabinleri, oyuncak, mutfak eşyaları ve iç aydınlatma panoları üretiminde kullanılır [19].

6. Polimetil metakrilat (PMMA)

Akrilikler grubuna dahil (PMMA) saydam olup sert, rijit ve dış etkilere dayanıklıdır. Pleksiglas ticari adı ile deniz araçlarında, uçak ve otolarda, pencere, lamba ve reklam panoları üretiminde kullanılır.

7. Politetrafloretilen (Teflon)

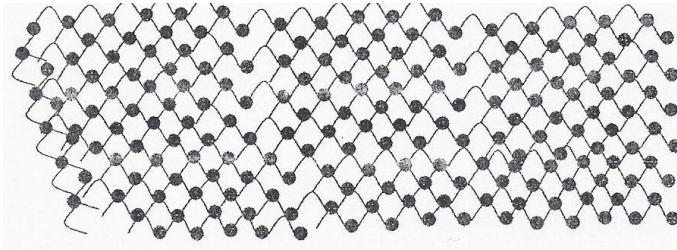
Simetrik ve homojen moleküler yapıya sahip politetrafloretilen büyük ölçüde kristalleştirilir. Bu nedenle özgül ağırlığı en yüksek polimer sayılır ($2,3 \text{ Mg/m}^3$). Mukavemeti ve aşınmaya karşı direnci yüksek, sürtünme katsayısı çok düşüktür. -200°C ile $+260^\circ\text{C}$ arasında kullanılmaya elverişlidir. Kimyasal etkilere karşı çok dayanıklıdır. Sürtünmesi düşük ve kaygan olduğundan yatak, burç ve conta üretimine elverişlidir. Ayrıca boru, pompa parçaları ve izolasyon şeritleri üretiminde de kullanılır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı olup yapışmadığından mutfak eşyalarını kaplamaya elverişlidir [19].

8. Polipropilene (PP)

Enjeksiyon kalıplarında önemli en hafif plastiktir. Dayanım/ağırlık oranı yüksektir. Yüksek ergime derecesine sahip olması, belli uygulama alanında kullanılmasına müsaade eder.

2.1.3.2. Termosetler

Termosetler, monomerler arasında olduğu gibi, makro molekülleri arasında da kovalent bağ bulunan plastiklerdir. Makro moleküller birbiriyle ağ oluşturacak şekilde kovalent bağlar ile bağlanmıştır. Aralarındaki bağların kovalent bağ olmasından dolayı kalıp içinde ağlaştırılıp imalatı tamamlandıktan sonra, ısıtılarak tekrar şekillendirilmeleri imkansızdır. Bunun sonucu olarak da sıcaklığın artmasıyla mukavemet değerinde de azalma olmaz. Başlıca termoset plastikler; epoksiler, polyester, fenolik, silikonlar ve polyamidlerdir [20].



Şekil 2.5. Termosetlerin sık ağlanmış iç yapısı

Bazı termoset çeşitleri şöyle sıralanabilir:

1. Epoksi

Epoksi reçineler, yüksek mukavemetli CTP kompozitlerinde sıkça kullanılan bir matristir. Epoksi reçineleri neme karşı hassas olsalar bile, polyesterlere karşı daha üstün özellik göstermektedirler. Isıl işlem görmemiş epoksiler, düşük polimerizasyon derecesine sahiptir. Bu yüzden, epoksinin moleküler ağırlığını ve çapraz basını arttırmak için ısıl işlem uygulanır. Isıl-işlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasallara karşı dirençleri iyidir. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, yapıştırıcılar ve CTP'ler de matris malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeni ile çeşitli elektronik uygulamalarda, örneğin transistor ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

Avantajları:

1. Kopma mukavemetleri yüksektir.
2. Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
3. Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
4. Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
5. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Dezavantajları:

1. Polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdır.
2. Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerle kullanılabilir yapıda olmaları nedeniyle, uçak yapısında tabakalı kompozit yapılar olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle, karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar.

2. Polyester

Polyester kelimesi birleşik bir kelime olup, çok anlamındaki “poly” ve organik tuzu ifade eden terim olan “ester” den oluşur. Polyester kelimesi çok sayıda organik tuz olarak ifade edilebilir. Ayrıca ester molekül zincirlerini de polimer olarak tanımlayabiliriz. Doymamış polyester reçinelerin ilk pratik uygulama örneği 2. Dünya savaşında olmuştur. Fakat cam elyafı ile takviye edildiğinde, çok sağlam ve hafif bir malzeme olduğunun anlaşılması 1950’lerdedir.

Günümüzde doymamış polyester reçineler, ilk hallerine göre çok daha üstün özelliklere sahiptirler. Doymamış polyester reçine, Türkiye’de ve dünyada CTP üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır ve takviyeli plastikler içinde ise termoset grubunda yer alan bir malzemedir. Basit kalıplama tekniklerden, en karmaşık makineleşmiş kalıplama tekniklerine kadar her tür kalıplama tekniğine hitap eder. Polyester reçineler, çok geniş bir kimyasal aileyi kapsar ve genel olarak dibazik asitlerle polihidrik alkollerin kondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilirler [21].

Kullanılan dibazik asit türüne bağlı olarak, doymamış polyester reçineler, kompozitin genel amaçlı veya kimyasal dayanımlı olmasını sağlayacak şekilde “ortoftalik” veya “izoftalik” olarak adlandırılır. Bu reçineler, kimyasal etkilere dayanıklı boru ve reaktörlerde, tren vagonlarında, iş aletlerinde, duş kabinlerinde, otomotiv gövde, parça ve kapılarında kullanılmaktadır. Genel amaç, kimyasal etkilere karşı yalıtımın ve ısı geçirimsizliğinin sağlanmasıdır [12].

Avantajları:

1. Takviyelerin neminin kolayca dışarı atılabilmesine izin veren düşük viskozite.
2. Düşük maliyet.
3. Çeşitli uygulamalar için geniş bir sınır içinde kolay imal edilebilirlik.
4. İyi çevresel dayanım.

Dezavantajları:

1. Kür sırasındaki yüksek ekzotermik reaksiyon zayıf elyaf ve matris bağ mukavemetine neden olur.
2. Sistem gevrekleşmeye eğilimlidir.
3. Çok seyreltik alkalilere bile zayıf kimyasal direnç gösterir. Polyester reçinelerin, epoksi reçinelere göre elyaf matris arası bağ mukavemetinin daha düşük olması nedeniyle, uçak yapılarındaki kullanım alanları küçük uçaklarla ve planörlerle sınırlıdır.

3. Fenolik

Ticari ismi bakalit olan fenolikler tahta ununun, selüloz elyafları ve kalıplama malzemesi olarak kullanılan minerallerin birleştirilmesinde kullanılır. Fenolikler, gevrek yapıya sahip olmalarına karşın kimyasal ve boyutsal kararlılığı iyidir. Bununla birlikte, malzemeye koyu renkler verilebilmekte fakat diğer renkler sınırlı olarak uygulanabilmektedir. Fenolikler toplam reçine kullanımının %10'unu kapsar. Bu reçineler genellikle ahşap yapıştırıcısı, baskı devre plakaları ve fren balatası yapımında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

4. Silikon

Silikonlar, inorganik ve yarı-inorganik polimerlerin moleköl yapılarında tekrarlanan siloxane basının farklı şekillerde bağlanması ile üretilir. Elastomer, termoplastikler ve termoset gibi 3 çeşitte bulunurlar. Termoset silikonlar çapraz bağlara sahiptirler. Bu tip reçineler boyama, parlatma ve kaplama işlerinde kullanılırlar.

5. Polyamide

Polyamide reçineler kür esnasında gaz açığa çıkaran bir yoğunlaşma reaksiyonu ile işlenmektedir. Bu esnada çıkan gaz, kompozitin içinde hava boşlukları oluşturduğundan mukavemet kaybına yol açmaktadır. Fakat bu durum, polyamide reçinelerin, 260°C'lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polyamide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur [12].

6. Bismaleimide (BMI)

Bismaleimide reçineler, epoksi reçineleri gibi, iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve nispeten işleme kolaylığı sağladığından matris olarak aranan bir malzemedir. Epoksi reçinelere kıyasla ısı dayanımı yüksek olup, 205-220°C'ye kadar güvenle kullanımı mümkündür. Fakat bu tür reçinelerde çekme mukavemetinin düşük, çekme modüllerinin ise nispeten yüksek olması nedeniyle gevrek kırılma yaparlar.

7. Amino Reçineler

Bu reçine cinsi, çok katı ve parçacıklı yapıya sahip plakalarda yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fakat fiyat olarak fenoliklerden pahalıdır [22].

Tablo 2.1. Bazı termosetlerin mekanik özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık (Mg/cm ³)	Çekme Muk. (MPa)	Elastikte Mod. (MPa)	% Uzama
Fenolikler	1,27	35-60	2800-9200	0-2
Polyesterler	1.28	42-95	2100-4600	0-3
Epoksiler	1,25	28-90	2800-3500	0-6
Silikonlar	1,55	21-28	8300	0

2.2. Takviye edilme şekillerine göre kompozitler

2.2.1. Parçacık takviyeli kompozitler

Bir takviye, eğer her doğrultudaki boyutları hemen hemen aynıysa, 'parçacık' olarak adlandırılmaktadır. Küre, pul, çubuk gibi eşit akslara sahip pek çok diğer şekillerde takviyeleri ihtiva etmektedir. Parçacık takviyeli kompozitler ortogonal gerilmeleri karşılayabilmeleri nedeniyle, iki boyutlu gerilme hallerinde ideal malzeme olarak görülmektedirler. Polimerler gibi, bünyesinde takviye amacı dışında parçacık bulunduran malzemeler de mevcuttur. Bunlar genellikle 'doldurulmuş' sistemler olarak bilinirler. Çünkü parçacıklar takviye amaçlı değil, maliyeti düşürmek için kullanılmaktadırlar. Yinede bazı durumlarda doldurucu, bağlayıcı maddeyi az da olsa güçlendirebilmektedir. Örneğin betonun içinde yer alan çakıl ve kum, takviyeden çok dolgu görevi görmektedir. Burada asıl mukavemeti sağlayan çimento harcının kendisidir. Aynı durum yangın yalıtımı, ısıl öz iletkenliği arttırıcılık gibi, mekanik özellikleri iyileştirici amaçların dışında eklenen parçacıklar için de geçerlidir.

2.2.2. Lamine kompozitler

İki ya da daha fazla katmandan oluşan farklı mukavemetteki levhasal elemanlarla teşkil edilmektedir. Hem sürekli hem de süreksiz olabilen katmanların kompozit davranışı etkileyen en önemli unsur, katmanların hiçbirinin üç yönde de sürekli olmamasıdır. Katmanlar arası kayma gerilmelerinin karşıladığı kısım bağlayıcıdır. Bu tür kompozitler membran gerilmelerinin karşılayacak biçimde, kendi düzlemi içinde ortogonal yönlerde (iki boyutlu gerilme hali) yük aktarma kapasitelerine sahip malzemelerdir. Ayrıca katmanların basınç ve çekme kapasitelerine göre tek boyutlu gerilmelerinde düzlem dışı eğilme için ideal içyapıları oluşturmaktadırlar.

2.2.3. Elyaf takviyeli kompozitler

Liflerle donatılı kompozitler, kompozit malzemelerin önemli bir gurubu oluşturmaktadır. Bilindiği gibi, her malzeme çeşitli olumlu olumsuz özelliklere bir arada sahiptir. Tasarımcı ve üretici, amaçlarına uygun malzemeyi seçerken, bilinçli ya da bilinçsiz olarak birbirlerine seçenek oluşturan malzemeler arasında, nitelikleri her yönü ile değerlendirerek, içinde bulunulan koşullar altında en uygun olan malzemeyi seçmeyi hedeflemektedir. Kompozit malzeme üretimi mevcut temel malzemelerin olumsuz yanlarının iyileştirilmesi ve böylelikle kullanım alanının genişletilmesi, çok yönlü kullanmanın sağlanması yönünde önemli bir adımı oluşturmaktadır. Değişik malzemeler liflerle donatılarak çeşitli özelliklerini özelleştirmeye yönelik çalışmaların teorik yönü ile ele alınışının yeni olmasına karşın, ilk uygulamaların çok eskilere dayandığı bilinmektedir.

Kerpiç malzemenin bitkisel elyaf ve samanla karıştırılarak yapılması, alçı hamurunda yine bitkisel lifler ile at kuyruğu ve yelesi gibi hayvansal liflerin, kılların kullanılması, asbest lifleri gibi inorganik malzeme kullanılarak çimento bağlayıcılı malzemelerin donatılması herkesçe bilinen örneklerden birkaçıdır.

Malzemelerin liflerle donatılması, öncelikle mekanik dayanımları daha iyi olarak kompozit malzeme üretmeye yöneliktir. Malzemeler, özellikle çekme, eğilme ve çarpma dayanımları gibi mekanik dayanımların iyileştirilmesi, gevrek kırılma özelliğinin kısmen giderilmesi amacı ile lifler kullanılmaktadır.

Liflerle donatılı kompozit malzeme de, en basit hali ile iki fazlı kompozit olarak ele alınabilmektedir. Kompozitin sürekli fazını, lifleri bir arada tutan ve kompozit içindeki hacim oranının yüksekliği nedeni ile kompozitin ana bileşeni olarak da düşünebileceğimiz matris malzemesi oluşturmaktadır. Bu matris içinde, lif olarak kullanılan malzeme ikinci bir fazdır. Lifin etkinliği, lif malzemesinin E-modülünün matrisin E-modülünden çok daha yüksek olmasına bağlıdır. Matris ve lif fazının E-modülü değerlerinin birbirine yakın olması halinde, lif fazı taşımaya yeterince katılamamakta ve dolayısıyla kompozit amaçlanan özelliklere sahip olmamaktadır. Lifli kompozitlerde lifin taşımaya katılabilmesi için matris üzerindeki mekanik etkinin life iletilmesi gerekir. Burada lif ile matris arasında herhangi bir kimyasal bağ yoktur ve iletim kayma kuvveti ile olacaktır. Dolayısı ile lifle matris arasında, meydana gelebilecek kayma gerilmelerine dayanabilecek düzeyde bir aderansın bulunması gerekmektedir. Ayrıca, fazlar arasında kimyasal etkileşimin olmaması ve yine fazların ısı genleşmesi değerlerinin kompozitin yapısını bozacak düzeyde farklılık taşımaması da öngörülmektedir.

Lifli kompozitlerde özellikle çekme, eğilme, çarpma dayanımlarında önemli artışlar olmaktadır. Dolayısı ile bu tip kompozit malzemede, sözü edilen çekme, eğilme gibi gerilmelerin birim ağırlığa oranı da diğer malzemelere göre daha yüksektir. Bir boyutu diğer boyutlarına oranla çok fazla olan malzemelerin hacim içindeki konumu, lifli kompozitlere has özellik olan “lif yönü” ile ilgili bir diğer kriteri oluşturmaktadır. Lif yönü, kompozitin dayanımı ve liflerin taşımaya katkısı açısından önemli bir faktördür. Dolayısı ile yönlenmiş lif donatılı kompozitler değişik yönlerden farklı özellikler gösterirler. Liflerin matris içinde rast gele geliş güzel dağılmış olması halinde malzeme izotrop kabul edilir. Bu durumda kompozitin özellikleri yöne bağlı olarak değişmez. Sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitlerde, malzemenin matris fazını epoksi, polyester, fenolik reçine, melamin reçinesi gibi organik maddeler oluşturur. Bu kompozitlerde, matris malzemesine oranla daha

kırılğan özellikler taşıyan cam ve seramik esaslı lifle, asbest lifleri, yüksek dayanımlı çelik lifler kullanılmaktadır. Sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitlere örnek olarak, ülkemizde de yaygın üretimi ve çok yönlü kullanımı olan cam lifi donatılı polyester reçinesi gösterilebilir. Bu malzeme dilimizde uzun yıllar, kısmen de hatalı biçimde “Fiberglas” adıyla anılmıştır. Günümüzde cam elyaf takviyeli plastik adıyla yaygınlaşmıştır. Göreceli olarak daha ucuz olan cam elyaf takviyeli plastikler, genellikle otomotiv endüstrisi, elektrik- elektronik endüstrisi, kimya endüstrisi, gemi inşaat endüstrisinde ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde ise hafifliğin ve yüksek mekanik dayanımın belirleyici olması nedeniyle, pahalı takviye elyafları kullanılmaktadır.

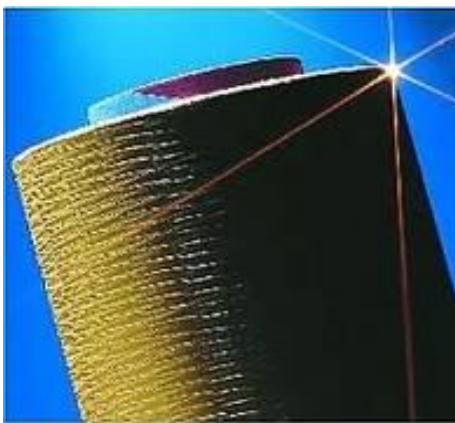
Takviye elamanlarını başlıcaları; cam, karbon, boron, alüminyum oksit ve silisyum karbür olup değişik morfolojik şekilde olabilmektedir. Ancak, kompozitlerde takviye elemanı olarak elyaf veya kılcal kristal formlu malzemeler kullanıldığı zaman optimum özellikler elde edilebilmektedir. Fakat bunlar ekonomik değildirler. Kompozit malzemelerde en yaygın olarak cam, karbon ve aramid elyafları kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilebilmektedir.

Tablo 2.2. Bazı takviye malzemesi olarak kullanılan liflerin mekanik özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Aramid lifi	1,46	3600	124000

2.2.3.1. Aramid elyaflar

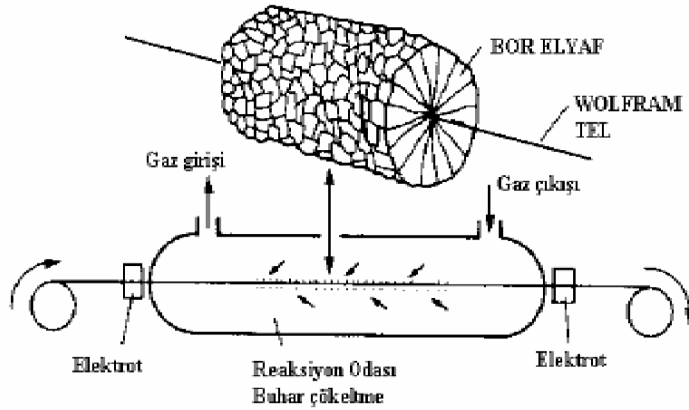
Aramid elyafı termoplastik polimerlerden üretilen bir lif türüdür. Aramid ismini, 1960'ların ilk yarısında ticari olarak üretilen aromatic polyamide elyaflarından almaktadır. Ancak, yüksek performanslı olanları para-phenyleneterephthalamide türevleridir. Bu elyaflar 345 kN/cm^2 mukavemet ve 13200 kN/cm^2 elastik modülüne kadar ulaşabilmektedir. Aramid elyafı, sahip olduğu mekanik özelliklerinden dolayı, yüksek dayanım istenen kompozitlerin yapımında kullanılır ve en çok bilineni Kevlar 49'dur [24,25]. 1980'den beri, yüksek teknoloji ürünleri olarak bilinen aramid elyafı, önemli bir mesafe kat etmiş olup; uzay, denizcilik, spor ürünleri, eğlence, otomotiv ve silah endüstrisi gibi klasik kompozit pazarlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu elyaf, düşük yoğunluk ile yüksek elastik modül ve ayrıca iyi düzeyde yapışma özelliği ile yüksek mukavemet/ağırlık oranını bir araya getirmektedir. Mukavemet ve modül değerleri yanı sıra, liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi ve darbeye karşı dayanım özelliklerinden dolayı, yaygın olarak kullanılan reçinelerin çoğunluğu ile kullanılabilir. Aramid elyafının negatif ısıl genleşme katsayısından dolayı, ısı iletiminin önem taşıdığı ortamlarda yaygın olarak kullanılır. Aramid ürünleri iplik, fitil, kırılmış elyaf şeklindedir. Ayrıca, aramid elyafı fiyat ve performans değerlerini sağlamak üzere tasarlanmış olan aramid, cam ve karbon elyafının kombinasyonu şeklinde hibrid ürünler halinde de üretilmektedir [26].



Şekil 2.6. Aramid elyafı

2.2.3.2. Bor elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Bor-Tungsten elyaflar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BCl_3) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda üretilirler (0.05 mm ile 0.2 mm). Tungsten çekirdek ise daima 0.01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ile 3447 MPa'dır. Elastik modül ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastik modülünden beş kat daha fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B_4C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanım artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları $2040^{\circ}C$ civarındadır [27].



Şekil 2.7. Bor elyaf üretimini gösteren şema

2.2.3.3. Silisyum karbür elyaflar

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0.1 mm ile 0.14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370°C'ta mukavemetinin sadece %30 nu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640°C'tır. Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, Alüminyum ve Vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür [27].

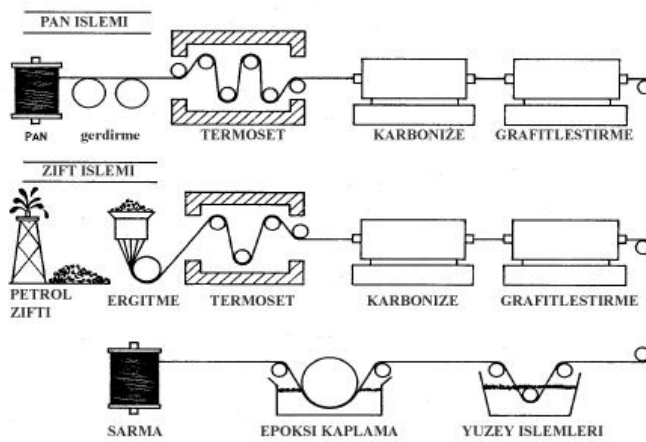
2.2.3.4. Alümina elyaflar

Alümina, Alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alümina, 0.02 mm çapındaki alümina flamanın Silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alümina elyafların çekme mukavemetleri yeterince iyi değildir ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ile 2413 MPa'dır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar [27].

2.2.3.5. Karbon elyaflar

Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam fiberin metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3–5 kat artırılması çok belirgin bir amaçtır. Karbon fiber, epoksi matriksler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon fiber üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon fiberlerin çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon fiberin üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır. Karbon elyaflar çoğunlukla iki malzemeden elde edilir; Zift ve PAN (Poliakrilonitril) Zift tabanlı karbon elyaflar göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı karbon elyaflar kompozit malzemeleri daha sağlam ve

daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. Bu elyaflar ile önce gerdirilerek termoset işlemlerle 400°C'nin üzerine ısıtılır. İlk aşama organik malzemenin oksidasyonuna neden olur. Daha sonra malzeme yaklaşık olarak 800°C de vakum altında karbonizasyon işlemine tabii tutulur ve karbon dışındaki empüritelere arındırılır. Malzemenin karbonizasyonundan sonra elyaflar %50 ile %100 arasında gerdirilerek 1100° C ile 3000° C arasında ısıtılarak grafitleştirme işlemi yapılır. Son olarak elyaflar yüzey işlemlerinden geçerler ve epoksi-fiber bağının güçlenmesini sağlamak amacıyla epoksi kaplanırlar.



Şekil 2.8. Karbon elyaf üretimi

Karbon elyafın özellikleri

- 1)- Yüksek çekme mukavemetine ve 200-300 GPa değerinde orta elastik modüle sahip olan elyaflardır.
- 2)- Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir.
- 3)- Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir.
- 4)- Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler.
- 5)- Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar.

6)- Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar.



Şekil 2.9. Karbon elyafı

2.2.3.6. Cam elyaflar

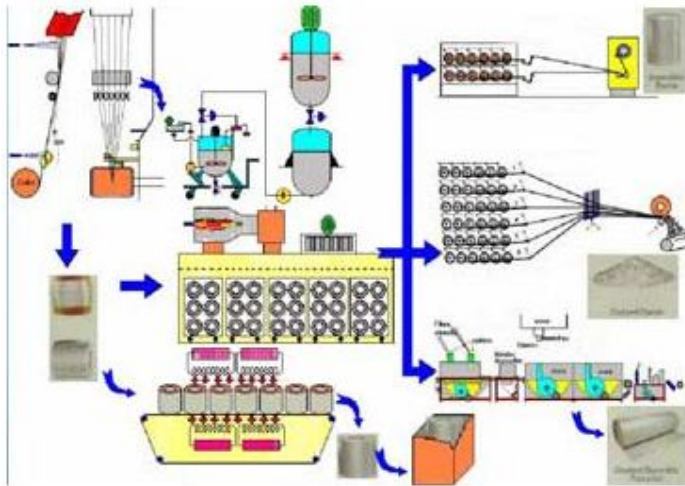
Tarihte, cam elyafının ilk kez Fenikeli ve Mısırlı sanatçılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. O zamanlarda lifler, cam çubuklarının ısıtılması sonucunda, yumuşatılarak akıtılması şeklinde elde ediliyordu. Kullanım yeri, yine takviye amacına yönelikti ve çanak, çömlek, amfora gibi ürünlerin sağlamlaştırılmasını sağlıyordu. Bugün bildiğimiz devamlı cam elyafı 1930'lu yılların sonlarına doğru geliştirilmiştir [27]. 1940'lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır. Cam elyafı başlangıçta sadece Termoset yapıdaki plastiklerin takviyesinde kullanılırken, günümüzde termoplastiklerin de takviyesinde hızlı bir büyüme göstermektedir. Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi hammaddelerden üretilmektedir. CTP kompozitin takviyesinde (maliyetinin düşük olmasından dolayı) en çok tercih edilen E tipi cam elyafını elde etmek için; öncelikle istenen özellikleri elyafa kazandıracak hammaddeler fırında (yaklaşık 1550°C de) eritilir. Eriyik haline gelen hammadde, platin radyum alaşımından yapılmış ocakta, elektrik enerjisi ile $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyet ile 1250°C de ısıtılır ve üzerinde 1-2 mm çapında çok sayıda delik bulunan kovan denilen eleklerden geçirilir [26]. Elyaflar üretim esnasında dayanıklılıklarının %50'sini

kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir.



Şekil 2.10. Cam elyaf üretimi

Cam elyafı ile matrisin yapışma gücünü arttırmak için "silan" bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilebilmektedir;



Şekil 2.11. Cam elyaf üretim şeması

Cam elyaf üretiminde kullanılan başlıca cam cinsleri;

1. A Cam - Pencereelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitler de çok fazla kullanılmaz.
2. C Cam - Yüksek kimyasal direnç gösterir. Bu özelliği nedeni ile depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.
3. E Cam - Takviye elyaflarının üretiminde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir.
4. S + R Cam - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır. Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam'ın yarısı kadardır. Böylelikle elyaf sayısı fazlaşır; dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir.

Malzeme elyaf haline geldiğinde, reçine ile arasındaki aderansı sağlamak amacıyla, kovan deliklerinden geçen sıvı malzeme üzerine, hava ile birlikte kaydırıcı (Lubricant) ve bağlayıcı (Coupling Agent) püskürtülür; böylece malzeme yarı katı hale getirilir. Yarı katı haldeki eriyik malzeme, “kek” adı verilen silindir üzerine 50-70 m/s gibi yüksek bir hızla, cam lifi demetleri olarak sarılır. Sarım hızına bağlı olarak, 6-20 µ çapında değişen cam elyafı elde edilir [28]. Elyaf takviyeli organik bağlayıcı kompozitlerin ilk uygulamaları, cam elyaflar ile yapılmıştır. Hem sürekli hem de süreksiz cam elyaf takviyeli kompozitler, uçak kontrol panelleri gibi yapısal olmayan kullanımlardan, roket motoru parçaları, yüksek basınç kabinleri gibi yüksek yapısal dayanım gerektirmeyen uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede uygulama imkanı bulmaktadır. Cam elyafı, birçok çeşidi olmasından dolayı, çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca, cam elyaf takviyeli kompozitlerin geçmişten günümüze kadar birçok kullanım alanı bulmasının ana sebebi; düşük maliyeti, kolay elde edilebilirliği, üretim kolaylığı ve yüksek mukavemeti olarak gösterilmektedir.

BÖLÜM 3. CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER (CTP)

Cam elyaf takviyeli plastik malzemelerde, takviye malzemesi olarak cam elyaf bulunmakta ve bu takviye malzemesinin çevresinde hacimsel olarak daha fazla miktarda polyester, dolgu maddesi, boya ve kimyasal reaksiyon için gerekli olan maddelerden oluşmuş bir matris bulunur. Cam elyaf takviye olarak mekanik özellikleri iyileştirir, matris ise deformasyon sırasındaki çatlak oluşumunu önleyici rol oynar [29].

3.1. CTP'nin avantajları

- 1)- Mukavemet/ağırlık oranı avantajı ve sertlik,
- 2)- Sınırsız kalıplama boyutları,
- 3)- Kolay üretim,
- 4)- Çok sayıda üretim tekniği,
- 5)- Küçük sermaye yatırımı, (el yatırma yöntemi)
- 6)- Düşük maliyetle az sayıda üretim olanağı, (el yatırma yöntemi)
- 7)- Tasarım esnekliği,
- 8)- Diğer malzemelerle bağdaşma olanağı,
- 9)- Mükemmel su dayanımı,
- 10)- Çok sayıda kimyasal maddeye dayanım,
- 11)- Hava koşullarına dayanım,
- 12)- UV ışınlarına dayanım,
- 13)- Kendinden renklendirme olanağı,
- 14)- İstendiğinde yanmazlık,
- 15)- İsteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretebilme olanağı,
- 16)- İstenilen mukavemette ve özellikte üretebilme kolaylığı,
- 17)- Çok iyi elektrik ve termal özellik,

18)- Farklı mekanik özellikleri elde etmek için farklı katmanlarda ve farklı kombinasyonlarda malzeme üretilebilir olma imkanı,

19)- Hacimsel fazda, CTP üretimi için metallere daha az enerjiye ihtiyaç duyulması [23].

3.2. CTP üretimi

3.2.1. CTP üretiminde kullanılan malzemeler

- a) Polyester reçineler,
- b) Hızlandırıcılar,
- c) Dolgu maddeleri,
- d) Boyalar,
- e) Katalizörler,
- f) Kalıp ayırıcılar,
- g) Takviye malzemeleri.

3.2.1.1. Polyester reçineler

Polyester, katman içindeki takviye liflerini bağlayıcı rol oynar. Önemli iki evre vardır; Birincisi, cam takviyenin ıslandığı sıvı veya yapışkan bir madde elde edilmesi, ikincisi Sert ve dayanıklı ürün elde etmek için katılaşmanın meydana gelmesidir. Doymuş polyester reçineler, polietilen tetraflor terilen gibi termoplastik özellik gösteren ve enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan reçinelerdir. Doymamış polyester reçineler, uygun bir katalizör ile uzay ağı şebeke yapısı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. CTP üretiminde genellikle doymamış polyester reçine kullanılır [30].

3.2.1.2. Hızlandırıcılar

Doymamış polyester reçinelerin donma ve sertleşmesi, serbest kök kaynağı olarak kullanılan peroksitler vasıtasıyla gerçekleşir. Bu serbest köklerin elde edilmesi için peroksite ısı veya bir başka enerji verilmesi gerekir. Soğukta veya az ısıda sertleşme

temin etmek istendiğinde peroksite, serbest kökler halinde çözülmesini kolaylaştıran bir hızlandırıcı ilave edilir. Hızlandırıcı, katalizör ile direk etki etmemelidir. Patlama ve yangın tehlikesi yaratır. Özel bir kap gerektirmeden uzun süre saklanabilir [31].

3.2.1.3. Dolgu maddeleri

Maddesel, bitkisel, sentetik kökenli, toz, toprak, kristal halinde reçineye nazaran hareketsiz ürünlerdir. Dolgu maddeleri sertleştirme prosesi esnasında veya sertleşmiş halde reçine sisteminin özelliklerini değiştirmek için ve genellikle reçine sisteminin maliyetini düşürmek için kullanılır, bununla birlikte diğer özellikleri de değiştirir. Azami faydayı sağlamak için kalıplama prosesini ve son kullanım amacına göre doğru tip ve gerekli miktar dikkatlice seçilmelidir. [31]. Bitmiş parçada aranan özelliklere göre dolgu maddesi seçilir. Fakat mekanik özellikleri ve görünüşü etkileyecek ikinci derecedeki reaksiyonlara dikkat etmek gerekir. Dolguların boyama etkisi önemlidir. Boya yerinede kullanılırlar fakat bazı hallerde iyi renk vermezler.

3.2.1.4 Boyalar

Boyarlar mineral veya organik kökenli ürünlerdir. Reçinenin ve jelkotun boyanmasında kullanılır.

Çeşitli boya tipleri

a) Maddesel boyalar

Genellikle metaloksitleridir. En tanınmış titan oksit (TiO) beyaz renk verir. Demir oksit siyah renk verir. Bazı ürünlerin ağırlaştırıcı etkisi de vardır.

Maddesel Boyaların Özellikleri

1. Reçine içinde erimezler.
2. Parçaya donukluk verirler.
3. Işığa ve ultraviyole ışınlarına dayanırlar.

b) Organik boyalar

Fiyatı yüksek olduğundan az kullanılır. Bazı ürünlerin zehirleyici etkisi vardır.

c) Sentetik boyalar

Sentetik Boyaların Özellikleri

1. Polyester reçine içinde erirler.
2. Yarı saydamdırlar
3. Ultraviyoleye dayanıksızdırlar.

3.2.1.5. Katalizörler

Polyester reçinenin polimerleşmesi, katalizör aracılığı ile zincirlerin ağ şeklinde birleşmesi ve reçinenin sıvı halden katı hale geçmesidir. Normal ısıda çalışıldığında bu reaksiyondan ısı çıkar [32]. Katalizör tabirinde yanlışlık vardır, kimyada katalizör kendisi kimyasal olaya katılmayan, bu reaksiyonu kolaylaştıran ve sonuçta aynı kalan bir maddedir. Katalizör, doymamış polyester veya reaktif monomer zincirlerinin ağ şeklini almasını başlatır. Bunlar organik peroksitlerdir. Doymamış polyesterin, stiren içinde çözülmüş şekline “polyester reçine“ denir [33]. Kopolimerizasyonu başlatmak için ihtiyaç bulunan enerjiyi sertleştiriciler verir. Bunlara (sertleştiriciler) peroksit bileşenler denir. Peroksit parçalanması, ısı ile veya kimyasal maddelerle oluşur. Peroksit parçalanması ısı ile meydana gelmişse sıcak sertleşme, kimyasal maddelerle meydana gelmiş ise soğuk sertleşme oluşur. Polyesteri sertleştirmek için kullanılan organik peroksitler katı, sıvı veya pasta halinde bulunurlar. Oksijenin varlığı nedeni ile organik peroksitler tehlikeli olabilirler [31].

3.2.1.6. Kalıp ayırıcılar

CTP ürününün kalıptan kolaylıkla çıkartılmasını sağlamak için kullanılır. Kalıp yüzeyine sürülen kalıp ayırıcılar, kalıbı parçadan izole eden koruyucu bir film teşkil eder [31].

3.2.1.7. Takviye malzemeleri

Takviye malzemeleri, reçine sistemlerinin mekanik özelliklerini arttırmak amacı ile kullanılırlar. Takviyeler içinde en çok kullanılan, cam elyafıdır. Takviye için kullanılan cam elyafları, biçimlerine temel olarak devamlı cam elyafı takviye (fital, iplik ve keçe) ve kesikli cam elyafı takviye elemanları olarak sınıflara ayrılırlar.

1. Fital

Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile üretilir [4]. Fital ürünleri 10-24 mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000 metre uzunluğunda ve 600 gr, 1200 gr, 2400 gr ve 4800 gr ağırlığında olacak şekilde üretilir. Kullanım yeri ve prosesine bağlı olarak, sertlik, lifler arasında eş gerilim, kayganlık ve kolay kırılabilme gibi farklı özellikler fitillere kazandırılabilir. Özel olarak üretilen ve “Spun roving” adı verilen düğümlü fitilde ana doğrultuya dik yönde takviye sağlayan ilmekler bulunmaktadır. Bunun amacı; tek yönde takviye edilmiş pultrüzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanıl mukavemeti arttırmaktır.

2. İplik

İplik; cam elyaf liflerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen lif çeşididir. Şekil 3.1’de fitil ile ipliğin farkı görülmektedir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.



a) Fitil



b) İplik

Şekil 3.1. Elyaf çeşitleri

3. Kumaş

Dokunmuş veya dokunmamış halde, farklı elyaf türlerinden elde edilebilen, yassı veya rulo haline getirilmiş tüm takviye malzemelerine, genel olarak kumaş “Fabric veya Cloth” denir. Kumaş ürünleri, cam elyafı, aramid, karbon elyafı gibi takviye malzemelerinin, tek ya da birbirleriyle hibrid (karışık) olarak bir araya getirilmesiyle oluşurlar. Kumaş tiplerinden biri, dokunmuş fitillerdir. Bunlar; dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafı takviye malzemesidir. dokunmuş fitiller, birbirlerine 90°C’lik açı ile atkı ve çözgüsünde aynı teks fitillerin kullanıldığı kumaşlar olarak tanımlanmaktadır. Farklı ağırlık (300-1200 gr/m²) ve enlerde (125-300 cm) üretilen kumaşlar, cam tülü veya keçe ile dikilerek kombine ürün haline getirilerek de kullanılmaktadır.



a) Dokunmuş Fitiller



b) Dokunmuş Cam Kumaşlar



c) Dikilmiş Kumaşlar

Şekil 3.2. Kumaş çeşitleri

Çok yönlü mukavemet sağlaması amacıyla, dokunmamış fitiller ile devamlı fitillerin iki veya üç katlı oluşturulması ve sonrasında bu katların polyester iplik ile dikilmesi sonucu elde edilen çok yönlü fitil kumaşlar bir diğer kumaş türüdür. Ayrıca, bu kumaşlar, 45 veya 90 derecelik açılardan bir arada kullanılmasının yanı sıra, keçe ile dikilebilir. Diğer taraftan, cam liflerinin düzgün dağılımlı tabakalar oluşturacak şekilde yayılmasından oluşan devamlı keçe diğer bir takviye malzemesidir. Bu şekilde yayılan lifler, ikinci bir bağlayıcı kullanılarak bir arada tutulur. Bağlayıcı cinsi ve miktarı öngörülen uygulama alanına bağlıdır. Devamlı keçeler önceden şekillendirilerek veya şekillendirilmeden maçalı olarak kapalı kalıplamada, pultruziyonda, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretiminde kullanılabilir. Bir başka cam elyafı takviye çeşidi olan kırılmış keçe, 50 mm uzunluğunda kırılmış cam elyafı demetlerinin, bağlayıcı ile bir arada tutulmasıyla oluşur. Kullanılan bağlayıcı miktarı, proses gereklerine ve istenen özelliklerine bağlı olarak % 3-10

arasında değişmektedir. Kırpılmış keçeler, açık kalıplama uygulamaları veya levha üretiminde kullanılmaktadır.



a) Devamlı Keçe



b) Kırpılmış Keçe

Şekil 3.3. Keçe (Mat) çeşitleri

4. Kesikli cam elyafı

Kesikli cam elyafı takviyeleri boylarına göre iki çeşittir. Bunlardan ilki, 3-12 mm uzunluğundadır ve kırpılmış elyaf olarak adlandırılır [27]. İkincisi ise, öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları, 0.1-0.2 mm'ye düşürülmüş cam elyafı takviye malzemesidir. Bu liflerin çapları 10-17 mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı, termoplastik ve poliüretan reçinelerin takviyeleridir.



a) Kırpılmış Elyaf



b) Öğütülmüş Elyaf

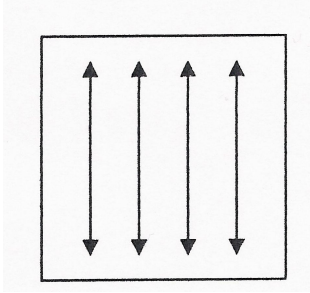
Şekil 3.4. Kesikli cam elyaf takviyeleri

Bütün bu çeşitlere sahip olan cam elyafı, kompozit üretiminde en çok kullanılan takviye malzemesidir. Fakat, bazı uygulamalar için cam elyafının sahip olduğu 7000-8000 kN/cm² değerinden daha yüksek elastik modül değerlerine ihtiyaç duyulur. Bu yüksek modül değerlerini karşılayabilmek üzere, daha yeni ve yüksek teknolojik ürünler geliştirilmektedir.

CTP üretiminde kullanılan cam elyaf tipi, kompozitin içinde elde edilen takviye yönlerini belirlemektedir.

a) Tek yönlü takviye;

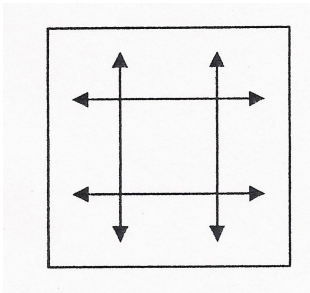
Cam elyaf fitiller ve iplikler ile oluşturulmaktadır.



Şekil 3.5. Tek yönlü cam elyafı tipinin şekli

b) İki yönlü takviye;

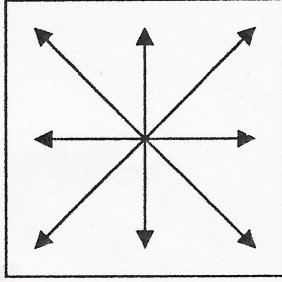
Cam elyaf dokuma ve kumaşlar ile oluşturulmaktadır.



Şekil 3.6. İki yönlü cam elyafı tipinin şekli

c) Çok yönlü takviye;

Cam elyaf keçeler, kırılmış demetler ve hazır kalıplama bileşenleri ile oluşturulmaktadır.



Şekil 3.7. Çok yönlü cam elyafı tipinin şekli

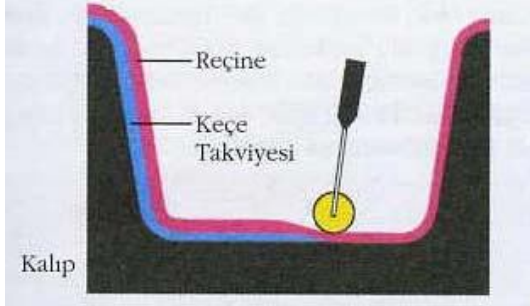
3.3 CTP üretim yöntemleri

Kompozit malzemelerinin bu kadar yaygınlaşmasının temel sebebi, geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler sergilemesi ve son yıllarda bunların üretim teknikleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılması olarak gösterilebilir. Fakat bu kompozitlerin üretim maliyetleri hala yüksektir. Ayrıca dayanıklı, hafif, emniyetli, çok çeşitli şekillere sokulabilmeleri, yani çeşitli konulara özgün çözümler getirmeleri ve uygun kullanım ile kaynak tasarrufu sağlamalarından dolayı tercih edilirler.

3.3.1. Elle yatırma yöntemi

Düşük üretim düzeylerinde yaygın olarak kullanılan bir kalıplama metodudur. İlk zamanlardan gelişime açık olan ve üzerinde çalışılan üretim yöntemlerinden biri olmuştur. Bu yöntemin birçok uygulama alanı vardır ve özellikle yüksek mukavemet gerektiren oldukça büyük parçaların üretiminde rahatlıkla kullanılabilir. Kompozit endüstrisinde kalıplama yöntemleri arasında temel ve en uygulanabilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem sıvı reçine ve takviye malzemesi ile (genellikle keçe veya dokuma) birlikte açık kalıba yerleştirilir ve rulo ile uygulama yapılır. Reçinede meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, malzemeyi yüksek

dayanımlı ve hafif ürünler elde edilecek şekilde sertleştirir. Beton matris, içindeki çelik çubukların takviyesini üstlendiği gibi, reçinede elyaf takviyeleri için matris görevi görmektedir.



Şekil 3.8. El yatırması yönteminin genel görünümü

Üretimin başlangıç aşamasında, pigment katkılı jelkotlar kalıp yüzeyine sprej tabancası veya fırça ile uygulanır. Jelkot yeterli derecede sertleştiğinde, elyaflar tabakalar halinde jelkot'un üzerine yerleştirilir ve reçine elle kalıba uygulanır. Takviye malzemesi üzerine tatbik edilen reçine, sertleşene kadar rulolama işlemine tabi tutulur. Rulolama sayesinde, laminat tabakaları arasında kalan hava kabarcıkları giderilir. Bu işlem, aralıklı olarak ve her yeni konan takviye malzemesinin ardından uygulanır.

Takviye malzemesinin çeşidi ve kalınlığı için tasarım aşamasında bir takım hesaplamalar yapılır. Ayrıca katalizörler, hızlandırıcılar ve yapılacak olan parçanın kullanımı için gerekli olan malzemeler reçineye ilave edilebilir. Böylece kompozit laminatlar, dışarıdan ısı kaynağına ihtiyaç duymadan, oda sıcaklığında sertleşirler. Birçok el yatırması uygulamasında reçine olarak, genel amaçlı DCDP polyester ağırlık kazanmıştır. Ayrıca; izoftalik polyesterler, vinil esterler ve epoksi reçineler gibi diğer termoset esaslı reçineler de kullanılmaktadır. Bununla beraber, bu kalıplama yönteminin birçok uygulamasında, takviye elemanı olarak kompozit malzemenin ağırlıkça %25-35'ini oluşturacak şekilde, keçe kullanılmaktadır. Dokuma, daha yüksek oranda bir takviye yüklemesi ve bunun sonucunda daha

yüksek mukavemet değerleri elde etmek amacı ile kullanılır ve bazı uygulamalarda CTP laminatın %50'sini oluşturur.

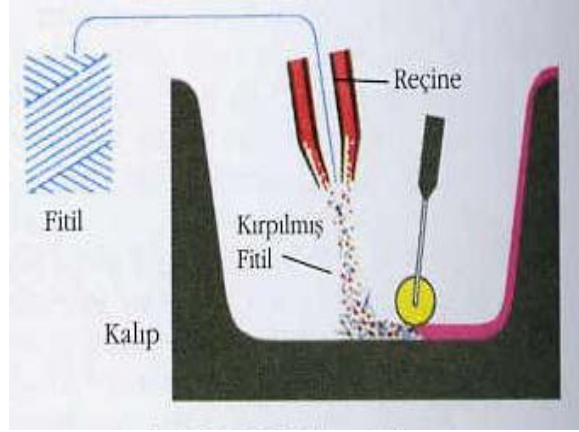
El yatırması yöntemiyle üretilen parçaların tipik son ürün uygulamaları, tekne gövdeleri, otomobil ve kamyon gövde panelleri, yüzme havuzları, depolama tankları, korozyona dayanıklı ürünler, elektrikli ev aletleri, havalandırma kanalları, mobilya ve aksesuarları gibi ürünleri içerir. Ayrıca, CTP kompozit parçaları olan bal peteği görünümlü malzemeler, köpükler ve üç boyutlu (üç yönlü örgüye sahip) cam elyafı gibi ara malzemelerin güçlendirilmesi de yapılabilir. Bu tür ara malzemeler kullanılarak üretilen kompozitler, çoğunlukla "sandviç yapılı kompozit malzemeler" olarak adlandırılırlar [34].

3.3.2. Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi, birçok yönden el yatırması yöntemiyle benzerlik gösterir. Püskürtme, düşük ve orta üretim düzeylerindeki CTP ürünlerinin imalatı için kullanılmaktadır. Bu yöntemde, cam elyafı takviye malzemeleri ile kataliz eklenmiş reçineler Şekil 3.9a'da gösterilen özel bir püskürtme tabancasıyla kalıp yüzeyine uygulanır. Bu tabanca, uygun uzunluklarda sürekli elyaf liflerini kırmakta ve aynı zamanda elyafları reçineyle karıştırarak yüzeye püskürtmektedir. Malzeme, kalıp yüzeyine püskürtüldükten sonra, laminatın tamamen ıslanabilmesi ve reçinede kalan hava kabarcıklarının çıkartılabilmesi için Şekil 3.9b'de gösterildiği gibi rulolama işlemi yapılmalıdır. Kırılmış cam elyafı tabakalarının yanı sıra, gerektiğinde dokuma veya kumaş gibi takviye malzemeleri de kullanılmaktadır. Ayrıca, püskürtme reçinesine, üründen beklenen özellikleri geliştirmek, maliyeti düşürmek ve yangın/duman performansını arttırmak amacıyla kalsiyum karbonat ve alüminyum trihidrat gibi dolgu malzemeleri de ilave edilebilmektedir.



a) Püskürtme tabancası



b) Püskürtme yöntemi

Şekil 3.9. Püskürtme yönteminin genel gösterimi

Püskürtme yönteminde, matris malzemesi olarak genel amaçlı reçineler ya da DCDP polyester reçineler kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilmiş parçalar genellikle oda sıcaklığında sertleştirilir. Buna rağmen bazı durumlarda, hafif derecede dışarıdan ısıtma, sertleşme sürecini hızlandırmak amacıyla kullanılır. Püskürtme yönteminde takviye malzemesi olarak, genelde 1,3 ile 2,5 cm uzunluğunda kırılmış cam elyafı kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi kullanılmamış sistemlerde cam elyafı takviyesi ağırlıkça %20-35 arasındadır. Dolgu malzemesi kullanılmış sistemlerde ise, dolgu malzemesi kısmen takviye malzemelerinin yerini alır ve böylece son üründe kullanılan elyaf takviye miktarının ağırlıkça oranı %10-20 arasında değişir. Ayrıca, uygulama yerindeki beklentilerine göre farklı takviye malzemeleri kullanılabilir. Başlıca kullanılan takviye malzemeleri keçe, fitil dokuma, şerit, kumaş ve elle yerleştirilebilen diğer malzemelerdir. Bunlara ek olarak, el yatırmasına benzer şekilde PVC ya da poliüretan köpük, kontrplak ve oluklu paneller gibi ara malzemeler kullanılarak konstrüksiyonlu laminatların üretimi de mümkündür. Bu yöntemle üretilen tipik ürünler tekne gövdeleri, otomobil ve kamyon gövde panelleri, yüzme havuzları, korozyon dayanımlı ürünler elektrikli ev aletleri, havalandırma kanallarıdır [34].

3.3.4. Hazır kalıplama yöntemi

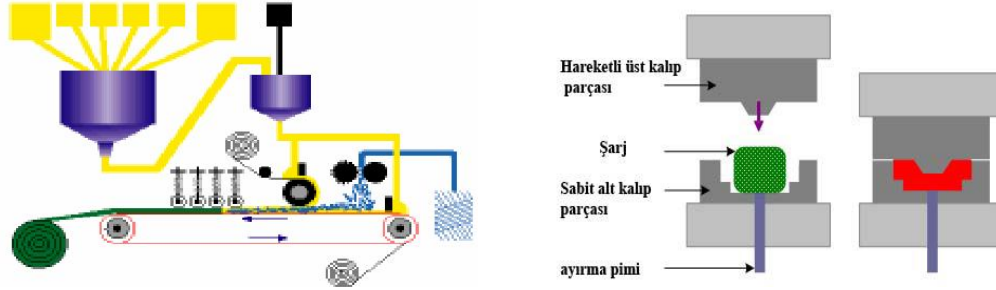
Hazır kalıplama; cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri ile bünyesinde hazır kalıplama bileşimleri olan Hazır Kalıplama Pestili (Sheet Moulding Composites [SMC]) veya Hazır Kalıplama Hamuru (Bulk Moulding Composites [BMC]) malzemelerin sıcak pres ile ürün haline dönüştürülmesine denir.

SMC malzemesinin avantajları; Hazır Kalıplama yönteminde kullanılan malzemelerin çelik, alüminyum ve çinko gibi diğer metal döküm malzemelere göre toplam maliyet/performansının getirisinin yüksek olması; SMC metal kalıplama için gereken birden fazla ekipmanın aksine, tek bir ekipman ile işlenebilmesi, bu yüzden metal kalıplama prosesinden daha ucuz olması, tek bir kalıpta birçok parça birleştirilebilmesi, SMC ile üretilen kompozitlerin hafif, yüksek sertlik ve dayanım özelliklerine sahip olmasıdır.

SMC malzemesinin dezavantajları ise; SMC üretimi ve kalıplanması için gereken sermaye yatırımının diğer kompozit proseslerine göre önemli ölçüde yüksek olması, bu yüzden; SMC parçalarının üretimi tüm harcamaların ekonomik seyri, üretim hacmi, son ürün ve ikincil işlemlerin maliyet hesabının detaylı olarak yapılması gerekmektedir. Bütün bu özelliklerinden dolayı SMC ürünleri, özellikle otomobil üreticileri için cazip hale gelmiştir. SMC uygulamaları 1960'ların sonlarında pazara tanıtılmasıyla, otomobil radyatör panellerinin yapımında ilk örneklerini vermiştir. Buna bağlı olarak, günümüz otomobil pazarındaki firmalar, seri üretim ve daha hızlı tasarım ve üretim programları ile otomobil ve kamyon modellerinde ekonomik açıdan fark oluşturacak ürünleri sürekli olarak geliştirmektedir. Bu niteliklerinden dolayı uygun yer titiz hesaplama yapıldığında, SMC ile etkileyici bir performans yakalanmaktadır. Ayrıca, bu yöntem elektrik, elektronik ve yapı sektöründeki yüksek hacimli uygulamalarda da kullanılmaktadır.

Hazır Kalıplamada kullanılan diğer malzeme BMC, takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamurdur. BMC malzemesi, RTM' ye benzer bir yöntem ile kullanılır. İki yöntem arasındaki fark ise BMC' de reçine ve elyafın kalıp dışarısında karıştırılıp,

basınç altında boş kalıp içine enjekte edilmesidir. BMC' de sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler kullanılabilir [34].



Şekil 3.11. Hazır kalıplama yönteminin genel gösterimi

3.3.5. Islak sistem pres kalıplama yöntemi

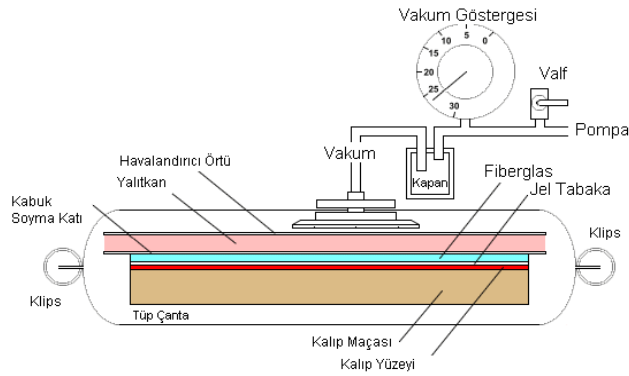
Islak sistem ile kalıplama yöntemi 1940'ların başlarında keşfedilen ve kullanılmaya başlanan ilk basınçlı kalıplama yöntemidir. Bu yöntem, prese bağlanmış ve 96-177°C arasında ısıtılmış uygun metal kalıplar içine kuru takviye malzemesi yerleştirilir. Ardından takviye malzemesinin üzerine sıvı reçine dökülür. Kalıplara 17-70 barlık hidrolik basınç uygulanması ile reçine hem takviye malzemelerine emdirilir hem de sertleşme tamamlanana kadar malzemenin kalıp içinde sabit tutulmasını sağlar. Sertleşme tamamlandığında proses sona erer. Islak sistem pres kalıplama reçineleri genellikle termoset polyesterlerdir. Bununla birlikte vinil ester, epoksi ve diğer reçineler de kullanılabilir. Ayrıca, çeşitli pigmentler ve katalizörler kullanılmasının yanı sıra kil, kalsiyum karbonat ve alümina gibi malzemeler de reçine içerisinde kullanılan dolgu malzemeleridir. Fakat reçine, dolgu malzemeleri ve katalizörler, sıcak kalıbın tamamına yayılmadan sertleşmeyecek özellikte olmalıdır. En yaygın kullanılan reçineler düşük çekme oranına sahip olanlardır. Buna rağmen reçineler aşınmaya dayanıklılık, yüksek elektriksel yalıtkanlık, alev dayanımı, yüksek fiziksel dayanım veya tüm bu özelliklerin kombinasyonuna sahip parçalar üretmek amacıyla modifiye edilebilirler.

Islak sistem kalıplamanın avantajları; kalıp yüzey görünümünü aynen aktarabilme özellikleriyle SMC ve BMC kalıplama yöntemlerinin sağladığı birçok avantaja sahip olması ve takviye oranının artırılabilme olanağı ile elyaf boyunun daha uzun

tutulabilmesi sayesinde daha yüksek mekanik mukavemet değerleri sağlanabilmektedir. Islak Sistem Kalıplamanın dezavantajı ise; parçalarda farklı kalınlıkların yapılamaması, Islak Sistem Kalıplama SMC-BMC yöntemlerine kıyasla daha fazla emek gerektirmesi ve SMC-BMC yöntemlerine kıyasla ürün firesinin daha yüksek olmasıdır. Islak Sistem ile ev aletleri ve ekipmanları, elektrik, tarım, eğlence malları, korozyona dayanıklı ürünler, otomotiv ve inşaat gibi sektörlerde kullanılan mamuller yapılmaktadır [34].

3.3.6. Vakum bonding yöntemi

Vakum bonding yöntemi ile üretilecek olan kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba konur, ardından bir vakum torbası, en üst katman olarak yerleştirilir. Vakum torbası, içerideki havanın emilmesiyle yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygular. Ardından, tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kurlenmesi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve el yatırma teknikleri ile birlikte uygulanır. Vakum bonding yöntemi özellikle kompozit malzemelerin tamir işlemlerinde kullanılmaktadır [34].



Şekil 3.12. Vakum bonding malzemeleri

3.3.7. Otoklav yöntemi

Otoklav, özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilen, kür şartlarının (kesin basınç, ısı ve emiş gücü) tam olarak kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Otoklav yönteminin vakum bonding yönteminden farkı, fırın yerine otoklavın kullanılmasıdır.

Bu yöntemin kullanım amacı, termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için, elyaf/reçine oranını düzenlemek ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını büyük bir oranda gidermektir. Bunu sağlayabilmek için malzeme, sertleşene kadar yüksek ısı ve basınç altında tutulur. Bu yöntemde, vakum bonding teki gibi sızdırmaz bir torba, elyaf-reçine karışımı ile hazırlanmış malzemeye otoklav ile basınç uygulanır. Fakat bu yöntemde 1 atmosferden çok daha fazla, düzenli ve kontrol edilebilir bir basınca ihtiyaç duyulur. Bu yöntemin dezavantajı diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanması ve daha pahalı olmasıdır [34].



Şekil 3.13. Otoklav

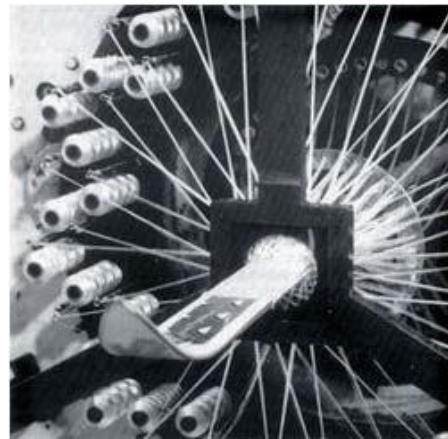
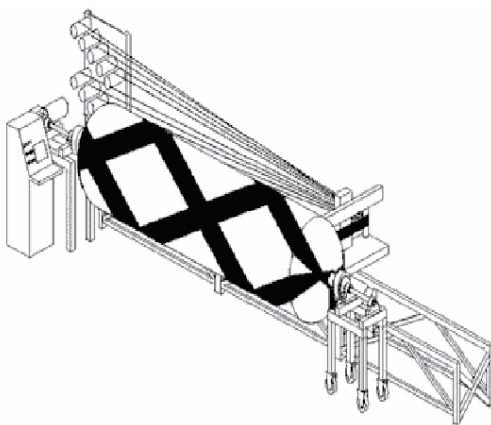
3.3.8. Preslenebilir takviyeli termoplastik (GMT) yöntem

GMT, keçe türünde elyaf takviyesi içeren ve termoplastik reçineyle yapılmış plaka şeklinde, preslenebilir ve kalıplamaya hazır özel amaçlı takviye çeşididir. GMT'nin hazırlanması SMC'ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen bir termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Bu katmanların üzerine bir diğer termoplastik levhada yumuşakken yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Sertleşen plakalar kesilerek preslenir ve böylece proses tamamlanmış olur. Bu yöntemde, reçine olarak öncelikle polipropilen kullanılmakla birlikte, polyester, polibütlen ve polikarbonat gibi termoplastik reçine türleri de kullanılmaktadır. Termoplastik reçine kullanılarak üretilen kompozit levha ürünleri %22-50 arasında cam elyafı içeren geniş bir çeşitlilik arz etmektedir. Takviye türleri kırılmış cam lifleri, iğnelenmiş sürekli keçeler ve tek yönlü keçelerdir. Bu yöntemde, kırılmış elyaflar karmaşık şekilli parçaların üretiminde, sürekli keçeler

ise yüksek mukavemet gerektiren ürünlerde kullanılmaktadır. Ayrıca çok yüksek eğilme modülü veya sertlik istenirse tek yönlü takviyeler de kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulama alanlarının başında, tampon bağlantıları, araç panel taşıyıcıları, koltuk şaseleri, motor gürültü kalkanları, pil yatakları, ön modüller, büyük hacimli malzeme taşıyan gemi konteynırları, römork hatları, havalandırma şaseleri, iç kapı panelleri ve tavan kaplamaları gelmektedir [34].

3.3.9. Elyaf sarma yöntemi

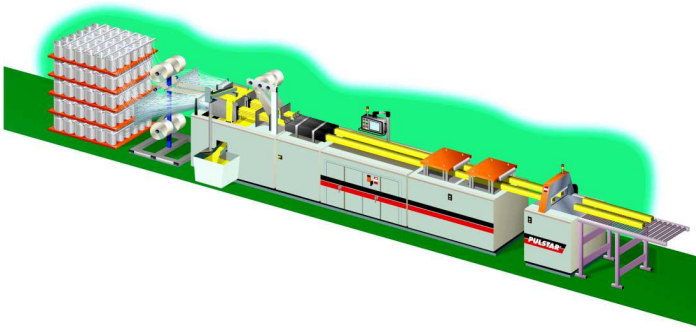
Elyaf Sarma Yöntemi, spesifik şekillere sahip ürünlerin seri üretimine uygun bir yöntemdir. Bu yöntem, Şekil 3.14’de gösterildiği gibi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra, bir makaradan çekilerek döner bir kalıp üzerine sarılması ile yapılır. Sürekli liflerin, değişik açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir, ardından malzeme döner kalıptan ayrılır. Bu yöntemle elde edilen ürünler, bütün büyük sektörlerde kullanılabilir. Başlıca uygulama alanları; petrol veya gaz için tank ve boru ürünleri, atık su arıtmasında kullanılan boru ve tanklar, çeşitli tank ve borular için parçalar, hava veya gaz basınç hatları, uçak yakıt tankları, roket motorları ve kovan kaplamaları, silah ve top namluları, yat direkleri, tenis raketi çerçeveleri ve tren vagonlarıdır.



Şekil 3.14. Elyaf sarma yöntemi

3.3.10. Profil çekme / pultrüzyon (pultrusion) yöntemi

1940'ların sonundan itibaren "Pultrüzyon" başlıca iki tür ürün elde etmek üzere kullanılmıştır. Bunlar; rijit çubuk, lamalar ve boru, kiriş gibi endüstriyel profil şekilleridir. Pultrüzyon makinesinin taslağı Şekil 3.15'de ve örnek makine Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Pultrüzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi dışında, alüminyum ve termoplastikler için kullanılmakta olan ekstrüzyon prosesine benzemektedir. Ayrıca üretim sisteminin tamamı sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.15. Profil çekme makinesinin genel gösterimi



Şekil 3.16. Profil çekme makinesi

Pultrüzyon yönteminde, cam elyaf takviyesi olarak kullanılan devamlı elyaflara ek olarak dokunmuş fitil, keçe ya da bunların kombinasyonlarının bir veya birkaçı birlikte kullanılır. Fitol sehpaları elyaf, fitil ve keçelerin sarıldığı bobinlerin bulunduğu yerdir. Burası Şekil 3.17'de de görüldüğü gibi, makine üzerinde olmayıp makineden ayrı bir bölümdür. Buradaki elyaf bobinlerinin sayısı, önceden mekanik

özelliklerini belirlediğimiz ve üretmek istediğimiz malzemeye göre değişiklik gösterir. Elyaf/hacim oranları %50 ile %80 arasında değişiklik gösterebilir.



Şekil 3.17. Fitol sehpaları (Elyaf bobinleri)

Makine üzerindeki ilk bölüm, Reçine Tankıdır. Burası, matris (bağlayıcı madde) malzemesi olarak kullanılan reçinenin konulduğu yerdir. Cam elyafları ile birlikte kullanılan takviye malzemeleri (keçe v.b.) önce termoset reçine tankının bulunduğu bu bölümden geçerek reçineye bulanırlar. Reçine emdirilmiş cam elyaf lifleri ön kalıba girerler. Bu kısım reçine tankından hemen sonra yer alır. Reçine emdirilmiş elyaf lifleri bu bölümden geçerken içlerindeki hava ve fazla reçinenin süzülmesini sağlar. Ayrıca, reçinenin cam takviye malzemesine en yüksek düzeyde penetrasyonu sağlanmış olur. Ön kalıptan çıkan malzeme, esas kalıba girmeden önce, kullanım yerinde atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için yüzeyi karışık yönlü elyaf lifleri ile kaplanır. Bu işleme yüzey kaplama denir. Yüzey örtüsü ve diğer malzemeler Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. CTP profil detayı

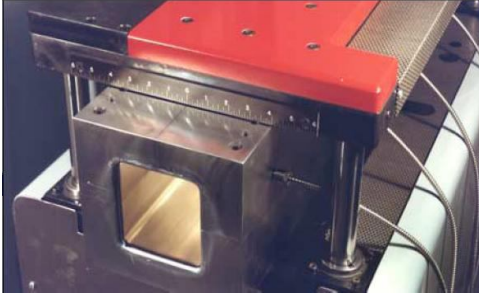
Pultruzyon yöntemi, diğer yöntemlerden farklı olarak makineler ile yapıldığı için üretim düşük işgücü ile yapılabilmektedir. Üretim esnasında kontrol edilmesi gereken parametreler, kalıbın sıcaklığı, profilin çekilme hızı, çekme biçimi (sürekli ya da kesikli), kesilme uzunlukları gibi tüm makine fonksiyonları Şekil 3.19’da da görüldüğü gibi bir Kontrol Ünitesi yardımı ile yapılır.



Şekil 3.19. Kontrol ünitesi

Pultruzyon metodunda, çelikten yapılmış kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp malzemesi olarak kullanılan çeliğin cinsi, kalıp giriş bölgesinde uygulanacak sertleştirme işleminin derecesi, kalıpta kullanılacak ısıtma yöntemi v.b. etmenler kalıbın tasarım kriterlerini oluşturur.

Pultruzyon metodunda kullanılan kalıplar, yüksek karbonlu çelikten üretilmeli ve yaklaşık 25 mikron kalınlığında krom ile kaplanmalıdır. Kalıbın giriş radius’u (köşe açısı), malzeme cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu açı, 6-6,5 mm ile 20 mm’ye kadar değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 3.20. Örnek kalıp şekli

Ayrıca, kalıbın boyu birçok faktöre bağlı olmakla beraber, en önemli faktör kesit alanındaki cidar kalınlığıdır. Kalıp uzunluğu genellikle 90-110 cm arasında değişmektedir. Fakat kalıp boyu, küçük çaplı çubuk gibi basit profiller için 60 cm; hassas boyutlu karmaşık şekiller için 150 cm ye kadar uzatılabilir. Bu üretim sistemine ismini veren paletler veya çeneler, makine üzerindeki son kısımlardan biridir ve kalıptan çıkan profillerin, bu bölümdeki aparatlar ile çekilmesiyle sistem sürekliliği sağlanır. Paletlerin çekim hızı genel olarak 0,6-1,2m/dak. olup, çekilen parçanın uygun yapıya sahip olması halinde 3m/dak. hıza kadar artabilir. Bu yüzden pultruzyon, otomatik bir proses olarak tanımlanır.



Şekil 3.21. Paletler

Bıçaklar Şekil 3.22’de gösterildiği gibi makinenin en sonunda yer alan elemanlardır. İstenen uzunluğa gelen profil, bıçaklar vasıtası ile kesilir ve proses tamamlanmış olur. Bütün CTP kalıplama metotlarında olduğu gibi pultruzyonda da temel yapı, lifli bir takviye malzemesi ile taşıyıcı matris olarak reçine üzerine kurulmuştur. Bunlarla

birlikte dolgu, katalizör, iç kalıp ayırıcı ve renklendirici malzemelerden de yararlanılmaktadır.



Şekil 3.22. Bıçaklar

CTP üretiminde, kullanılan reçinelerde aranan en önemli özellik üretim hızını yüksek düzeyde tutabilecek reaktiviteye ve elyaflarda iyi ıslanmayı sağlayabilecek düşük viskoziteye sahip olmasıdır. Bu bağlamda, pultrüzyon yönteminde kullanılan reçinelerin %90'ı polyester ve vinil reçinelerdir. Son yıllarda epoksi ve fenolik reçineler, spesifik performans özellikleri aranan ürünlerin kalıplanmasında kullanılmaya başlanmıştır.

Fenolik reçineler, "pultrüzyon" yöntemiyle üretilen ürünlere yanmazlık ve düşük duman yayma özellikleri kazandırılırken, epoksiler yüksek mukavemet, yüksek ısı dayanımı ve elektriksel özelliklerde yüksek performans sağlamaktadır.

Pultrüzyon yönteminin önemli özelliklerinden biri de, kullanılan reçineye farklı dolgu malzemesi katılabilmesidir. Örneğin: Maliyeti düşürmek için, 3-6 mikron boyutunda kalsiyum karbonat (kalsit), alev dayanımı istendiğinde, alüminyum hidroksit, korozyon dayanımı istendiğinde kil, elektriksel izolasyon istendiğinde, alüminyum trihidrat vb. çeşitli dolgu maddeleri eklenebilir. Fakat, her dolgu maddesinin, viskoziteyi farklı etkileme ve süspansiyon oluşturma özelliği de dikkate alınmalıdır.

Pultruzyon yönteminin avantajları:

1. Üretim, düşük iş gücü ile yapılabilir,
2. Karmaşık geometriye sahip şekiller bile, kolaylıkla üretilebilir,
3. Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
4. Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
5. Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
6. Üretim hızı genel olarak 0,6 m–1,2m/dak. olup, üretilen parça eğer uygun bir yapıya sahip ise 3 m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,
7. Ekonomik olması ve birçok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
8. Pultruzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmektedir,
9. Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi prosese sahiptir.
10. İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmektedir.
11. Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olmasıdır.
12. Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için Pultruzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

Pultruzyon yönteminin dezavantajları:

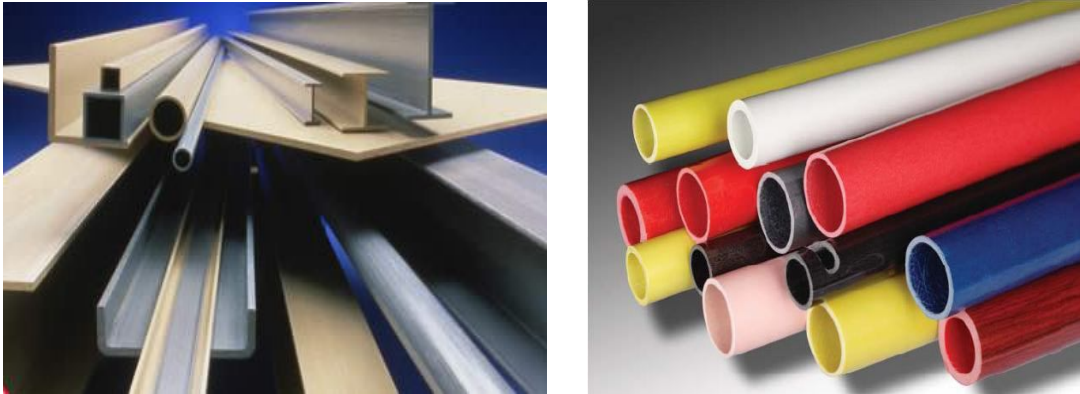
1. Pultruzyon prosesinde, elyafın büyük bölümü çekme dayanımı sağlayacak yönde yerleştirildiğinden, genellikle çapraz yöndeki mukavemetin düşüklüğü,
2. Genel olarak çapraz yönlerde elde edilen özellikler, gerçek çekme dayanımının %10-25 olması,
3. Pultruzyon ürünleri genellikle rekabet halinde oldukları malzemelerle aynı rijitlik değerlerine sahip olmaması,

4. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özelliklerde olmaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımına sahip olması,
5. Malzemenin kalitesi, üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Fakat bu yöntemde standartlaşmış bir kalitenin olmaması,
6. Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler oluşturabilmektedir.

Pultruzyon ile üretilen malzemeler, önceleri elektrik sektörlerinde kullanılmaya başlanmasına rağmen korozyon dayanımının tespit edilmesiyle inşaat, otomotiv ve havacılık pazarlarında da kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Ayrıca alt yapı uygulamalarında da kullanımı artmaktadır. En hızlı gelişim gösteren pazarlardan bir tanesi korozyona dayanıklı malzeme üretimi ve bunların uygulamalarıdır. Bu profiller, hafif ve kimyasallara karşı dayanım gibi özellikleri nedeniyle su ve atık su temizleme tesislerinde, kimyasal üretim ve diğer bazı endüstriyel tesislerde sık sık kullanılmaktadır. Ayrıca tasarım mühendisleri, 100'ün üstünde standart yapısal şekil kullanarak, örneğin köprü, bina, kule, merdiven, trabzan, parmaklık, kablo döşeme sistemleri ile geleneksel malzemelerden yapılan diğer profillerden esinlenerek bu kalıplama yöntemi ile üretilmiş profilleri tasarlayabilmektedirler. Bunların dışında, kapı ve pencerelerin pultruzyon yöntemiyle üretilmesi inşaat pazarına hareketlilik getirmiş, ayrıca mükemmel ısı yalıtımı, hava ve su sızdırmazlığıyla ahşap malzemeyle kıyaslandığında yüksek bir performans göstermektedir. Ahşabın, kullanım maliyetinin bu açıdan yüksek olması nedeniyle pultruzyonla üretilen CTP'lerin bu sektörde yer almasını kolaylaştırmaktadır. Profillerin yoğun aksenal takviye ile yüklendiğinde, yüksek sertlik değerine ulaşması ve büyük boyutlu ürünlerin yapılabilir olması, köprü gövdelerinde pultruzyon ile üretilmiş malzemelerin tercih edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, yaya üstgeçitlerinde ve taşıt köprü platformlarında da sağladığı avantajlar nedeniyle ürün tasarımlarında pultruzyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunların dışında, altyapı sektöründe de pultruzyon yöntemiyle üretilen profiller için, her geçen gün daha çok kullanım alanı keşfedilmektedir. Pultruzyon yöntemi altyapı onarımındaki artan ihtiyaca paralel olarak, bazı yüksek hacimli uygulamalar için teknolojinin ilerlemesiyle daha uygun bir kalıplama yöntemi haline gelecektir [34].

3.4. CTP profil çeşitleri

CTP malzemeler çeşitli üretim metotları kullanılarak üretilmektedir. Profil çekme metodu, CTP kalıplamasında, özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profil türündeki ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Profil çekme metodu ile üretilen kutu, boru, I, T, L, ve U profillerinin yanı sıra sabit şekle sahip olmayan profillerin de üretimi yapılabilmektedir [34]. CTP malzemenin üstün mekanik dayanımının yanı sıra, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, üretimin düşük iş gücü ile yapılabilir olması, kolay kesilebilir ve işlenebilir olması, karmaşık geometriye sahip şekillerin kolaylıkla üretilmesi, farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile üretilmesi gibi özelliklerinden dolayı CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir. Başlangıç aşamalarında fazla yüke maruz kalmayan küçük yapılarda daha sonra ise daha kapsamlı yapılarda kullanılmaya çalışmaları devam etmiştir.



Şekil 3.23. Pultrüzyonla üretilmiş CTP profil örnekleri

3.5. CTP' nin inşaat sektöründe kullanımı ve uygulamaları

Dünya' da yaklaşık olarak 4.7 milyon tonluk bir kullanım potansiyeline sahip olan CTP malzemenin inşaat sektöründe kullanımı, 954.000 tonu aşan bir miktarla toplam kullanımın % 20.2' si mertebesindedir. Türkiye'de inşaat sektöründe CTP kullanımı ile ilgili bir istatistik bulunmamakla birlikte, bu oranın % 50 mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. İnşaat sektöründe kullanılan CTP ürünler, el yatırması gibi basit kalıplama metotlardan, profil çekme yöntemi gibi gelişmiş teknoloji gerektiren kalıplama metotlarına kadar birçok kalıplama metodu kullanılarak üretilmektedir. Cephe kaplama panellerinden, depolama tanklarına, prefabrike konutlardan köprülere, beton kalıplardan, şehir mobilyalarına kadar birçok CTP ürün, inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Anlaşıldığı üzere inşaat sektöründe % 20'lik bir payla, yüksek bir oran gibi gözükse de, kullanımlarının genelinde dekoratif ya da yapısal olmayan elemanlarla sınırlı olduğu kabul edilmektedir [35].

3.5.1. Prefabrik konutlar

Isı yalıtımını sandviç kontrüksiyon tekniği ile içinde barındıran birbirinden bağımsız panellerin çeşitli büyüklüklerde büfe, baraka, konut gibi ürünlerin üretimini içermektedir. Özellikle prefabrike yapı sistemine uygunluğu sebebiyle hazır banyo birimlerinin çok yaygın olarak kullanıldığı rapor edilmektedir [36]. Bu tür birimler, özellikle ıslak mekanların seri üretimine imkan sağlamakta, kolay montaj ve hafiflik özelliği ile inşaat hızını büyük oranda arttırmaktadır.



Şekil 3.24. CTP sistemle yapılan konut

3.5.2. Köprüler ve çatı makasları

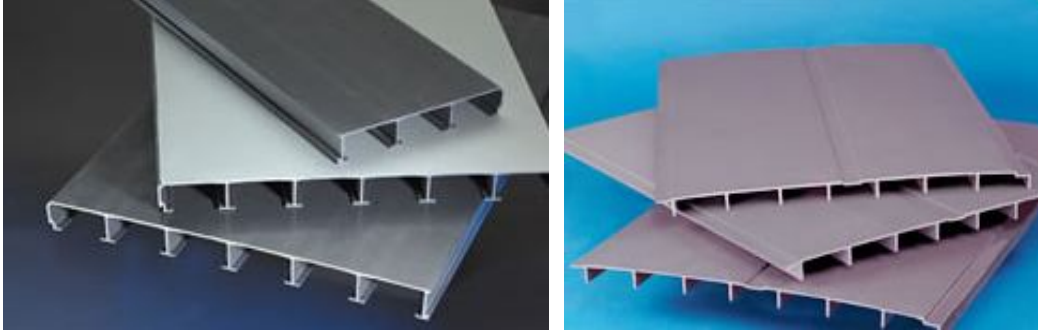
Özellikle korozif ortamlara dayanıklı yürüme yolları, köprüler ve çatı makası kontrüksiyonları denenmiş başlıca uygulamaları oluşturmaktadır [37]. CTP profiller, profil çekme metodu ile seri olarak üretilebilmektedir. Köprü taban tabliyeleri sandviç kontrüksiyon metodu ile üretilmekte, böylelikle yüklerin homojen olarak dağılması ve yüksek rijitlik sağlanmaktadır.



Şekil 3.25. Çatı makasları

3.5.3. Cephe kaplama panelleri

CTP malzemenin en yaygın olarak kullanıldığı alanlar başında gelmektedir. Cephe kaplama panelleri, tek cidarlı yapılabileceği gibi, çift cidarlı ve arasında ısı izolasyonu sağlayan poliüretan köpük veya cam elyafı şilte gibi malzemeler kullanılarak, izolasyonlu panel olarak da üretilebilmektedir. Kolay temizlenebilme avantajı sayesinde, CTP paneller, ameliyathane ve laboratuvar gibi steril ortamlarda hijyenik bir duvar kaplaması olarak da kullanım alanı bulmaktadır. CTP cephe kaplama panellerinin bir diğer önemli uygulaması, binalar arasında yaya geçişini sağlayan geçitlerin kaplama panelleridir. Şeffaf CTP levhalar çatı ışıklıklarında camın yerini almış ve kırılmaya karşı dayanıklılıklarıyla güvenli bir kullanım sağlamıştır. CTP paneller yalnızca estetik amaçlı değil, başta köprüler olmak üzere korozyona açık yapılarda, betonu korozyondan koruma amacı ile de kullanılabilmektedirler [31].



Şekil 3.26. Cephe kaplama panelleri

3.5.4. CTP beton kalıpları

Kaset döşeme, perde ve kolonların kalıplarında kullanılmaktadır. CTP kalıplar, kalıp bağlama ve sökme işlemlerini kolaylaştırmış ve bu kalıplar sayesinde betonun çok düzgün yüzeyli dökülmesi mümkün olabilmiştir. CTP kalıplar el yatırması, püskürtme ve reçine enjeksiyonu yöntemleri ile istenilen boyut ve şekilde seri bir şekilde üretilmektedir [35].

3.5.5. Diğer uygulamalar

CTP'ler üzerinde yapılan çalışmaların sonucunda malzeme daha iyi tanınmaya başlanmış ve Copenhagen'de bulunan Lindevang Metro İstasyonu, 60m uzunluğunda ve 7,5m genişliğinde, Şekil 3.27'deki gibi CTP malzemesi kullanılarak yapılmıştır.



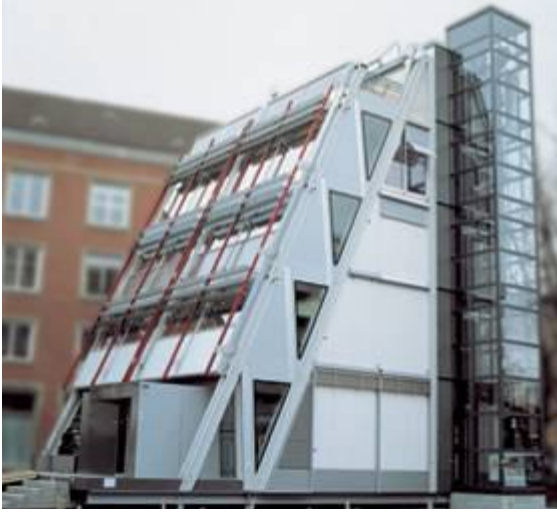
Şekil 3.27. CTP metro istasyonu

Bunun bir aşama daha üstü olarak; asma köprüler yapılmaya başlanmıştır. Bu tip yapılara örnek olarak Şekil 3.28’de gösterilen, 18 Haziran 1997 yılında Danimarka’nın Kolding şehrinde, tren yolunun üzerine yapılan 40m açıklığa ve 18,5m yüksekliğe sahip kulesi ile toplam 12 ton ağırlığındaki CTP köprüdür. Bu köprü, 5 tona kadar araç ve 500 kg/m² yayılı yük taşıma kapasitesine sahip olup, 18,5m yüksekliğindeki kulesi ile hava sıcaklığını, rüzgarın yönünü ve şiddetini ölçen bir hava gözlem kulesi işlevi de görmektedir. En önemli özelliklerinden bir tanesi de, bu ebatlarda bir yapının CTP kullanılması durumunda, yerine montajının tamamen bitirilip kullanıma açılması, tren yolu trafiğinin az olduğu 3 hafta sonu (cumartesi ve pazar) gecesi yani sadece toplam 9 gece sürmüştür. Yapım hızı ve uygun maliyeti gibi özelliklerinden dolayı CTP ile imal edilen köprü 1997 yılında Alman Plastik Birliği’nden (German Reinforced Plastic Association) icatlar ödülü ve 1998 yılında da Danimarka Endüstri Birliğinden ürün ödülü almıştır [38].



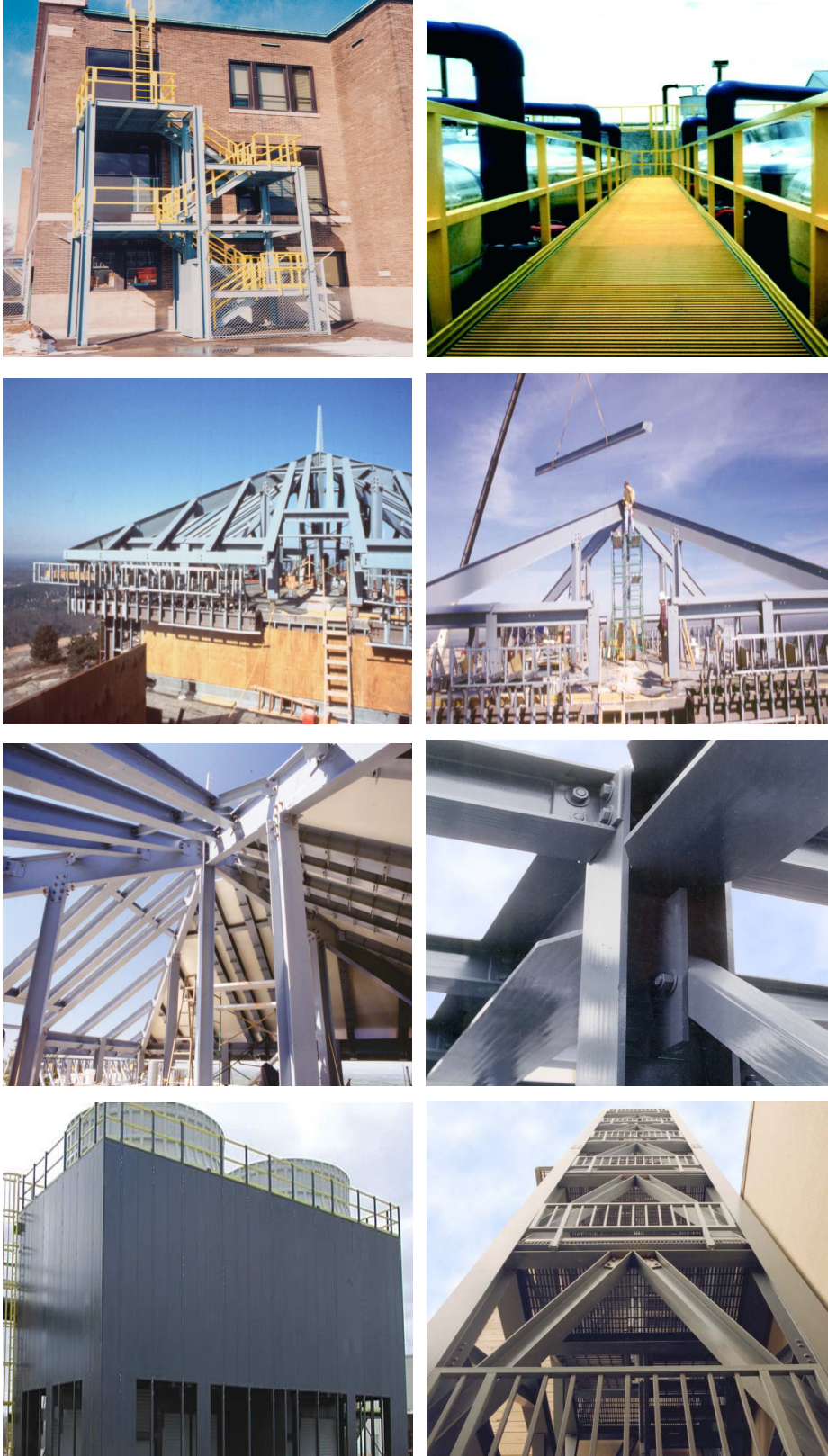
Şekil 3.28. CTP yaya ve hafif araç köprüsü

CTP malzemesinin hafif, dayanıklı ve sağlamlık gibi özelliklerinin olması, yapılarda kullanımı için çalışmalara temel teşkil etmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak Şekil 3.29’da görüldüğü gibi 5 katlı, 15 m yüksekliğinde ve 10x12 m taban alanına sahip gözlem evi, İsviçre’nin Basel şehrinde yapılmıştır. Ayrıca, 2001 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından Home of The Future projesi kapsamında Pultrüzyon ile üretilmiş CTP malzemesini baz alarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 3.29. Basel gözlem evi





Şekil 3.30. Pultruzyon yöntemiyle üretilmiş CTP malzemelerin uygulama örnekleri

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Uygulanan dış yüklere karşı bir cismin gösterdiği tepki mekanik davranış olarak adlandırılır. Bu davranışın biçimi de mekanik özelliği tayin eder. Uygulanan dış kuvvetlere karşı gerilme ve şekil değiştirmeler deneyle belirlenir. Cisimler artan dış kuvvetler altında önce şekil değiştirir sonra dayanımını yitirerek kırılırlar. Ancak düşük yükler altında şekil değiştirmeler elastik davranış, yükler belirli bir sınırı aşarsa plastik davranış meydana gelir. Bu şekil değiştirmelere karşı direnç ise elastik modülü ile belirlenir. Malzemeler içyapıda kalıcı değişme veya kırılma meydana getirmesi halinde gerilme sınırı mukavemet olarak bilinir. Mekanik özelliklerin temeli, atomlar arası bağ kuvvetleri olmasına rağmen içyapıya ve çevre şartlarına büyük oranda bağlıdır. Kompozit malzemelerin bazı malzemeler gibi homojen olmadığına anlaşılması ile bu modern kompozit malzemelerin rijitlik, dayanım ve hafiflik gibi özellikler bakımından daha üstün özellikler gösterdiği açıktır. Kompozit malzemelerin mekanik özelliği sistemden sisteme değişmekle beraber kompozit malzemelerde karşılaşılan en önemli değişkenler ve kompozitlerin özellikleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Takviye elemanı türü ve özelliği,
2. Takviye elemanın hacim oranı,
3. Elyaf geometrisi ve doğrultusu,
4. Elyaf boy/çap oranı,
5. Matris türü,
6. Matris-takviye elemanları arasında oluşan aderans,
7. Uygulanan üretim tekniği vb.dir.

Belirtilen özellikler malzeme mekanik davranışlarını etkilemektedir. Bu değişkenler her lifli kompozit türünde olduğu gibi CTP için de geçerli olmakla beraber mekanik özelliklerin deneysel çalışmalarla belirlenmesi gereklidir. [10]. Tezin bu aşamasında

CTP numunelerin şekil ve boyutlarının eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmak için deneysel çalışmalar yapılacaktır. Deneysel çalışmalarda numune olarak CTP profiller kullanılacaktır. Bu profil tiplerinden kare, dikdörtgen ve I kesitli profillerden yararlanılacaktır. Seçilen profillere öncelikle eğilme deneyi yapılacak deney sonucunda elde edilen eğilme ve sehım değerlerine göre profiller kendi aralarında karşılaştırılacak ve ardından basınç deneyine geçilecektir. Basınç deneyinin ardından elde edilen basınç değerlerine göre profiller eğilme deneyinde olduğu gibi tekrar kendi aralarında karşılaştırılacaktır.

4.1 Eğilme deneyi

CTP numunelerin eğilme gerilmesi ve sehım miktarlarını belirlemek için eğilme deneyi yapılmıştır. Öncelikle ülkemizde üretim yapan fabrikalardan temin edilen farklı kesitlerdeki CTP kutu ve I profiller ilgili standartlar ve deney şartlarına uygun olarak temin edilmiştir. Daha sonra bu profiller çekme makinesinin üst kısmında yer alan eğilme platformuna yerleştirilip eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonucu elde edilen veriler doğrultusunda CTP profillerin eğilme dayanımı ve sehım miktarları hesaplanmış ve kaydedilmiştir.

4.1.1 Eğilme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

4.1.1.1. Eğilme makinesi

Eğilme deneyi için öncelikle gerekli düzenek oluşturulmuştur. Deneyi gerçekleştirebilmek için çekme makinesi üst kısmına eğilme platformu dahil edilmiştir. Silindir şeklinde hareketli mesnetlere sahip olan eğilme platformu tek noktadan yükleme yapabilmektedir. Mesnet açıklıkları istenilen açıklıkta ve hassasiyette ayarlanabilmektedir. Hem manuel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizebilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme düzeneğine sahiptir. Gerekli grafikler bilgisayar ortamında eğilme programı ile çizilebilmekle birlikte elde edilen dataların excel'e aktarılması da yapılabilmektedir.



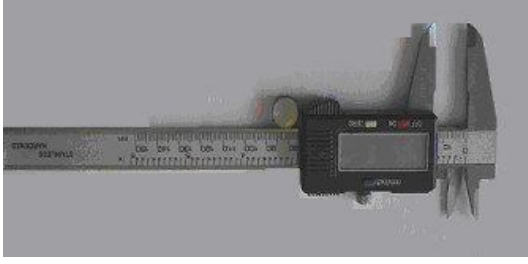
Şekil 4.1. Eğilme makinesi ve donanımı



Şekil 4.2. Eğilme makinesi ve düzeneği

4.1.1.2. Dijital Kumpas

Deney sonuçlarının doğru olabilmesi için öncelikle gerekli ölçümlerin doğru olması gerekmektedir. Bunun için deneylerimizde dijital kumpas kullanılmıştır. Dijital kumpas deneyde kullanılan kalınlık ve genişliği hassas olarak ölçülmesini sağlamıştır. 0,01 mm ölçüm hassasiyetine sahiptir. Elde edilen değerler kullanıldıktan sonra tekrar sıfırlanarak ölçüm yapılabilmektedir. Çalışmamızda ki deneylerde kullanılan dijital kumpas şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. Dijital kumpas

4.1.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Eğilme deneyinde kullanılacak numuneleri elde etmek için ülkemizde kompozit malzeme üretimi yapan Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Firmasından çeşitli ebatlara ve elyaf hacim oranlarına sahip olan CTP profilleri temin edilmiştir. Tablo 4.1’de temin edilen profil ebatları gösterilmiştir. Profillerin ebatları teker teker kumpas ile ölçülmüş olup ebatlar mm cinsindedir.

Tablo 4.1. Deneyde kullanılan profillerin ebatları

Profil cinsi	Profil ebadı (h*b*t)			Adet
	h	b	t	
Kare kutu profil	75	75	5	3
	45	45	5	3
	45	45	2	3
Dikdörtgen kutu profil	75	75	3	3
	75	40	3	3
	70	25	3	3
I profil	100	50	5	3
	40	15	5	3
	25	15	5	3



Şekil 4.4. Deneyde kullanılan numuneler

4.1.3. Eğilme deneyinin yapılışı

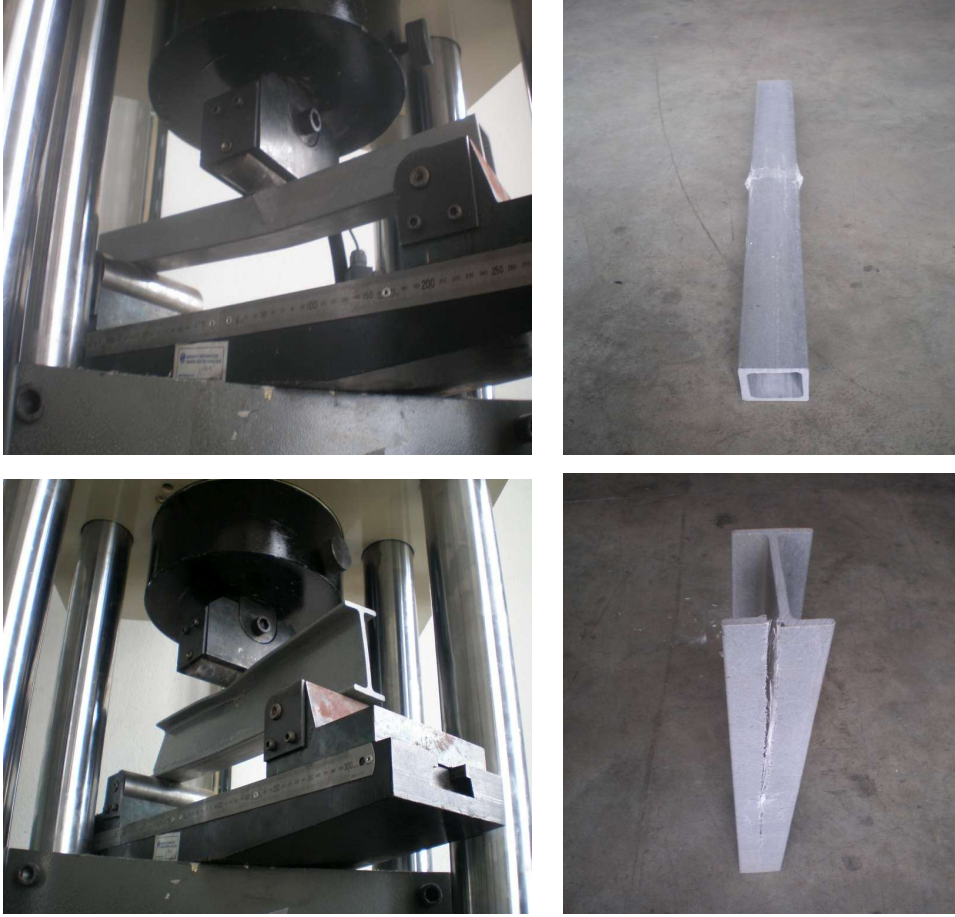
Yirmi yedi adet 500 mm uzunluğundaki ve farklı kesitlerdeki CTP profilleri eğilme deneyine tabi tutulmuş olup deneyde mesnetler arası mesafe 400 mm olarak ve deney hızı ise 33 mm/dak. (\pm % 20) olarak ayarlanmıştır.

Eğilme deneyine başlamadan önce eğilme platformunda mesnetler ayarlanmış, profiller makineye yerleştirilmiş ve ardından gerekli veriler eğilme programına girilmiş ve makine yüklemeye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.5. Eğilme deneyine tabi tutulmuş numuneler

Eğilme deneyi sonrasında deforme olan kare kutu ve I profil şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Eğilme deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar

4.1.4. Eğilme deneyi sonuçları

Eğilme deneyinin yapımından sonra her bir profilin yük sehim değerleri bilgisayar programı tarafından kaydedilmiş olup kaydedilen bu veriler kullanılarak excel programında yük sehim grafikleri çizilmiştir. Ardından bu grafiklerden elde edilen değerlere göre profillerin eğilme gerilmeleri hesaplanmış, sehim miktarları ise yük sehim grafiklerinden alınmıştır.

Verilerin işlenmesinin ardından kare dikdörtgen ve I kesitli profillerin her biri için formül 4.1 ve 4.2'de yerine konularak profillerin atalet ve mukavemet momentleri

hesaplanmış formül 4.3 ve 4.4'de yerine konularak ise maksimum moment ve eğilme gerilmeleri hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

$$I = \frac{b.h^3}{12} \quad (4.1)$$

$$W = \frac{I}{y} \quad (4.2)$$

$$M = \frac{P.L}{4} \quad (4.3)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P.L/4}{I/y} \quad (4.4)$$

Burada;

I = Atalet momenti (mm⁴)

b = Genişlik(mm)

h = Yükseklik (mm)

W= Mukavemet momenti (mm³)

y = Tarafsız eksen uzaklığı (mm)

σ = Gerilme (N/mm²)

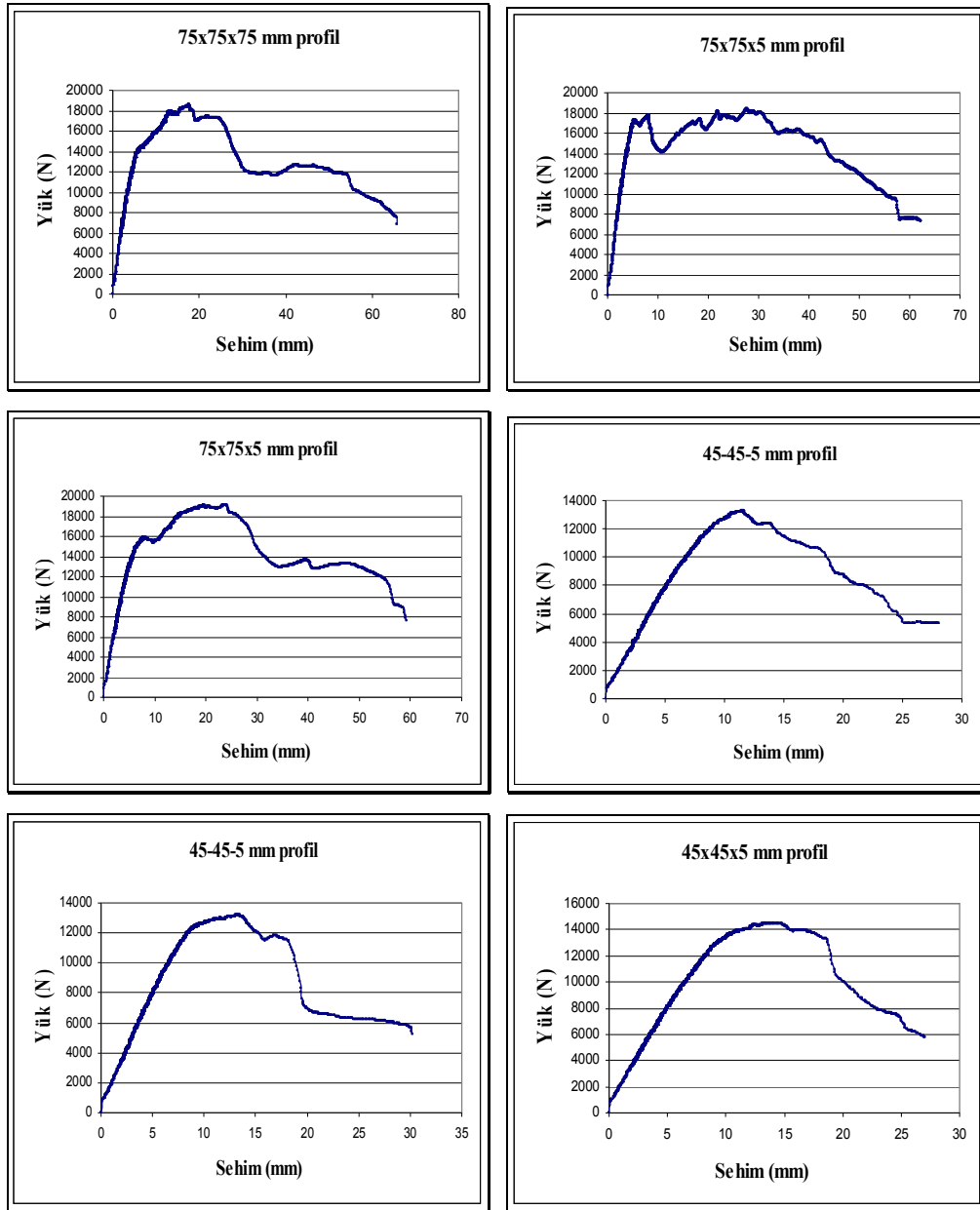
P = Max. yük (N)

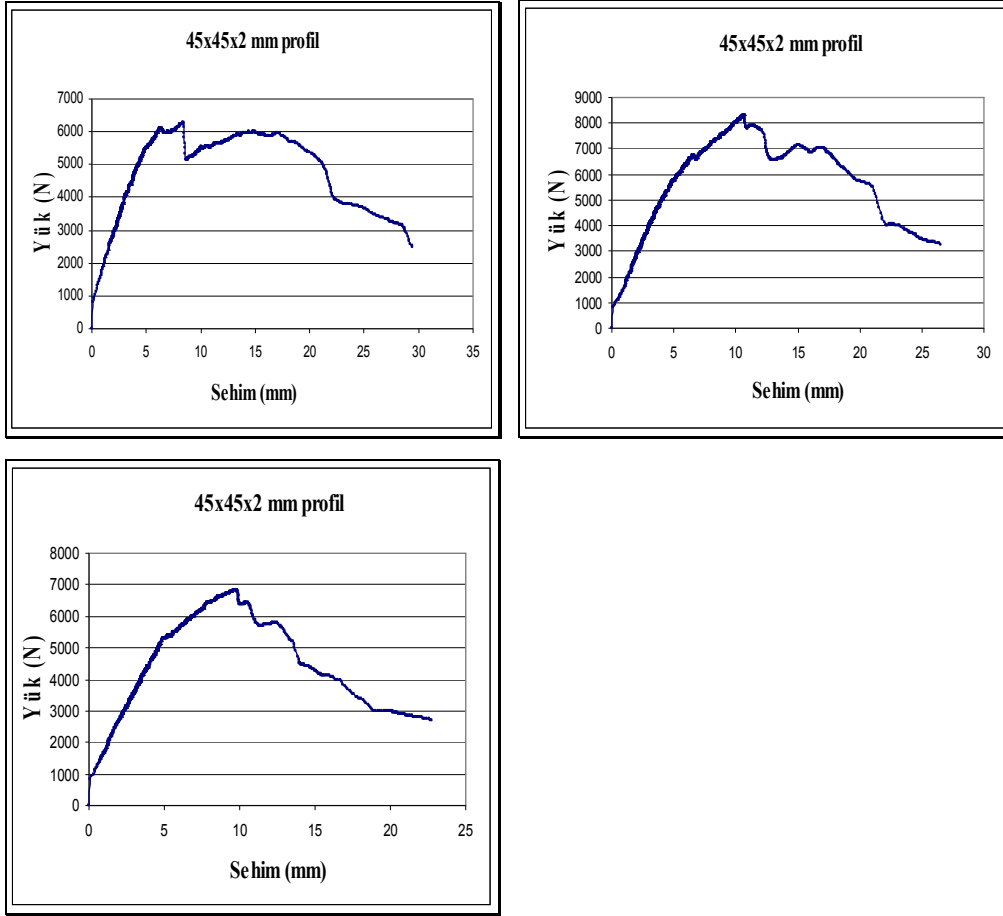
M = Moment (Nmm)

L = Mesnet açıklığı (mm)

4.1.4.1. Kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Eğilme deneyi sonucunda dokuz adet kare kutu profilden elde edilen veriler kullanılarak her profilin excel programında yük sehim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler şekil 4.7’de gösterilmiştir.





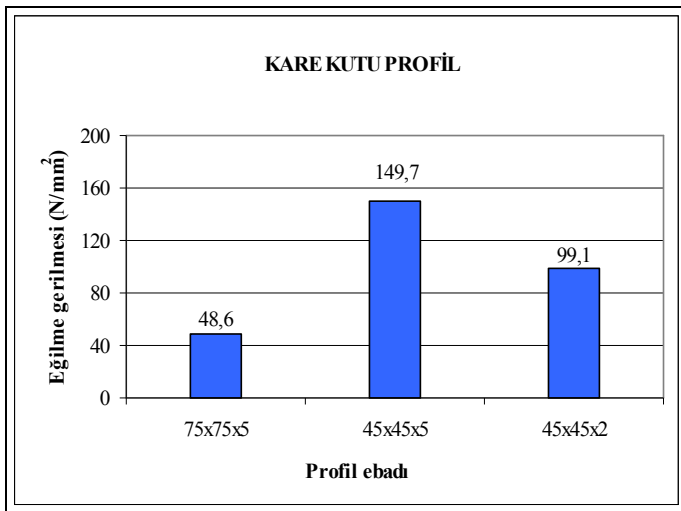
Şekil 4.7. Kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Yapılan deney sonucunda dokuz adet kare kutu profilin eğilme gerilmeleri grafiklerde lineer kısımda maksimum taşıyabileceği yük değerleri dikkate alınarak hesaplanmış olup sehim miktarları ise bu yüke karşılık gelen değere göre alınmıştır.

4.1.4.2. Kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları

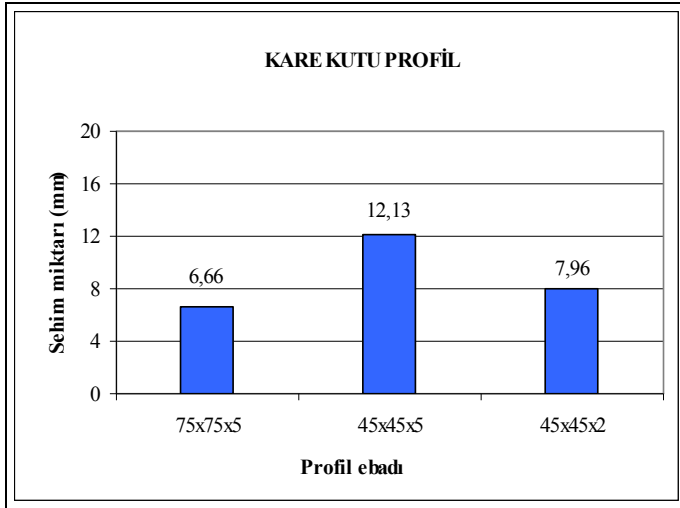
Tablo 4.2. Kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune Tipi	Numune No	Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Sehim Miktarı (mm)
		L	W	Pmax	M	σ	f
75x75x5	1	400	32949	14400	1440000	43,70	6,69
	2	400	31902	17180	1718000	53,90	5,52
	3	400	32804	15790	1579000	48,10	7,78
Ortalama						48,60	6,66
45x45x5	1	400	9059	13290	1329000	146,70	11,59
	2	400	8946	13200	1320000	147,60	13,22
	3	400	9038	14000	1400000	154,90	11,59
Ortalama						149,70	12,13
45x45x2	1	400	6650	6000	600000	90,20	7,38
	2	400	6751	7400	740000	109,60	8,63
	3	400	6544	6380	638000	97,50	7,86
Ortalama						99,10	7,96



Şekil 4.8. Kare kutu profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması

Kare kutu profillerin ortalama eğilme gerilmeleri dikkate alınarak yapılan sütun grafikte sayısal veriler incelendiğinde eğilme karşısında en az dayanımı 75x75x5 mm kesitli numune göstermiştir. Bu numune nümerik olarak 182487 N yük taşıması gerekirken 15790 N yük taşımıştır. Lokal kırılmaların yol açtığı bu durumdan ötürü numunede % 91,35'lik bir dayanım kaybı söz konusudur.

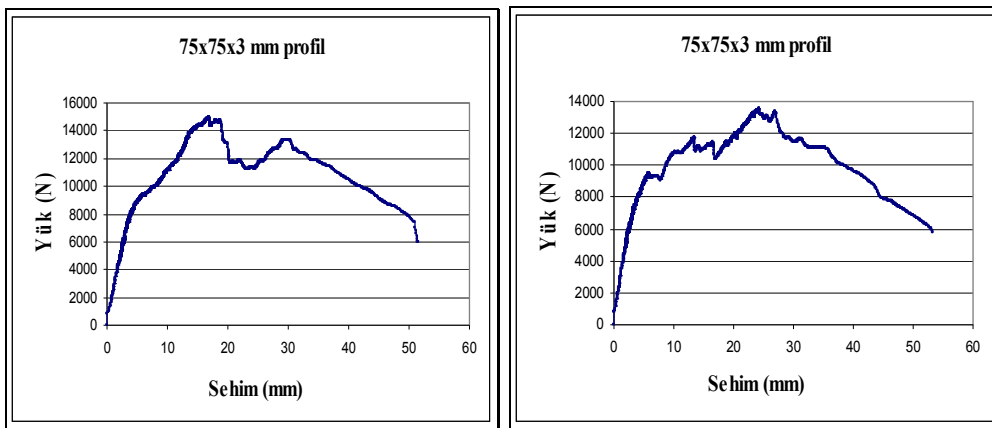


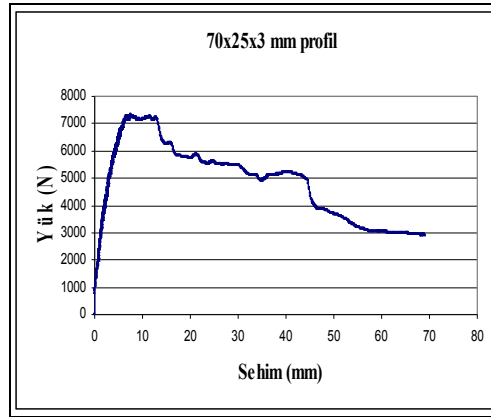
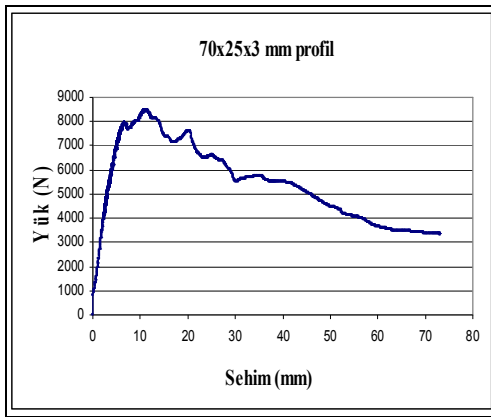
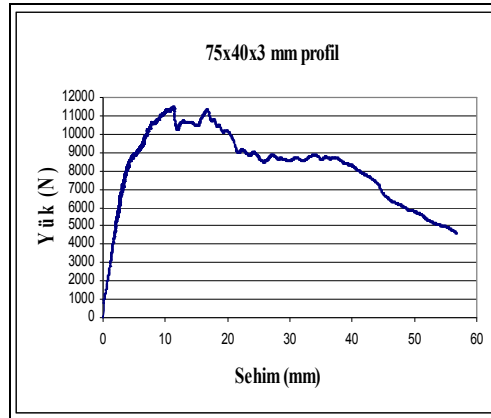
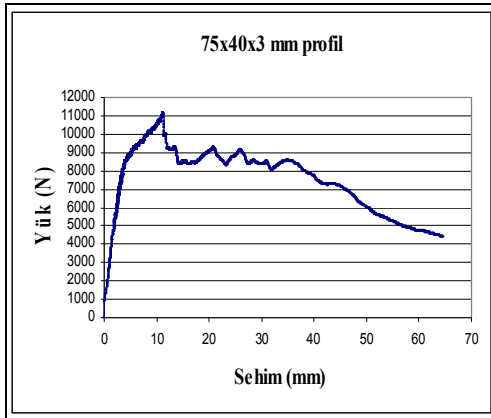
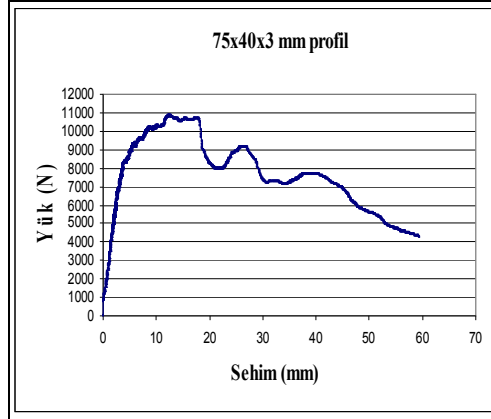
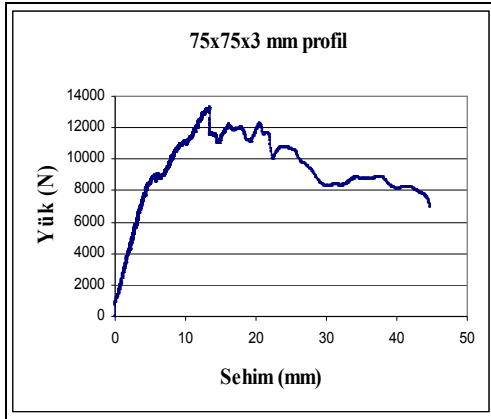
Şekil 4.9. Kare kutu profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması

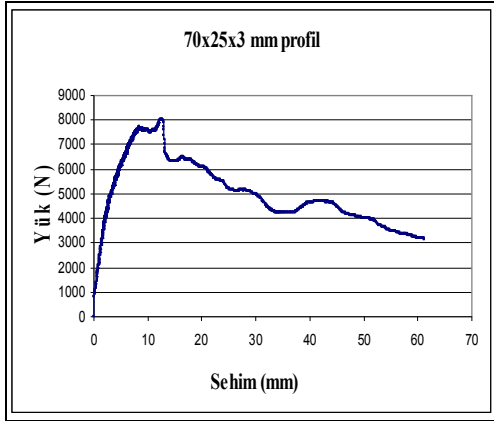
Kare kutu profillerin ortalama sehim miktarları dikkate alınarak yapılan sütun grafikte çıkan sonuçlara göre; 75x75x5 mm kesitli profil en az sehim miktarına sahiptir.

4.1.4.3. Dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Eğilme deneyi sonrasında dokuz adet dikdörtgen kutu profilden elde edilen veriler kullanılarak excel programında her profilin yük sehim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler şekil 4.10'da gösterilmiştir.







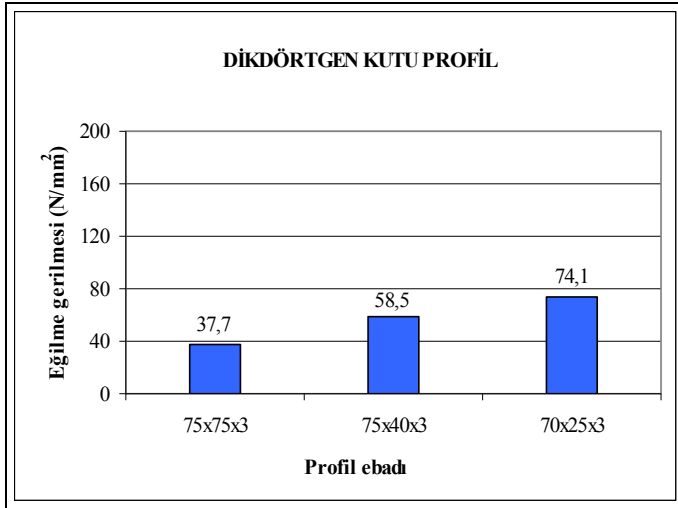
Şekil 4.10. Dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Yapılan deney sonucunda dokuz adet dikdörtgen kutu profilin eğilme gerilmeleri grafiklerde lineer kısımda maksimum taşıyabileceği yük değerleri dikkate alınarak hesaplanmış olup sehim miktarları ise bu yüke karşılık gelen değere göre alınmıştır.

4.1.4.4. Dikdörtgen kutu profillere ait eğilme deneyi sonuçları

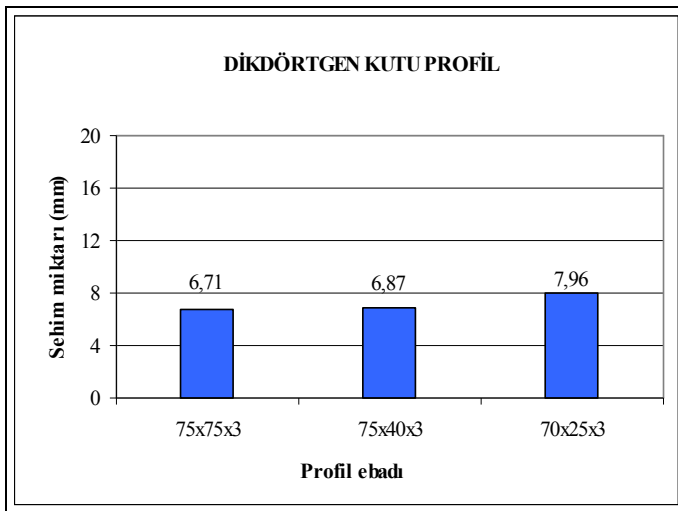
Tablo 4.3. Dikdörtgen kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune Tipi	Numune No	Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Sehim Miktarı (mm)
		L	W	Pmax	M	σ	f
75x75x3	1	400	25830	9430	943000	36,50	6,45
	2	400	25169	9310	931000	37	5,68
	3	400	25240	9990	999000	39,60	8,01
Ortalama						37,70	6,71
75x40x3	1	400	16966	9970	997000	58,80	8,08
	2	400	16463	9400	940000	57,10	6,38
	3	400	15609	9310	931000	59,60	6,14
Ortalama						58,50	6,87
70x25x3	1	400	10197	7990	799000	78,40	9,10
	2	400	10261	7300	730000	71,10	6,76
	3	400	10425	7590	759000	72,80	8,01
Ortalama						74,10	7,96



Şekil 4.11. Dikdörtgen kutu profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması

Deney sonucunda ortalama eğilme gerilmeleri dikkate alınan dikdörtgen kesitli numuneler içerisinde kesiti diğerlerine göre büyük olan 75x75x3 mm kesitli numune en az eğilme dayanımına sahiptir. Bu numune nümerik olarak 142465 N yük taşıması gerekirken 9577 N yük taşımıştır. Malzemenin iç yapısından kaynaklanan sorunlar ve lokal kırılmalardan dolayı malzemede % 93,28'lik bir dayanım düşüşü olmuştur.

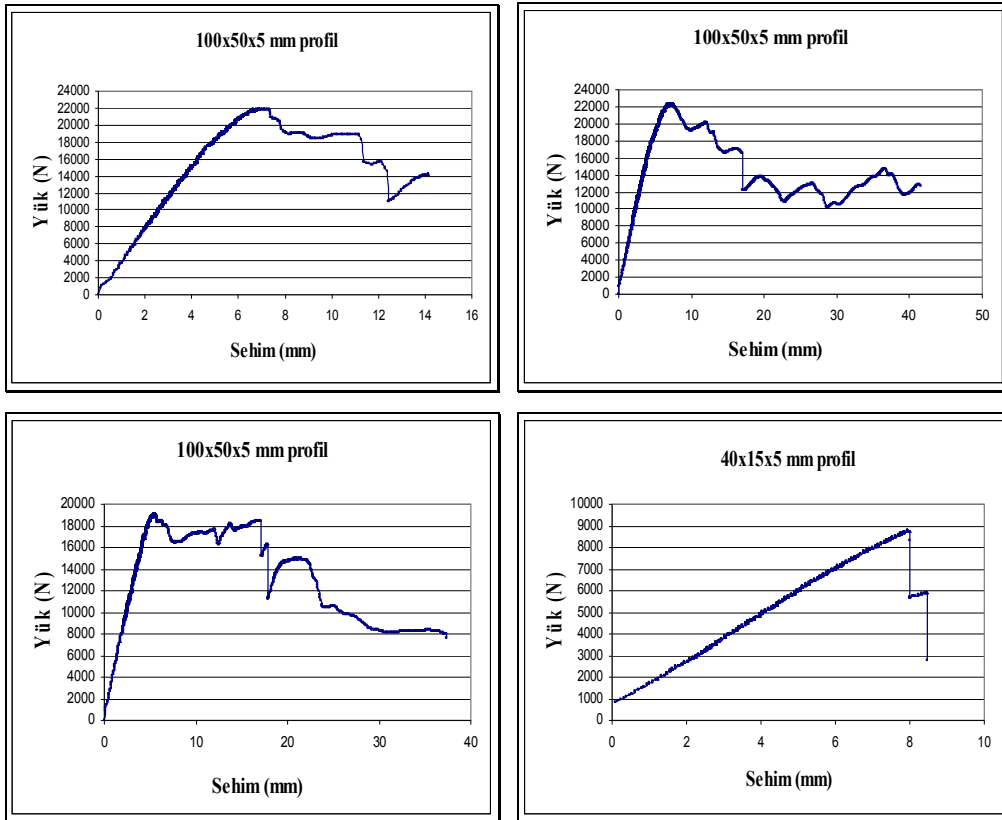


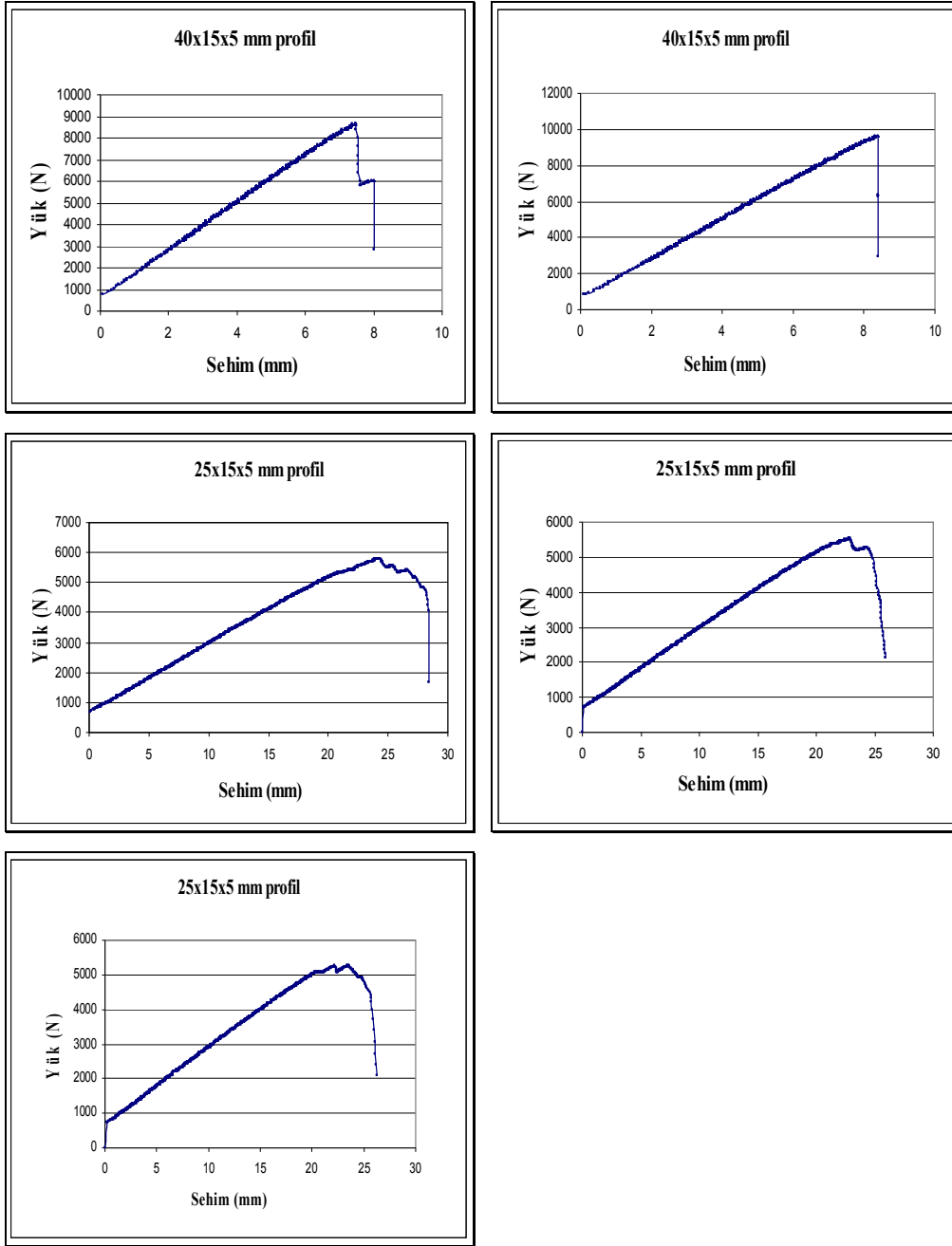
Şekil 4.12. Dikdörtgen kutu profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması

Yapılan deney dahilinde yük sehim grafiklerinden her biri için alınan sehim miktarlarının ortalaması alınıp numuneler ortalama sehim miktarlarına göre kendi içerisinde karşılaştırılmış ve bu numuneler içerisinde 75x75x3 mm kesitli numunenin en az sehim değerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

4.1.4.5. I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri

Eğilme deneyi sonucunda dokuz adet I kesitli profilden elde edilen veriler kullanılarak her profilin yük sehim grafikleri excel programında çizilmiş ve bu grafikler şekil 4.13’de gösterilmiştir.





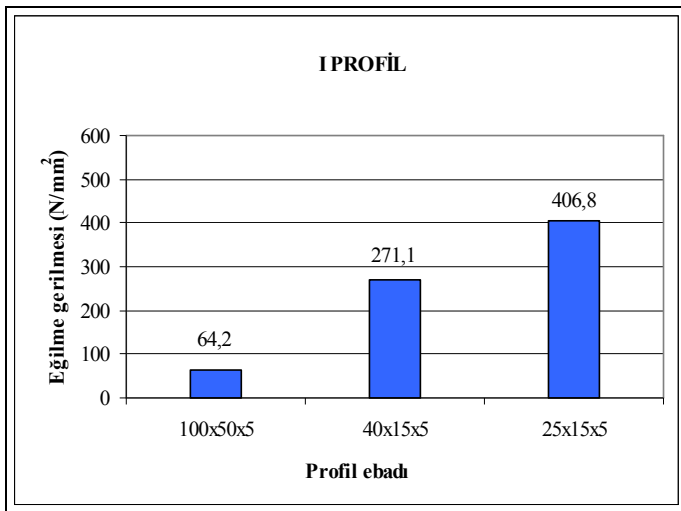
Şekil 4.13. I kesitli profilere ait yük sehim grafikleri

Yapılan deney sonucunda dokuz adet I profilin eğilme gerilmeleri grafiklerde lineer kısımda maksimum taşıyabileceği yük değerleri dikkate alınarak hesaplanmış olup sehim miktarları ise bu yüke karşılık gelen değere göre alınmıştır.

4.1.4.6. I kesitli profillere ait eğilme deneyi sonuçları

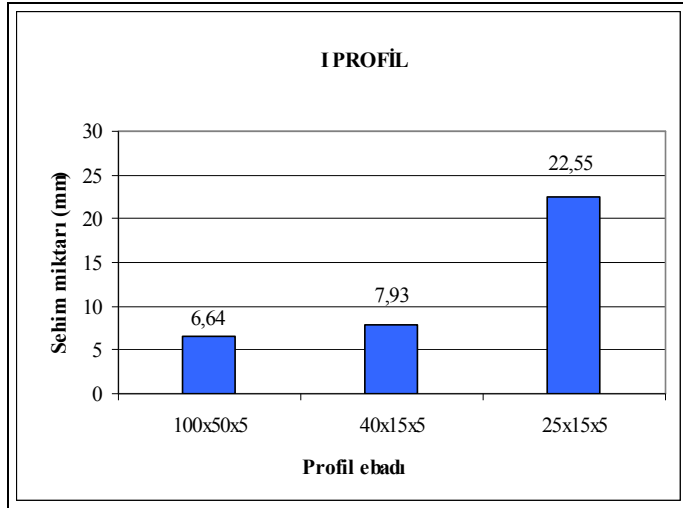
Tablo 4.4. I kesitli profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune Tipi	Numune No	Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Sehim Miktarı (mm)
		L	W	Pmax	M	σ	f
100x50x5	1	400	32934	21870	2187000	66,40	7,31
	2	400	33043	22130	2213000	67	7,15
	3	400	32081	19000	1900000	59,20	5,45
Ortalama						64,20	6,64
40x15x5	1	400	3271	8740	874000	267,20	7,93
	2	400	3339	8620	862000	258,20	7,47
	3	400	3332	9590	959000	287,80	8,40
Ortalama						271,10	7,93
25x15x5	1	400	1345	5790	579000	430,40	24,34
	2	400	1321	5540	554000	419,40	22,94
	3	400	1373	5090	509000	370,70	20,37
Ortalama						406,80	22,55



Şekil 4.14. I kesitli profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması

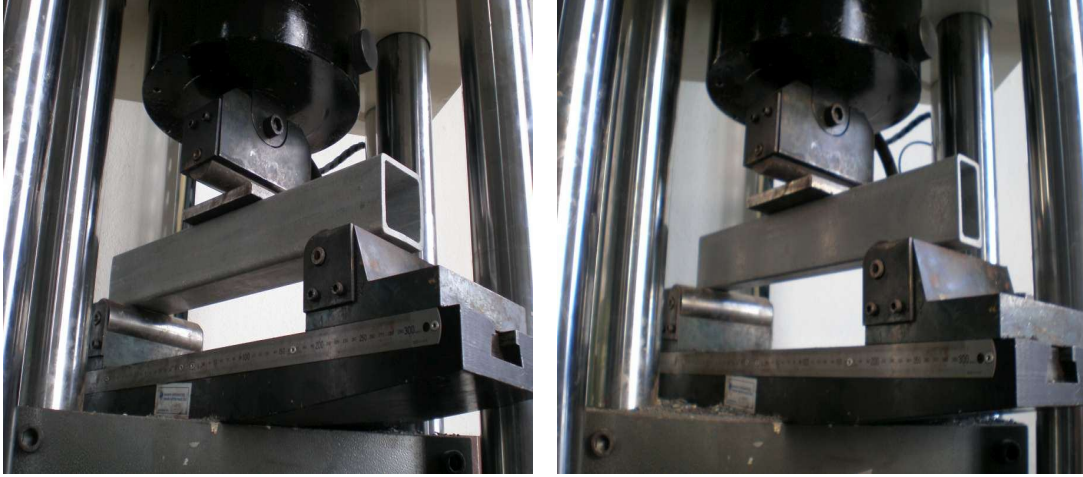
Eğilme deneyi sonrasında ortalama eğilme gerilmeleri dikkate alınan numuneler incelendiğinde farklı kesitli diğer iki numuneye göre kesiti büyük olan 100x50x5 mm boyutundaki numunenin en az eğilme dayanımına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Lokal kırılmaların etkisiyle bu numune nümerik olarak 183238 N yük taşıması gerekirken 21000 N yük taşımıştır. Yani numunede % 88,54'lük bir dayanım kaybı vardır.



Şekil 4.15. I kesitli profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması

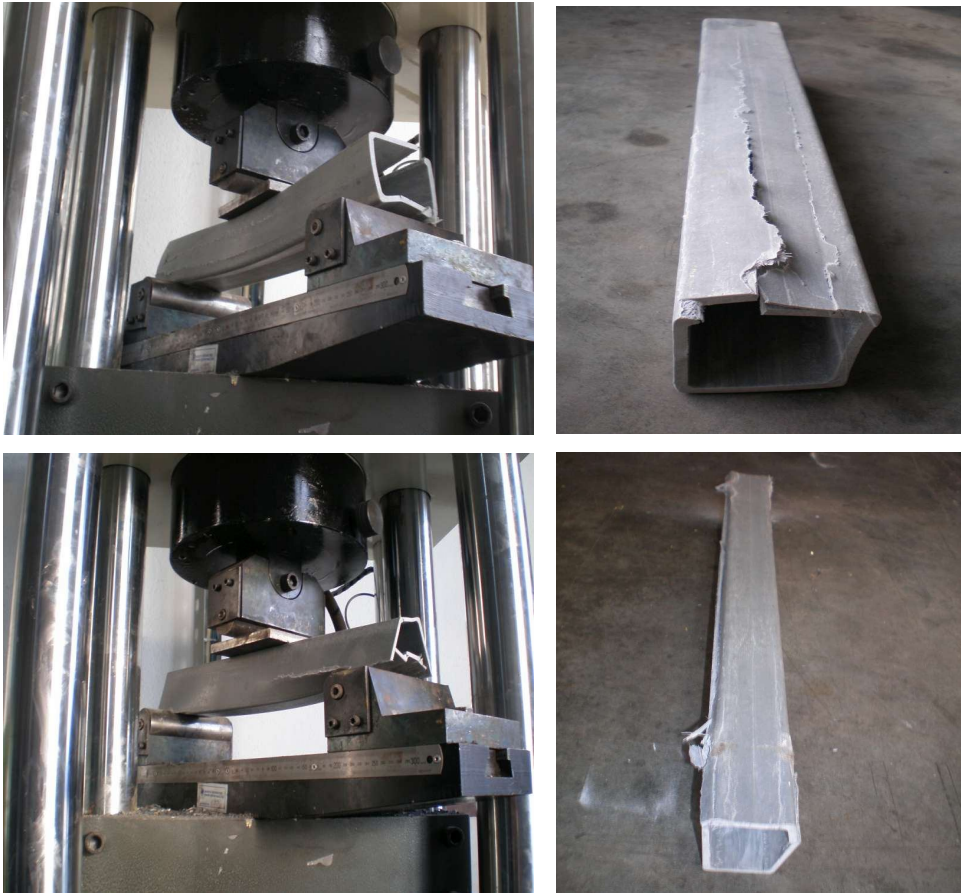
Deney sonrası her bir profil için sehim değerlerinin ortalaması alınarak sütun grafik oluşturulmuş çıkan sonuçlar doğrultusunda profiller içerisinde 100x50x5 mm kesitli profilin en az sehim değerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Kare, dikdörtgen ve I profillere yapılan deneysel çalışmanın ardından sayısal veriler incelendiğinde büyük kesitli profillerin eğilme dayanımlarında ve taşıdıkları yük miktarlarında önemli düşüşler görülmüştür. Lokal kırılmaların yol açtığı bu durumu birkaç nedene bağlayabiliriz; ilki büyük kesitli CTP profillerin küçük kesitli profillere oranla yükün uygulandığı birim alanda yükü taşıyan liflerin oranlarının aynı olmaması, ikincisi CTP profilde kesit büyüdükçe yükleme esnasında kısa liflerin bulunduğu yerlerde stres gerilmelerinin oluşması, üçüncüsü ise CTP profilde yükü taşıyan tek yönlü liflerin eğilme karşısındaki zayıflığıdır. Lokal kırılmaların profilde olan etkisini azaltmak amacıyla her bir profil çeşidinden birer tane alınarak numunelerin üst kısmına 130x100x15 mm boyutlarında metal parça konulup numuneler eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Eğilme deneyine tabi tutulan numuneler şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Eğilme deneyine tabi tutulmuş numuneler

Eğilme deneyi sonrasında deforme olup kırılan kare ve dikdörtgen profiller şekil 4.17’de gösterilmiştir.



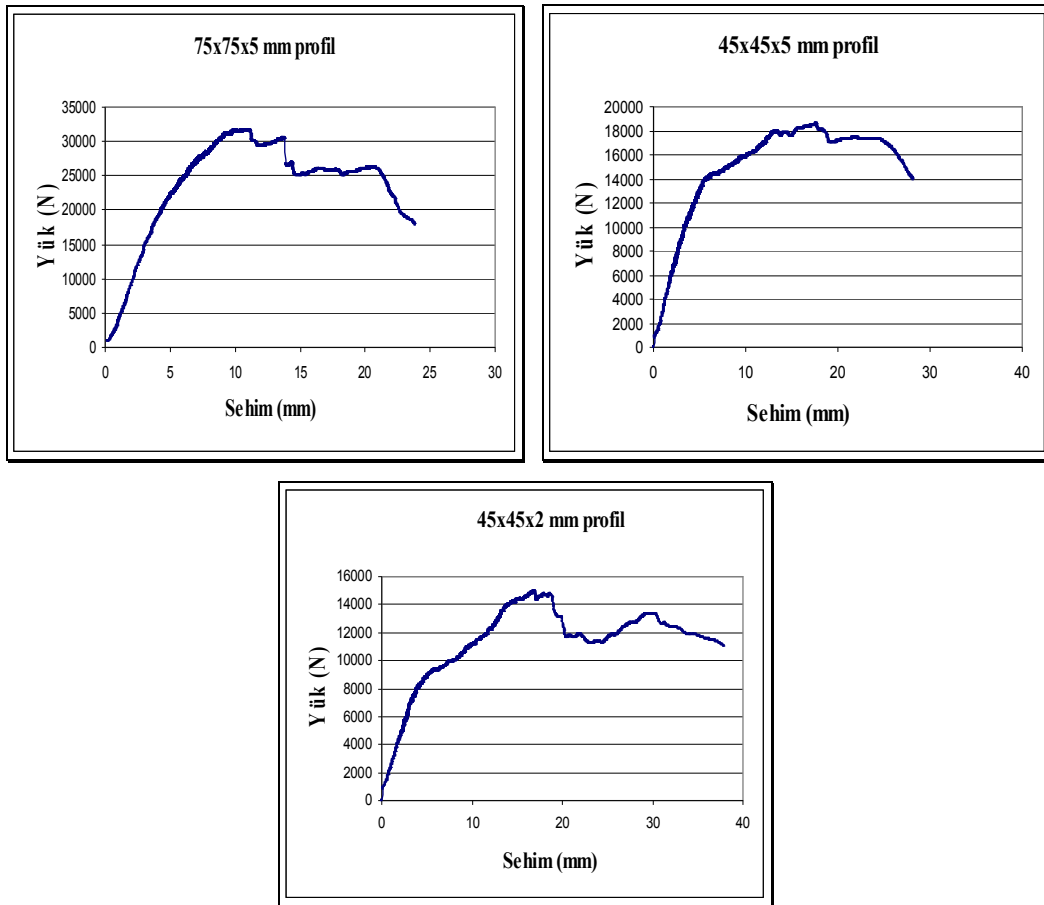
Şekil 4.17. Eğilme deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar

4.2. Metal levhalı eğilme deneyi sonuçları

Eğilme deneyinin yapımının ardından her bir profil için yük sehim değerleri bilgisayar programı tarafından kaydedilmiş kaydedilen bu veriler kullanılarak yük sehim grafikleri excel programında çizilmiş ve bu grafiklerden elde edilen değerler kullanılarak profillerin eğilme gerilmeleri hesaplanmış sehim miktarları ise grafiklerden alınmıştır. Verilerin işlenmesinin ardından formül 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 yerine konularak profillerin eğilme değerleri hesaplanmıştır.

4.2.1. Metal levha konulan kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Eğilme deneyi sonucunda üç adet kare kutu profilden elde edilen veriler kullanılarak her profilin excel programında yük sehim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler şekil 4.18’de gösterilmiştir.



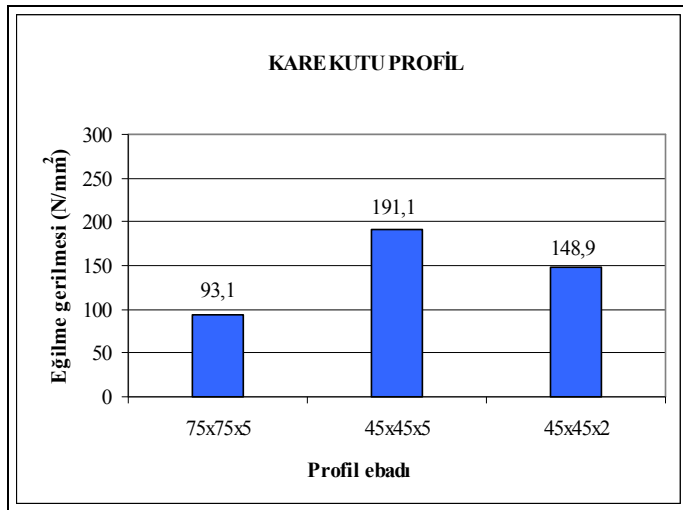
Şekil 4.18. Metal levha konulan kare kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Yapılan deney sonucunda üç adet kare kutu profilin eğilme gerilmeleri grafiklerde lineer kısımda maksimum taşıyabileceği yük değerleri dikkate alınarak hesaplanmış olup sehim miktarları ise bu yüke karşılık gelen değere göre alınmıştır.

4.2.2. Metal levha konulan kare kutu profillere ait eğilme deneyi sonuçları

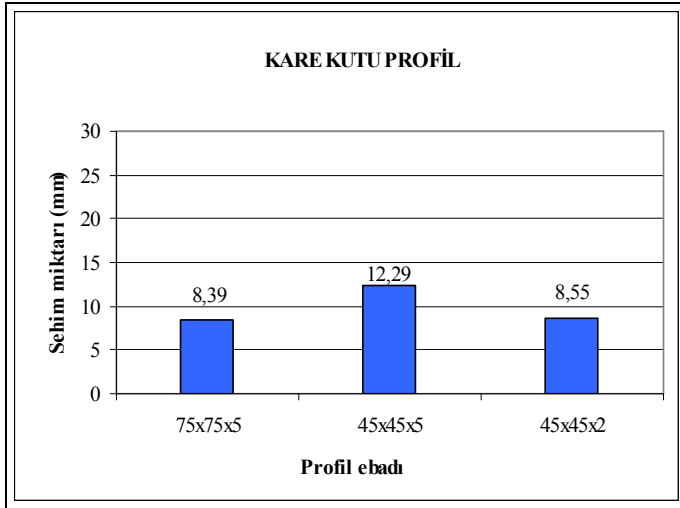
Tablo 4.5. Metal levha konulan kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune Tipi	Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Sehim Miktarı (mm)
	L	W	Pmax	M	σ	f
75x75x5	400	32552	30290	3029000	93,10	8,39
45x45x5	400	9014	17300	1730000	191,90	12,29
45x45x2	400	6648	9900	990000	148,90	8,55



Şekil 4.19. Metal levha konulan kare kutu profillerin eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması

Deney sonucu elde edilen sayısal veriler incelendiğinde numuneler içerisinde eğilme karşısında en az dayanımı 75x75x5 mm kesitli numune göstermiştir. Bu numune nümerik olarak 182487 N yük taşıması gerekirken 30290 N yük taşımıştır. Malzemede iç yapıdan kaynaklanan problemler ve lokal kırılmalardan dolayı % 83,40'lık dayanım kaybı olmuştur.

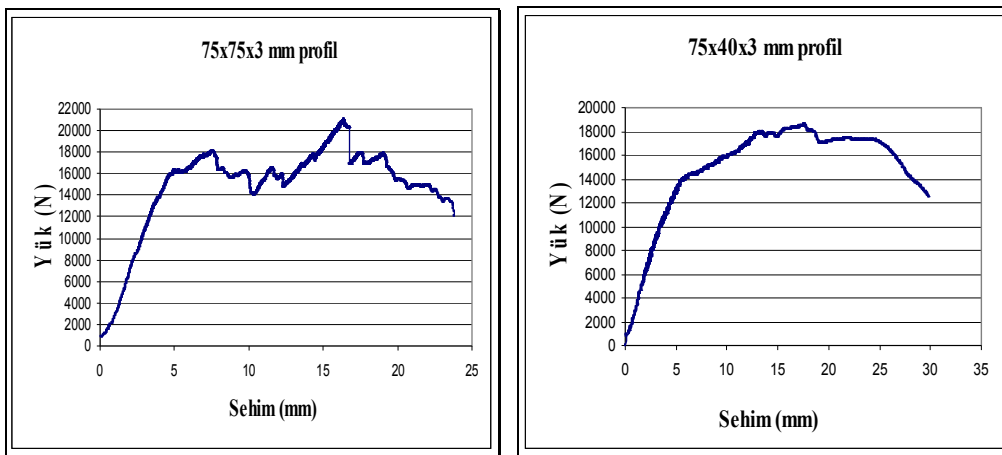


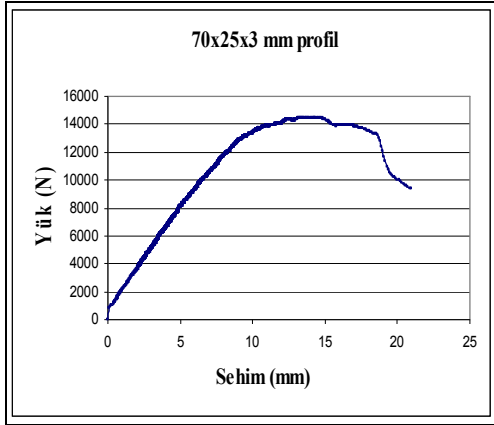
Şekil 4.20. Metal levha konulan kare kutu profillerin sehim miktarlarının karşılaştırılması

Yapılan deney sonucunda numunelerin sehim miktarları her biri için yük sehim grafiklerinden alınmış olup çıkan sonuçlara göre; 75x75x5 mm kesitli numune en az sehim miktarına sahiptir.

4.2.3. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Eğilme deneyi sonucunda üç adet dikdörtgen kutu profilden elde edilen veriler kullanılarak her profilin excel programında yük sehim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler şekil 4.21’de gösterilmiştir.





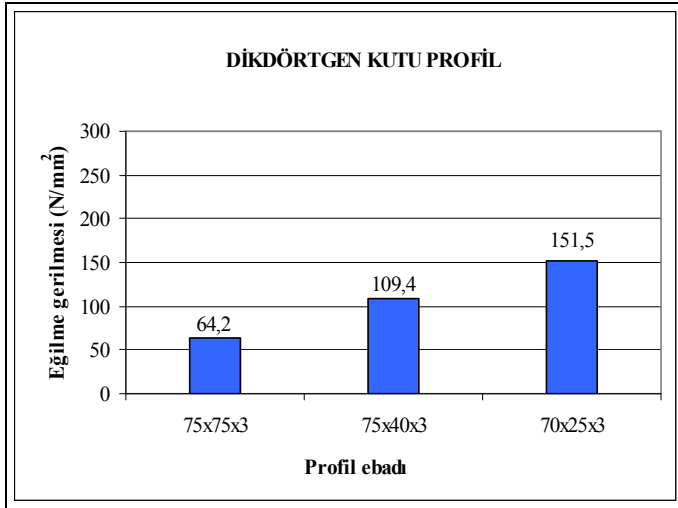
Şekil 4.21. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait yük sehim grafikleri

Yapılan deney sonucunda üç adet dikdörtgen kutu profilin eğilme gerilmeleri grafiklerde lineer kısımda maksimum taşıyabileceği yük değerleri dikkate alınarak hesaplanmış olup sehim miktarları ise bu yüke karşılık gelen değere göre alınmıştır.

4.2.4. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait eğilme deneyi sonuçları

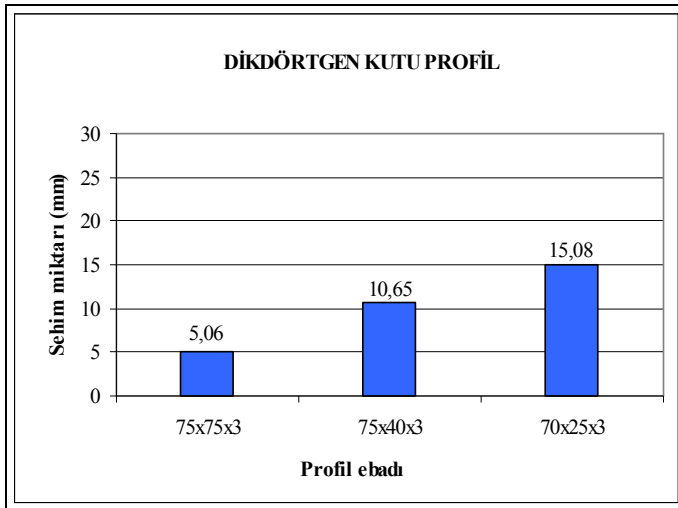
Tablo 4.6. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune Tipi	Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Sehim Miktarı (mm)
	L	W	Pmax	M	σ	f
75x75x3	400	25413	16310	163100	64,20	5,06
75x40x3	400	16346	17890	178900	109,40	10,65
70x25x3	400	10294	15600	156000	151,50	15,08



Şekil 4.22. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması

Deney sonucunda eğilme gerilmeleri hesaplanan dikdörtgen kesitli numuneler içerisinde kesiti diğerlerine göre büyük olan 75x75x3 mm kesitli numune en az eğilme dayanımına sahiptir. Bu numune nümerik olarak 142465 N yük taşıması gerekirken 16310 N yük taşımıştır. Lokal kırılmalardan dolayı %88,55'lik dayanım kaybı mevcuttur.

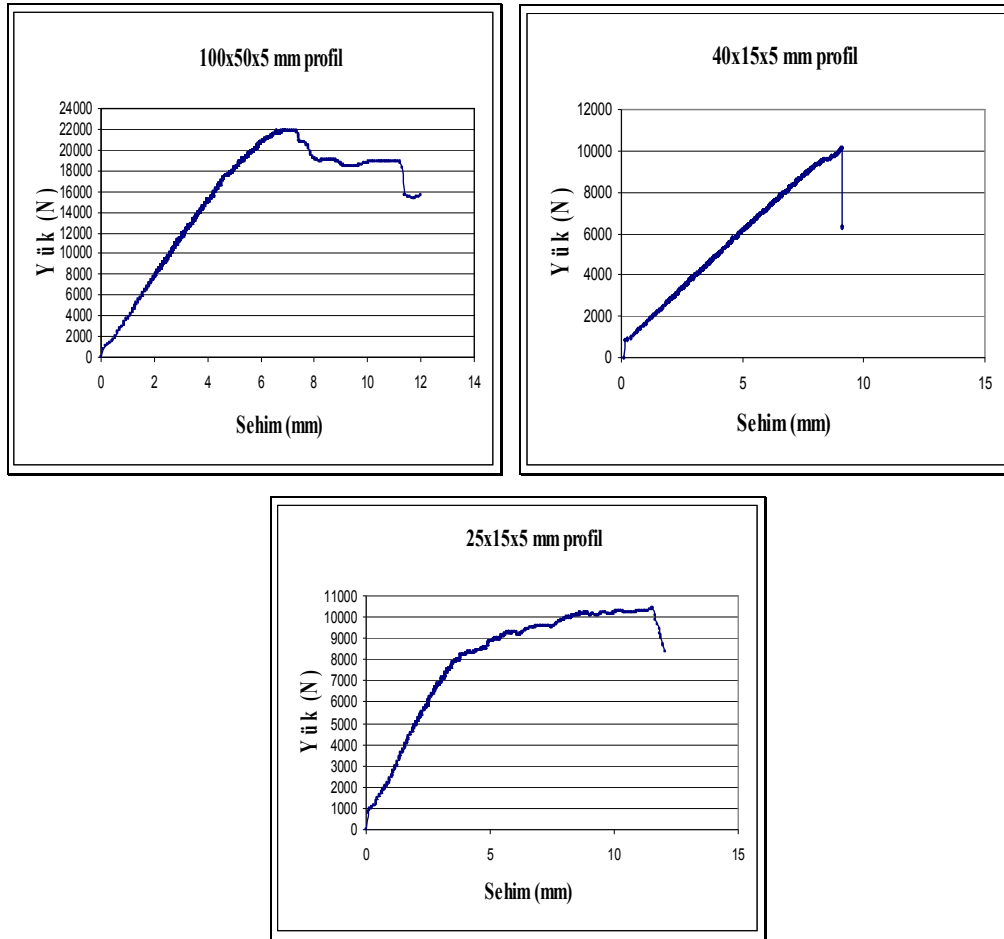


Şekil 4.23. Metal levha konulan dikdörtgen kutu profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması

Yapılan deney dahilinde yük sehim grafiklerinden her biri için alınan sehim miktarları kendi içerisinde karşılaştırılmış bu numuneler içerisinde 75x75x3 mm kesitli numunenin en az sehim değerine sahip olduğu anlaşılmıştır.

4.2.5. Metal levha konulan I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri

Eğilme deneyi sonucunda üç adet I kesitli profilden elde edilen veriler kullanılarak her profilin excel programında yük sehim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler şekil 4.24'de gösterilmiştir.



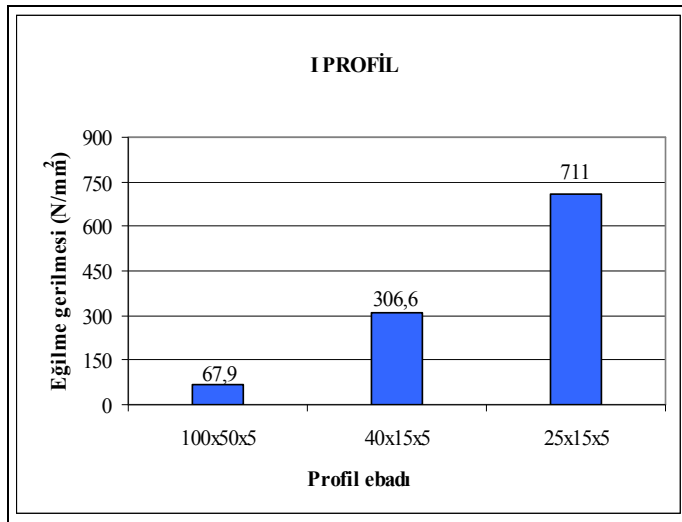
Şekil 4.24. Metal levha konulan I kesitli profillere ait yük sehim grafikleri

Yapılan deney sonucunda üç adet I kesitli profillerin eğilme gerilmeleri grafiklerde lineer kısımlarda kalan yük değerleri dikkate alınarak hesaplanmış sehim miktarları ise grafiklerden alınmış çıkan sonuçlar tablo 4.7’de gösterilmiştir.

4.2.6. Metal levha konulan I kesitli profillere ait eğilme deneyi sonuçları

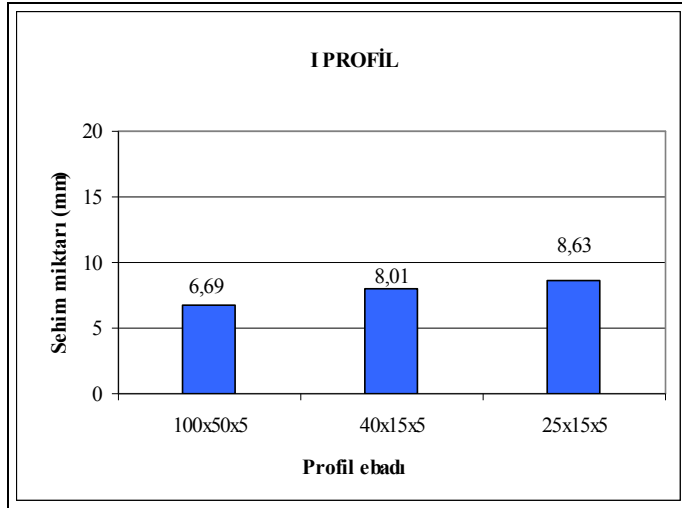
Tablo 4.7. Metal levha konulan I kesitli profillerin eğilme deneyi sonuçları

Numune Tipi	Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)	Sehim Miktarı (mm)
	L	W	Pmax	M	σ	f
100x50x5	400	32686	22200	2220000	67,90	6,69
40x15x5	400	3314	10160	1016000	306,60	8,01
25x15x5	400	1346	9570	957000	711	8,63



Şekil 4.25. Metal levha konulan I kesitli profillere ait eğilme gerilmelerinin karşılaştırılması

Eğilme deneyi sonrasında eğilme gerilmeleri hesaplanan numuneler incelendiğinde 100x50x5 mm kesitli numunenin farklı kesitli diğer iki numuneye göre en az eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bu numune nümerik olarak 182487 N yük taşıması gerekirken 22200 N yük taşımıştır. Lokal kırılmalardan dolayı % 87,88’lik dayanım düşüşü olmuştur.

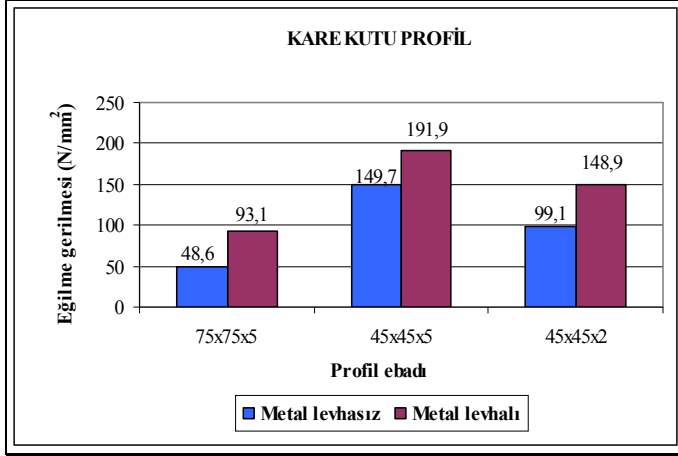


Şekil 4.26. Metal levha konulan I kesitli profillere ait sehim miktarlarının karşılaştırılması

Deney sonrası her bir profil için grafiklerden alınan sehim değerleri sütun grafik haline getirilmiş çıkan sonuçlar doğrultusunda numuneler içerisinde en az sehim miktarına 100x50x5 mm kesitli profilin sahip olduğu görülmüştür.

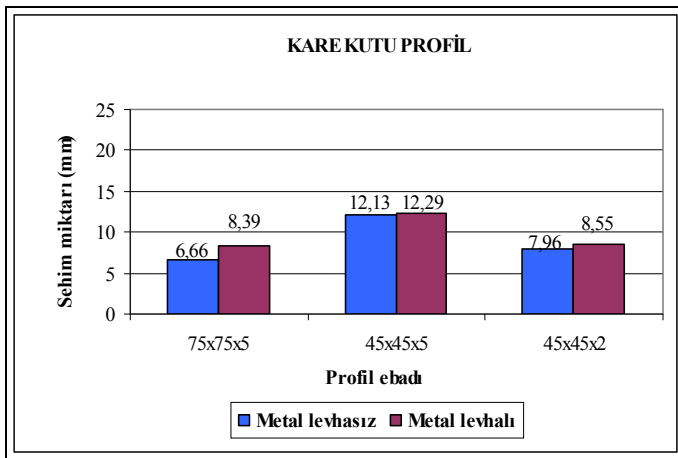
Yapılan çalışmanın ardından numunelerin her biri için yapılan ilk eğilme deneyi sonuçlarının ortalaması alınmış çıkan sonuçlar metal levha yerleştirilerek yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak grafik haline getirilmiştir.

4.3. Metal levhalı ve levhasız kare kutu profillerin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.27. Kare kutu profillerin eğilme gerilmelerinin metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması

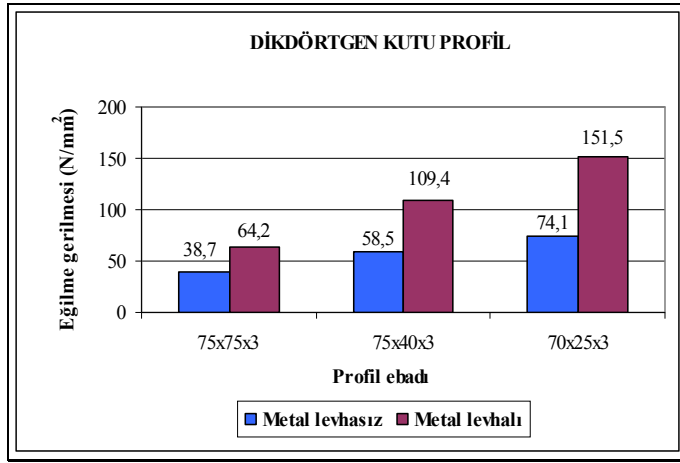
Şekil 4.27 incelendiğinde kare kutu profillerden 75x75x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde % 91,56'lık bir artış gözlenmiştir. 45x45x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmeleri incelendiğinde ise numunenin eğilme gerilmesi değerinde % 28,19'luk bir artış gözlenmekte son olarak 45x45x2 mm kesitli numunede metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde ise % 50,25 lik bir artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. Kare kutu profillerin sehim miktarlarının metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması

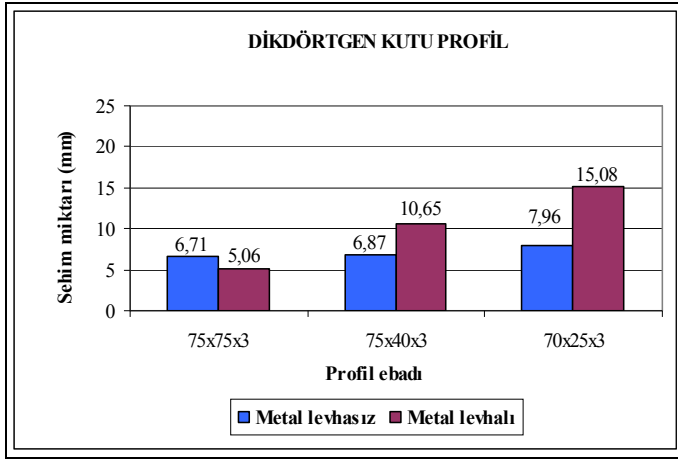
Şekil 4.28 incelendiğinde kare kutu profillerden 75x75x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız sehım miktarında % 25,98'lik bir artış gözlenmiştir. 45x45x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmeleri incelendiğinde ise numunenin sehım miktarında % 1,32'lik bir artış gözlenmekte son olarak 45x45x2 mm kesitli numunede metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde ise % 7,41'lik bir artış tespit edilmiştir.

4.4. Metal levhalı ve levhasız dikdörtgen kutu profillerin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.29. Dikdörtgen kutu profillerin eğilme gerilmelerinin metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması

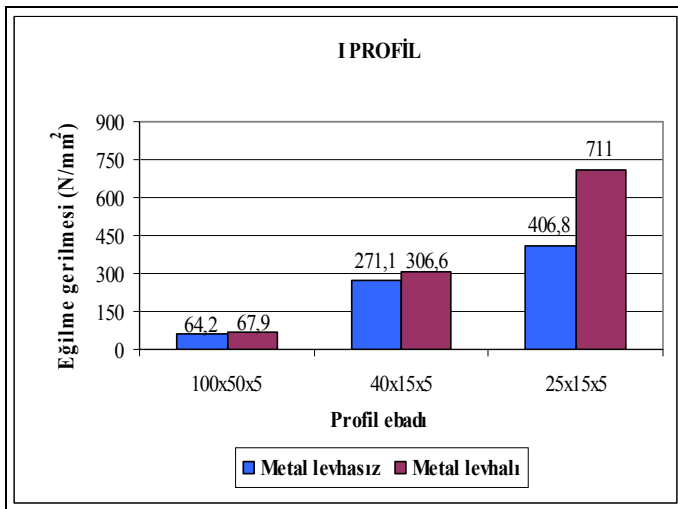
Şekil 4.29 incelendiğinde dikdörtgen kutu profillerden 75x75x3 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde % 65,89'luk bir artış gözlenmiştir. 75x40x3 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmeleri incelendiğinde ise numunenin eğilme gerilmesi değerinde % 87'lik bir artış gözlenmekte son olarak 70x25x3 mm kesitli numunede metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde ise % 104 lük bir artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. Dikdörtgen kutu profillerin sehim miktarlarının metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması

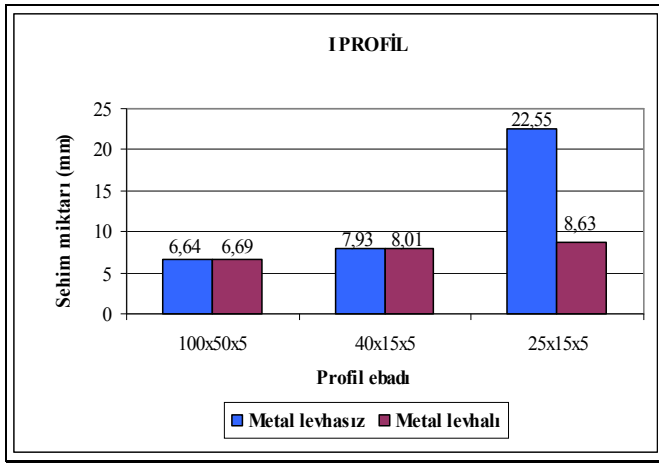
Şekil 4.30 incelendiğinde dikdörtgen kutu profillerden 75x75x3 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde % 24,59'luk bir düşüş gözlenmiştir. 75x40x3 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmeleri incelendiğinde ise numunenin eğilme gerilmesi değerinde % 55,02'lik bir artış gözlenmektedir. Son olarak 70x25x3 mm kesitli numunede metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde ise % 89,44'lük bir artış tespit edilmiştir.

4.5. Metal levhalı ve levhasız I profillerin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.31. I kesitli profillerin eğilme gerilmelerinin metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması

Şekil 4.31 incelendiğinde I kesitli profillerden 100x50x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde % 5,76'lık bir artış gözlenmiştir. 40x15x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmeleri incelendiğinde ise numunenin eğilme gerilmesi değerinde % 13,09'luk bir artış gözlenmekte son olarak 70x25x3 mm kesitli numunede metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde ise % 74,78'lik bir artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.32. I kesitli profillerin sehim miktarlarının metal levhalı ve levhasız olarak karşılaştırılması

Şekil 4.32 incelendiğinde I kesitli profillerden 100x50x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde % 0,75'lik bir artış gözlenmiştir. 40x15x5 mm kesitli numunenin metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmeleri incelendiğinde ise numunenin eğilme gerilmesi değerinde % 1,01'lik bir artış gözlenmekte son olarak 70x25x3 mm kesitli numunede metal levhalı ve levhasız eğilme gerilmesi değerinde ise % 61,73'lük bir düşüş tespit edilmiştir.

Yapılan metal levhalı eğilme deneyinin ardından büyük kesitli kare, dikdörtgen ve I kesitli profillerde meydana gelen lokal kırılmaların metal levhasızla karşılaştırıldığında önemli ölçüde azaldığı ve bu duruma bağlı olarak profillerin eğilme dayanımlarında ve taşıdıkları yük miktarlarında artışlar görülmüştür.

4.6. Basınç deneyi

Basınç deneyi için kare dikdörtgen ve I kesitli profillerden birer tane alınmış ve profillerin her birinden uzunlukları aynı olacak şekilde üç parça kesilmiş ve ardından profillerden elde edilen üç parça teker teker basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyin ardından elde edilen veriler kullanılarak profillerin basınç gerilmeleri hesaplanmış ve ardından çıkan sonuçlara göre profiller kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

4.6.1. Basınç deneyinde kullanılan ekipmanlar

4.6.1.1. Basınç presi

Basınç presi 10 kN/sn yük uygulayabilen alt, üst ve ilave başlıklara sahip yük göstergeli bir makinedir. Makinenin alt ve üst başlıkları yükleme esnasında kalıcı şekil değiştirmeye uğramayacak malzemeden yapılmıştır. Ayrıca yükleme başlıklarının numuneye temas ettiği alan en az deneye tabi tutulan numunenin yükleme alanı büyüklüğündedir. Deney başlangıcında, üst yükleme başlığının veya ilâve yükleme başlığının konumu, numune yüzeyine tam temas edecek şekilde tasarlanmıştır. Makinede yükün gerekli doğrulukta okunabilmesini sağlayacak özellikte kadranlı veya sayısal gösterge bulunmaktadır. Bu gösterge deney esnasında numunenin kırılmasından dolayı oluşacak patlamadan etkilenmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4.33'de basınç presi görülmektedir.



Şekil 4.33. Basınç presi

4.6.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Basınç deneyinde kullanılan profiller şekil 4.34'de gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Basınç deneyinde kullanılan numuneler

4.6.3. Basınç deneyinin yapılışı

Basınç deneyinde kare, dikdörtgen ve I kesitli profillerden birer tane alınıp her bir numune boyu ve eni aynı uzunlukta olacak şekilde üç parçaya kesilmiştir. Daha sonra hazırlanan numuneler basınç presine konulmuştur. Deneye başlamadan önce deney makinesinin yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlenmiştir. Numunelerin başlıkla temas edecek yüzeylerinde çıkıntı ve parça olmamasına dikkat edilmiştir. Numunelerin boyutuna göre numuneye yükleme başlığı arasındaki boşluk dikkate alınarak ilave plakalar konulmuş, ardından numuneler dik olarak alt yükleme başlığı merkezlenerek yerleştirilmiş ve deneye başlanmıştır. Deneyde makine hızı 10kN/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney maksimum yük değerine ulaşmaya kadar sabit hızda uygulanmış, daha sonra göstergedeki her bir numune için taşıdıkları yük değerleri okunmuş ve kaydedilmiştir. Ardından nümerik hesapta yerine konularak numunelerin basınç gerilmeleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.35. Basınç deneyine tabi tutulan numuneler



Şekil 4.36. Basınç deneyi sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar

4.6.4. Basınç deneyi sonuçları

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.5)$$

Burada;

σ = Basınç gerilmesi (N/mm²)

P = Max. yük (N)

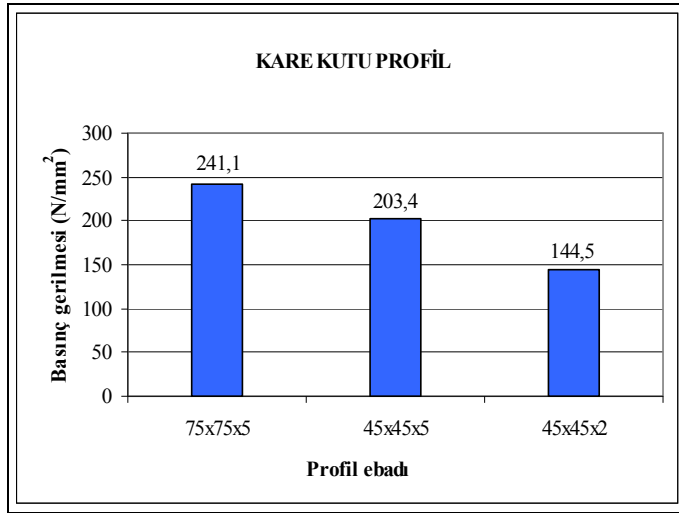
A= Alan (mm²)

Basınç deneyi sonucunda elde edilen değerler formül 4.5’de yerine konularak hesaplanmış çıkan sonuçlar tablolarda gösterilmiştir.

4.6.4.1. Kare kutu profil basınç deneyi sonuçları

Tablo 4.8. Kare kutu profillerin basınç deneyi sonuçları

Numune Tipi	Numune No	Max. Yük (N)	Alan (mm ²)	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)
		Pmax	A	σ
75x75x5	1	414000	1561,07	265,20
	2	361200	1506,58	239,70
	3	341300	1562,77	218,40
Ortalama				241,10
45x45x5	1	137200	746,64	183,80
	2	162200	760,30	213,30
	3	159700	749,54	213,10
Ortalama				203,40
45x45x2	1	98200	507,78	193,40
	2	78400	513,40	152,70
	3	44200	505,18	87,50
Ortalama				144,50



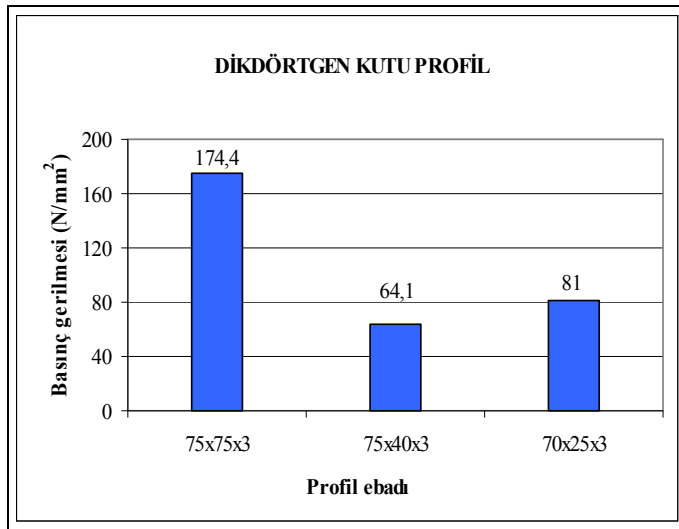
Şekil 4.37. Kare kutu profillere ait basınç gerilmelerinin karşılaştırılması

Basınç gerilmeleri tüm numuneler için teker teker hesaplanıp gerilmelerin ortalaması alınmış çıkan sonuçlar doğrultusunda 75x75x5 mm kesitli kare kutu profilin en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu anlaşılmıştır.

4.6.4.2. Dikdörtgen kutu profil basınç deneyi sonuçları

Tablo 4.9. Dikdörtgen kutu profillerin basınç deneyi sonuçları

Numune Tipi	Numune No	Max. Yük (N)	Alan (mm ²)	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)
		Pmax	A	σ
75x75x3	1	185100	1161,80	159,30
	2	201600	1143,44	176,30
	3	215400	1148,24	187,60
Ortalama				174,40
75x40x3	1	51600	898,32	57,40
	2	59500	850,72	69,90
	3	53900	830,73	64,90
Ortalama				64,10
70x25x3	1	56800	646,32	87,90
	2	59200	656,13	90,20
	3	42900	661,06	64,90
Ortalama				81



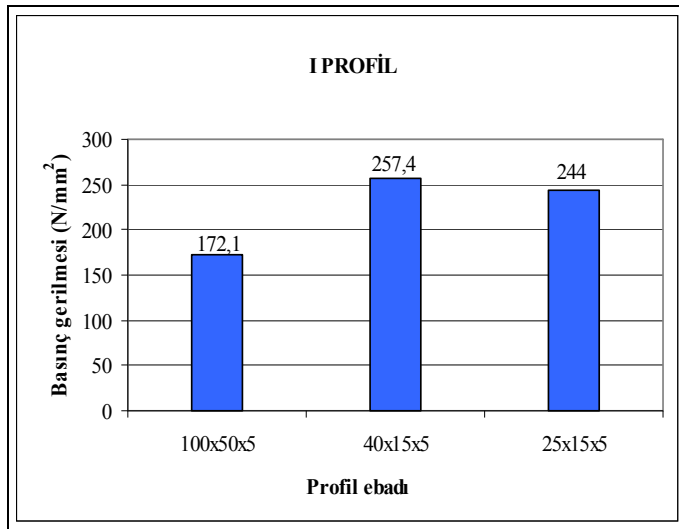
Şekil 4.38. Dikdörtgen kutu profillere ait basınç gerilmelerinin karşılaştırılması

Deney sonucunda basınç gerilmeleri tek tek hesaplanıp ortalaması alınan dikdörtgen kesitli numuneler içerisinde kesiti diğerlerine göre büyük olan 75x75x3 kesitli numune en fazla basınç dayanımına sahiptir.

4.6.4.3. I kesitli profillere ait basınç deneyi sonuçları

Tablo 4.10. I kesitli profillerin basınç deneyi sonuçları

Numune Tipi	Numune No	Max. Yük (N)	Alan (mm ²)	Basınç Gerilmesi (N/mm ²)
		Pmax	A	σ
100x50x5	1	170500	1098	155,30
	2	161100	1086,53	148,30
	3	229800	1080,23	212,70
Ortalama			172,10	
40x15x5	1	89600	358,59	249,90
	2	72800	364,77	199,60
	3	116800	362,05	322,60
Ortalama			257,40	
25x15x5	1	43200	221,12	195,40
	2	53800	216,03	249
	3	63200	219,84	287,50
Ortalama			244	



Şekil 4.39. I kesitli profillere ait basınç gerilmelerinin karşılaştırılması

Basınç deneyi sonrasında ortalama basınç gerilmeleri hesaplanan numuneler içerisinde 40x15x5 mm kesitli numunenin farklı kesitli diğer iki numuneye göre basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır.

Kare, dikdörtgen ve I profillere yapılan basınç deneyinin ardından elde edilen sayısal veriler incelendiğinde kare ve dikdörtgende büyük kesitli profillerin basınç dayanımlarının küçük kesitli profillere oranla yüksek olduğu görülmüştür. Ancak I kesitli profilde tam tersi bir durum söz konusudur. Bu profil tipinde şekil 4.40'da görüldüğü gibi büyük kesitli 100x50x5 mm profilin baş kısmında lokal kırılmalar meydana gelmiş ancak küçük kesitli 40x15x5 mm boyutundaki profilde ise sadece ezilme olmuştur. Bu durumdan dolayı basınç dayanımlarında iki profil arasında önemli farklılıklar oluşmuştur.



Şekil 4.40. I kesitli profillerde deney sonrası oluşan kırılma ve ezilmeler

BÖLÜM 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

CTP sektöründe her geçen gün yeni bir malzeme veya mevcut malzemelerin iyileştirilmesi için sayısız çalışmalar yapılmaktadır. Bu malzemeyi ön plana çıkaran özelliklerden bir tanesi, istenilen özelliklerde üretilebilme imkanı sunmasıdır. Bu çalışmada Pultruzyon metoduyla üretilen CTP kutu ve I profillere eğilme ve basınç deneyi yapılmış deney sonucunda meydana gelen lokal kırılmaların olumsuz etkisine karşı öneride bulunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. CTP kare kutu profillere yapılan eğilme deneyi sonucunda en düşük eğilme dayanımına büyük kesitli 75x75x5 mm kesitli numune sahiptir. Lokal kırılmaların yol açtığı bu olumsuz durumun azaltılması amacıyla alternatif olarak numunenin üst kısmına metal parça yerleştirilmiş deney sonucunda eğilme dayanımında % 91,56'lık bir artış görülmüştür.

2. CTP dikdörtgen kutu profillere yapılan eğilme deneyi sonucunda en düşük eğilme dayanımına büyük kesitli 75x75x3 mm kesitli numune sahiptir. Metal parça yerleştirilip deneye tabi tutulduktan sonra ise eğilme dayanımında % 65,89'luk bir artış tespit edilmiştir.

3. CTP I profillerde ise eğilme deneyi sonucunda en düşük eğilme dayanımına büyük kesitli 100x50x5 mm kesitli numune sahip olup metal parça yerleştirilip deneye tabi tutulduktan sonra ise eğilme dayanımında % 0,75'lik bir artış tespit edilmiştir.

Metal levha konularak yapılan deney sonucunda büyük kesitli kare ve dikdörtgen kesitli numunelerde eğilme dayanımlarında, taşıdıkları yük miktarlarında önemli sayılabilecek derecede artışlar görülürken I kesitli profilde ise profilin baş

kisimlerinde meydana gelen lokal kırılmalardan dolayı küçük değerde bir artış görölmüştür.

4. CTP kare kutu profillere yapılan basınç deneyi sonucunda en büyük basınç dayanımına büyük kesitli 75x75x5 mm kesitli numune, dikdörtgen kutu profillere uygulanan basınç deneyi sonucunda en büyük basınç dayanımına büyük kesitli 75x75x3 mm kesitli numune ve I profillere uygulanan basınç deneyi sonucunda ise en büyük basınç dayanımına küçük kesitli 40x15x5 mm kesitli numunenin sahip olduğu görölmüştür.

Numunelere uygulanan basınç deneyi sonucunda eğilme dayanımının aksine büyük kesitli numunelerin basınç dayanımları daha büyük çıkmıştır. Ancak I profilde büyük kesitli 100x50x5 mm boyutlu numunenin eğilme deneyinde olduğu gibi baş kısmında lokal kırılmalar meydana gelmesinden dolayı basınç dayanımında düşüş olmuştur.

CTP kutu ve I kesitli profillerin basınç ve eğilme dayanımlarında görölen bu farklılık büyük kesitli profillerde eğilme karşısında tek yönlü liflerin basınçta ise epoksinin devreye girmesidir.

Sonuç olarak; yapı elemanlarında büyük kesitli kutu ve I profillerin kullanılması halinde lokal kırılmaların yol açtığı durumun en aza indirilmesi amacıyla eğilme gerilmelerine karşı büyük kesitli kutu ve I profillerin, basınç gerilmeleri karşısında da büyük kesitli I profillerin kullanımı önerilmemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] HOLMES, M. and JUST, D.J., GRP in Structural Engineering, Applied Science Publishers Ltd., New York, 1983
- [2] ERKAN, M., Çelik Yapılar Ders Notları, Düzce, 2000
- [3] www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html, Nisan 2011
- [4] ŞAHİN, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000
- [5] MİRMİRAN, A., SHAHAWY, M. and MİCHAEL, SOMANN, Strength Ductility of Hybrid FRP-Concrete Beam Columns, Journal of Structural Engineering Vol. 125 No. 10, pp. 1085-1093,1999
- [6] FAM, A.Z., SCHNERCH, D.A. and RİZKALLA, S.H., Rectangular FRP tubes filled with concrete for beam and column applications, Proceeding of the sixth international symposium on FRP reinforcement for concrete structures (FRPRCS-6), pp. 685–694, Singapore, 8–10 July 2003,
- [7] FERREIRA, A.J.M., RIBEIRO, M.C.S. and MARQUES, A.T., Analysis of hybrid beams composed of GFRP profiles and polymer concrete, International Journal of Mechanics and Materials in Design 1: 143–155, 2004.
- [8] AYDIN, F., Beton ile CTP Kutu Profillerin Hibrit kullanımında kesit özelliklerinin Basınç ve Eğilme davranışlarına etkileri, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük ,13-15 Mayıs 2009
- [9] ÖZTÜRK, O., CTP Profillerle Depreme Dayanıklı Yapı Modellemeleri ve Analizleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2006
- [10] CUMHUR, A., Pultrüzyon Metodu İle Üretilmiş CTP Profillerle Sera Modellemesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2007
- [11] NETO, A.B.S. ROVERE, H.L., Flexural stiffness Characterization of fiber reinforced plastic (FRP) pultruded beams, Composite Structures,81,274-282, 2006

- [12] CALLISTER, W.D., Materials Science and Engineering, Second edition, John Wiley and Sons Inc., Singapore, 1990
- [13] ARAN, A., Elyaf takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990
- [14] JUDGE, J.F., The Coming Revolution, Airline Management and Marketing, September, 1996
- [15] BROUTMAN, L.J., KROCK, R.H., Modern Composite Materials Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 2007
- [16] AKINCI, A., Polimer Matrisli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2004
- [17] AKDOĞAN, EKER A., Kompozit Malzemeler ders notu, KINIKOĞLU, N.G, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği
- [18] KOVAN, V., Plastik Malzeme Türleri ve Bunların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi için Kullanılan Deney ve Yöntemleri, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Makine Mühendisliği, Denizli, 2002
- [19] ERSOY, H.Y., Kompozit Malzemeler, Literatür Yayın Evi, 2001
- [20] YÜKSEL, M.,Malzeme Bilgisi, MMO Denizli Şubesi Yayınları, ISBN 975-395-288-0,343 s.,Denizli,1998
- [21] BAHADIR, S. ve ZHENG, Y., Mechanical and Tribological Behaviour of Polyester Reinforced Whit Short Glass Fibers,Wear,1990
- [22] SARIBIYIK, M. Analysis of a Bonded Connector for Pultruded G.R.P.Structural Elements, Ph.D. Thesis, University of Newcastle, U.K., 2000
- [23] TURHAN, M., CTP'lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [24] BAYKARA, T.,İleri Malzemeler, Ulusal Bilim ve Teknolojiler Politikaları İçin Değerlendirmeler, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Gebze, Mart 1998
- [25] WRİGHT, R.E., Reinforced Plastics and Composites Chartes 2, HARPER C.A., Modern Plastic Handbook, 2000
- [26] www.sisecam.com, Mayıs 2011

- [27] YILMAZ, GÜVEN Ş., Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları, Isparta Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Müh. Bölümü Isparta, 1990
- [28] ARIKAN, T.A., CTP Malzemesinin Yapısal Strüktürde Kullanılmasına Yönelik Sorunlar ve Strüktürel Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2004
- [29] WATSON, J.C. and RAGHUPATH, N., Glass Fibers Engineered Materials Handbook, Vol.,1989
- [30] HİKMET, Y., Plastikler Dünyası, MMO Yayın no:142,264, Şubat, 1992
- [31] MISİROĞLU, M., Cam Malzemelerde Cam Elyaf Takviyenin Mekanik Özelliklere Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 1996
- [32] Yıldız Treyler San., Plastik Maddeler, Yıldız Treyler San.Ltd. Şti. İstanbul, 1985
- [33] Şişecam, CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul, 1985
- [34] SARIBIYIK, A., Pultrüzyon Metodu ile Üretilmiş CTP Profillerin Kalıcı Sera Tasarımında Kullanılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Sakarya, 2008
- [35] Şişecam, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., Bülten, 3, 2000
- [36] BURGOYNE, C.J., Advanced Composites in Civil Engineering in Europe, structural Engineering International, 4, 1999
- [37] TURVEY, G.J., Analysis of Pultruded Glass Reinforced Plastic Beams with Semi-rigid and Connections, composite Structures, 1997
- [38] www.fiberline.com, Mayıs 2011

ÖZGEÇMİŞ

Gürkan YILDIRIMER, 28.09.1982'de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1999 yılında Ümraniye Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Trakya Üniversitesi Yapı Öğretmenliği bölümünü kazandı ardından bir yıl sonra Sakarya Üniversitesi Yapı öğretmeniği bölümüne yatay geçiş yaptı. 2008 yılında Yapı Eğitimi bölümünden mezun oldu. Ardından aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Halen Fen bilimleri Enstitüsü Yapı eğitimi Anabilim Dalı'nda öğrenimine devam etmektedir.