

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

**PULTRUZYON METODU İLE ÜRETİLMİŞ CTP
PROFİLLERLE SERA MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğrt. Alper CUMHUR

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PULTRUZYON METODU İLE ÜRETİLMİŞ CTP
PROFİLLERLE SERA MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğrt. Alper CUMHUR

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 10 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Kemalettin YILMAZ
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Seyhan FIRAT
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.
Mehmet SARIBIYIK
Üye**

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren, benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK bey'e teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen bölüm hocalarım sayın Prof. Dr. Ahmet APAY, Doç. Dr. Seyhan FIRAT, Yrd. Doç Dr. İbrahim YÜKSEL, Öğr. Gör. Metin İPEK, Arş. Gör. Ferhat AYDIN, Arş. Gör. Emine AYDIN ve arkadaşım Ali SARIBIYIK' a teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında, benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR' a teşekkür ederim.

Bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, numunelerin temininde hep yanımızda olan ESA KİMYA METAL A.Ş.'ne teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, bana kazandırdıkları her şey için teşekkür ederim.

Alper CUMHUR

Bu tezde sunulan araştırma sonuçları, TÜBİTAK tarafından desteklenen “Sera Tasarımında Pultruzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması” başlıklı ve 104M395 numaralı proje kapsamında üretilmiştir. TÜBİTAK tarafından verilen destek ve burs için teşekkür ederim.

Alper CUMHUR

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Seranın Önemi ve Tanımı	1
1.2. Dünyada Seracılık.....	3
1.2.1. Serin iklim kuşağındaki ülkeler	4
1.2.2. Ilıman iklim kuşağındaki ülkeler	4
1.2.3. İki iklimin egemen olduğu ülkeler	5
1.3. Ülkemizde Seracılık.....	5
1.4. Sera Yapı Malzemeleri	7
1.4.1. İskelet malzemeleri	9
1.4.1.1. Ahşap malzemeler	9
1.4.1.2. Metal malzemeler	9
1.4.1.3. CTP malzemeler	9
1.4.2. Sera iskelet elemanları	10
1.4.2.1. Kolonlar (dikmeler)	10
1.4.2.2. Çatı elemanları.....	11
1.5. Seralarda İklimlendirme	14
1.5.1. Seraların ısıtılması.....	14
1.5.2. Seraların soğutulması.....	15

BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR TARAMASI.....	19
BÖLÜM 3.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	33
3.1. Takviye Edilme Şekillerine Göre Kompozitler	36
3.1.1. Parçacık takviyeli kompozitler.....	36
3.1.2. Lamine kompozitler	36
3.1.3. Elyaf takviyeli kompozitler.....	36
3.2. Matriks Elemanlarına Göre Kompozitler	39
3.2.1. Metal matrisli kompozitler.....	39
3.2.2. Seramik matrisli kompozit.....	40
3.2.3. Polimer matrisli kompozitler.....	40
3.2.3.1. Termoplastikler	41
3.2.3.2. Termoset plastikler.....	42
3.3. Takviye Elamanlarına Göre Kompozitler	47
3.3.1. Cam elyaf	47
3.3.1.1. Fital.....	50
3.3.1.2. İplik.....	51
3.3.1.3. Kumaş	51
3.3.1.4. Kesikli cam elyafı.....	53
3.3.2. Aramid elyafı.....	54
3.3.3. Boron elyafı.....	55
3.3.4. Karbon / grafit elyafı.....	55
3.3.5. Diğer organik lifler.....	56
3.5. CTP üretim yöntemleri	57
3.5.1. Profil Çekme / Pultrüzyon (Pultrusion) Metodu	58
BÖLÜM 4.	
CTP'LERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ....	68
4.1. Deneysel Çalışmalar	68
4.1.1. Çekme deneyi.....	69
4.1.1.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar	70

4.1.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması.....	72
4.1.1.3. Çekme deneyinin yapılışı	74
4.1.1.4. Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi sonuçları.....	77
4.1.1.5. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları.....	86
4.1.2. Poisson oranı deneyi	87
4.1.2.1. Komparatör saati.....	87
4.1.2.2. Poisson oranı deneyinin yapılışı.....	88
4.1.2.3. Poisson oranı deneyinin sonuçları	90
4.1.3. Eğilme deneyi.....	98
4.1.3.1. Eğilme deneyinin yapılışı	98
4.1.3.2. Eğilme deneyinin sonuçları	101
4.1.4. Isıl genleşme deneyi.....	101
4.1.5. Özgül ağırlık deneyi.....	106
4.1.6. Birim ağırlık deneyi	108
4.1.7. Su emme deneyi	110
4.2. Malzeme Özelliklerinin Nümerik Olarak Belirlenmesi.....	112
4.2.1. CTP profillerde reçine yakma metodu ile fiber ve matris oranlarının belirlenmesi	112
4.2.2. Reçine yakma metodu sonuçlarına göre ağırlık ve hacim analizlerinin yapılması	121
4.2.3. Mikro ve makro mekanik analiz	122
4.2.3.1. Mikro mekanik analiz	122
4.2.3.2. Makro mekanik analiz	128
4.3. Reçine Yakma Metodu ve Üretici Firma Verilerine Göre CTP Profillerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması	132
4.4. Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması.....	133

BÖLÜM 5.

BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODEL SERANIN TASARIMI	135
5.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	139
5.2. Model Sera Hesabı.....	139
5.2.1. Zemin değerleri ve hesabı	140
5.2.2. Yük hesabı.....	141

5.2.2.1. Kar yükü hesabı	141
5.2.2.2. Rüzgar yükü.....	142
5.2.2.3. Zati yük.....	143
5.2.2.4. Deprem yükü	143
5.3. Model Seranın Eleman Tahkik Analizleri	145
5.3.1. Kolon tahkiki.....	147
5.3.1.1. Çelik kolon tahkiki	147
5.3.1.2. CTP kolon tahkiki.....	148
5.3.2. Aşık tahkiki	150
5.3.2.1. Çelik aşık tahkiki	150
5.3.2.2. CTP aşık tahkiki	152
5.3.3. Çatı üst başlığı tahkiki.....	154
5.3.3.1. Çelik çatı üst başlığı tahkiki	154
5.3.3.2. CTP çatı üst başlığı tahkiki.....	155
5.3.4. Çatı alt başlığı tahkiki	156
5.3.4.1. Çelik çatı alt başlığı tahkiki	156
5.3.4.2. CTP çatı alt başlığı tahkiki	157
5.3.5 Çatı dikme elemanı tahkiki	158
5.3.5.1. Çelik çatı dikme elemanı tahkiki	158
5.3.5.2. CTP çatı dikme elemanı tahkiki	159
5.3.6. Çatı diyagonal elemanı tahkiki.....	160
5.3.6.1. Çelik çatı diyagonal elemanı tahkiki	160
5.3.6.2. CTP çatı diyagonal elemanı tahkiki.....	161
5.4. Model Sera Tahkik Sonuçları	162
5.4. Model Sera Maliyet Analizi.....	164

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	166
----------------------------	-----

KAYNAKLAR	168
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	171
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Numune kesit alanı
$A(T)$: Spectral ivme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_t	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılan eşdeğer alan
Δl	: Boy değişimi
ΔT	: Sıcaklık artışı
d_{su}	: Suyun istenilen sıcaklıktaki yoğunluğu
E	: Elastisite modülü
E_m	: Matriksin elastisite modülü
E_f	: Cam fiberin elastisite modülü
F	: Alan
ε	: Şekil değiştirme oranı
ε_x	: Enine (x yönünde) şekil değiştirme oranı
ε_y	: Boyuna (y yönünde) şekil değiştirme oranı
γ	: Özgül ağırlık
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Kayma modülü
i	: Atalet yarıçapı
σ	: Gerilme
I_x	: x-x eksenine göre atalet momenti
I_y	: y-y eksenine göre atalet momenti
i_x	: x-x eksenine göre kesitin atalet yarıçapı
i_y	: y-y eksenine göre kesitin atalet yarıçapı
l	: İlk boy
L	: Mesnet açıklığı

M_2	: Malzemenin y-y Yönündeki momenti
M_3	: Malzemenin x-x Yönündeki momenti
P	: Eksenel kuvvet (Yük)
P_1	: Kuru ağırlık
P_2	: Su emdirilmiş ağırlık
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
sk_x	: x-x eksenine dik burkulma boyu
sk_y	: y-y eksenine dik burkulma boyu
S	: Statik moment
S_a	: Ağırlık olarak su emme yüzdesi
$S(T)$: Spektrum katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
ν	: Poisson oranı
V_2	: Malzemenin y-y Yönündeki kesme kuvveti
V_3	: Malzemenin x-x Yönündeki kesme kuvveti
V_m	: Matriksin hacmi
V_f	: Cam fiberin hacmi
λ	: Genleşme katsayısı
W	: Mukavemet momenti
W_h	: Malzemenin kuru ağırlığı
W_s	: Malzemenin su içindeki ağırlığı
y	: Tarafsız eksen uzaklığı
Z	: Yerel zemin sınıfı
ASTM	: Amerika standart test metodu
CTP	: Cam fiber takviyeli plastik
MIT	: Massachusetts institute of technology
TS	: Türk standardı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Tam donanımlı araştırma seraları	2
Şekil 1.2. Venlo model cam seraları	3
Şekil 1.3. Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri	10
Şekil 1.4. Sera yapı elemanları	12
Şekil 1.5. Hobby seraları	16
Şekil 1.6. Tek katlı polykarbon seralar	16
Şekil 1.7. Gotik model plastik örtülü seralar	17
Şekil 1.8. Madeni yapı seraları	17
Şekil 1.9. Aliminyumdan profillerden imal polikarbon, cam, pe örtülü seralar	18
Şekil 2.1. CTP vapur iskelesi	25
Şekil 2.2. CTP metro istasyonu.....	26
Şekil 2.3. CTP yaya ve hafif araç köprüsü.....	27
Şekil 2.4. Basel gözlem evi	28
Şekil 2.5. Pultruzyonla üretilmiş CTP kullanılarak yapılmış prototip yapı (MIT)	28
Şekil 3.1. Elyaf üretim prosesi ve kovan resmi.....	49
Şekil 3.2. Elyaf çeşitleri	51
Şekil 3.3. Kumaş çeşitleri	52
Şekil 3.4. Keçe (Mat) çeşitleri.....	53
Şekil 3.5. Kesikli cam elyaf takviyeleri	54
Şekil 3.6. Karbon elyafı	56
Şekil 3.7. Profil çekme makinesinin genel gösterimi.....	59
Şekil 3.8. Profil çekme makinesi.....	59
Şekil 3.9. Fital sehpaları (Elyaf bobinleri)	60
Şekil 3.10. Örnek profil detayı.....	61
Şekil 3.11. Kontrol ünitesi	61
Şekil 3.12. Örnek kalıp şekli	62
Şekil 3.13. Paletler	63

Şekil 3.14. Bıçaklar	63
Şekil 3.15. Alev dayanımı sağlanmış profil	65
Şekil 4.1. Çekme makinesi çeneleri ve düzeneği	70
Şekil 4.2. Çekme makinesi ve donanımı	71
Şekil 4.3. CTP profilleri	72
Şekil 4.4. Profillerden kesilmiş CTP numuneleri.....	73
Şekil 4.5. Metal başlık yapıştırılmış numuneler.....	74
Şekil 4.6. Makine çenelerine sıkıştırılmış numuneler	75
Şekil 4.7. Çekme deneyi düzeneği	76
Şekil 4.8. Çekme testi yapılmış numune	76
Şekil 4.9. Çekme deneyi yapılmış numuneler.....	77
Şekil 4.10. Lif doğrultusuna paralel tek numuneye ait çekme deneyi grafiği.....	79
Şekil 4.11. Lif doğrultusuna paralel numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri.....	79
Şekil 4.12. Lif doğrultusuna dik gerilme-şekil değiştirme grafiği örneği.....	86
Şekil 4.13. Poison Oranı deneyi öncesi oluşturulan düzenek	88
Şekil 4.14. Extansometre ve komparatör saatinin numuneye montajı	89
Şekil 4.15. Poisson Oranı deneyi sonrası	90
Şekil 4.16. Poisson Oranı deneyi grafiği.....	91
Şekil 4.17. Numunelere ait Poisson Oranı deneyi grafikleri.....	92
Şekil 4.18. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme deney numuneleri.....	98
Şekil 4.19. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme deneyi yüklemesi	99
Şekil 4.20. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme deneyinde kırılmış numune örneği.....	99
Şekil 4.21. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme numunesine ait gerilme-sehim grafiği örneği.....	100
Şekil 4.22. Isı genleşme deyininde numune boylarının ölçülmesi.....	102
Şekil 4.23. 1. Numunenin sıcaklık – uzama eğrisi	103
Şekil 4.24. 2. Numunenin sıcaklık – uzama eğrisi.....	104
Şekil 4.25. 3. Numunenin sıcaklık – uzama eğrisi	104
Şekil 4.26. 3. Numunenin sıcaklık-uzama ilişkisi.....	105
Şekil 4.27. Arşimet terazisi ve özgül ağırlık numuneleri.....	106
Şekil 4.28. Tüm tabakadaki fiber ve matris oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler	113

Şekil 4.29. Tüm tabakadaki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için fırına konulan numuneler	113
Şekil 4.30. Isıl işlem sonucu fırındaki CTP numuneler	114
Şekil 4.31. Orta bölgedeki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler	117
Şekil 4.32. Orta tabaka için 600 °C 'lik ısıl işlem sonucu fırındaki CTP numuneleri.....	117
Şekil 4.33. 600 °C 'lik ısıl işlem sonucu fırından çıkarılan orta bölgedeki boyuna fiberler	118
Şekil 5.1. Model sera perspektif ve görüşleri.....	136
Şekil 5.2. Örnek profil kesitinin gösterimi.....	140
Şekil 5.3. Z4 zemin sınıfının ivme spektrum eğrisi	144
Şekil 5.4. Yapı elemanlarının pozitif eksen takımları [SAP2000].....	146

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Seradan beklenen özellikler ile CTP malzemesinin özelliklerinin karşılaştırılması	8
Tablo 2.1. Maliyet analizi tablosu	27
Tablo 3.1. 2004-1997 yılları arasındaki polyeşter reçine kullanımı	45
Tablo 3.2. En çok kullanılan termoset matrikslerin mekanik ve fiziksel özellikleri .	46
Tablo 3.3. Başlıca cam tipleri ve özellikleri	50
Tablo 3.4. Tipik elyafların mekanik özellikleri.....	57
Tablo 4.1. Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi sonuçları	85
Tablo 4.2. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları.....	87
Tablo 4.3. Bir numuneye ait poisson deneyi sonuçları	91
Tablo 4.4. Poisson Oranı deneyi sonuçları.....	97
Tablo 4.5. Dikdörtgen dolu kesitli numunelerin eğilme deneyi sonuçları	101
Tablo 4.6. 3 adet numunenin sıcaklığa bağlı boy uzama değerleri.....	102
Tablo 4.7. Isıl genişleme katsayısı	106
Tablo 4.8. Özgül ağırlık deneyinde numune ağırlıkları	107
Tablo 4.9. Özgül ağırlık deneyi sonuçları	108
Tablo 4.10. Birim ağırlık deneyi sonuçları	109
Tablo 4.11. Su emme deney sonuçları	110
Tablo 4.12. CTP profile ait tüm tabakadaki ağırlıkça fiber ve matriks oranları	115
Tablo 4.13. CTP profile ait tüm tabakadaki hacimce fiber ve matriks oranları.....	116
Tablo 4.14. Orta bölgede ağırlıkça fiber ve matriks oranları	119
Tablo 4.15. Orta bölgede hacimce fiber ve matriks oranları.....	120
Tablo 4.16. Reçine yakma metotlarına göre genel ağırlık ve hacim oranları	121
Tablo 4.17. Fiber ve matriks hacim yüzdeleri.....	121
Tablo 4.18. Profil birleşim özellikleri	122
Tablo 4.19. Profil bileşenlerine ait özellikler	122
Tablo 4.20. Tabaka kalınlıkları	123

Tablo 4.21. Reçine yakma metoduna ve üretici firma verilerine göre fiber, matris hacim yüzdeleri ile tabaka kalınlıkları	132
Tablo 4.22. Reçine yakma ve üretici firma verilerine göre CTP mekanik özellikleri.....	132
Tablo 4.23. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması	133
Tablo 5.1. Tasarlanan sera modelinin özellikleri	135
Tablo 5.2. Malzeme mekanik özellikleri.....	139
Tablo 5.3. Kullanılan profile ait kesit özellikleri	140
Tablo 5.4. Etkin Yer İvmesi Katsayısı	140
Tablo 5.5. Spektrum Karakteristik Periyotları	141
Tablo 5.6. Zemin Değerleri.....	141
Tablo 5.7. Yük miktarları.....	141
Tablo 5.8. İvme spektrum değerleri	144
Tablo 5.9. Yük kombinasyonları.....	144
Tablo 5.10. Sera modelinde kolonlara gelen maksimum yükler.....	147
Tablo 5.11. Kolon tahkiki sonucu	150
Tablo 5.12. Sera modelinde aşıklara gelen maksimum yükler	150
Tablo 5.13. Aşık tahkiki sonucu	154
Tablo 5.14. Sera modelinde çatı üst başlıklarına gelen maksimum yükler.....	154
Tablo 5.15. Çatı üst başlığı tahkiki sonucu	156
Tablo 5.16. Sera modelinde çatı alt başlıklarına gelen maksimum yükler	156
Tablo 5.17. Çatı alt başlığı tahkiki sonucu.....	158
Tablo 5.18. Sera modelinde çatı dikme elemanlarına gelen maksimum yükler	158
Tablo 5.19. Çatı dikme elemanı tahkiki sonucu.....	160
Tablo 5.20. Sera modelinde diyagonal elemanlarına gelen maksimum yükler	160
Tablo 5.21. Çatı diyagonal elemanı tahkiki sonucu	162
Tablo 5.22. Sera modelinde yük değerlerine göre tahkik sonucu	162
Tablo 5.23. Sera modelinin emniyet değerlerine göre tahkik sonucu.....	163
Tablo 5.24. Çelik sera maliyet analizi.....	165
Tablo 5.25. CTP sera maliyet analizi	165

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Cam Elyaf, Reçine, Pultruzyon, Cam Elyaf Takviyeli Plastik (CTP), Sera tasarımı, Statik Analiz, Dinamik Analiz.

Dünyadaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak sera yapımında kullanılan değişik malzemeler ve yeni teknolojik ürünler sürekli araştırılmaktadır. Son teknoloji ürünlerinden biri de Cam Elyaf Takviyeli Plastik (CTP) malzemelerdir.

Cam elyaf takviyeli plastik malzeme temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır ve çeşitli üretim metotları kullanılarak üretilmektedir. Bu metotlardan Pultruzyon metodu, CTP kalıplamasında, özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profil türündeki ürünlerin yapımında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; pultruzyon metodu ile üretilen CTP ile yapılacak serada kullanılan profillerin fiziksel ve mekanik özellikleri, ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak belirlenmiştir. Standard test metotları ile belirlenen mekanik özellikler deneysel olarak belirlenen fiber ve matriks hacim oranları kullanılarak belirlenen mekanik özelliklerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca deneysel olarak belirlenen fiber matriks hacim oranları ile üretici firma tarafından verilen fiber matriks hacim oranları ile de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarla elde edilen kalibrasyonlar yardımı ile daha sonra kullanılacak olan değişik profillere ait mekanik özelliklere deneysel çalışmalara gerek kalmadan daha hızlı bir şekilde ulaşılabilecektir.

Belirlenen mekanik özellikler kullanılarak yapı sistemi bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu (SAP 2000) ile modellenerek statik ve dinamik yükler altındaki davranışı tespit edilerek seracılıkta yaygın olarak kullanılan geleneksel malzemelerden olan çelik konstrüksiyonlarla karşılaştırılmıştır. CTP profillerle tasarlanan sera modeli proje ile diğer geleneksel malzemelerden olan çelik profiller ile tasarlanan sera modeli ile proje bazında maliyet analizleri yapılmıştır.

MODELLING OF GREENHOUSE WITH CTP PROFILES PRODUCED BY PULTRUSION METHOD

SUMMARY

Key Words: Glass Fiber, Resin, Pultrusion, Glass Fiber Reinforced Plastic (GRP), Modelling of Greenhouse, Static Analysis, Dynamic Analysis

Various greenhouse structural materials and new technological developments have been investigated as a result of technological developments in the world. One of the new technological materials is the Glass Fiber Reinforced Plastic (GRP) materials.

Glass fibre reinforced plastic materials are basically constituted of resin and continuous or chopped fibers. They are manufactured using various manufacturing methods. The pultrusion process is a proven manufacturing method for obtaining lengths of high quality GRP.

In this study, mechanical and physical properties of GRP produced via pultrusion method, which is used in greenhouse, were determined by standard test methods. Mechanical properties determined by experiments were compared with mechanical properties calculated as theoretical analysis. Furthermore, fiber/matrix volume ratio (V_f/V_m) determined using experimental methods and it was compared with producer company. When calibration was achieved with results obtained from comparisons and so, more experiments was unnecessary.

Determined mechanical properties were used to model structural system using finite element SAP 2000 package program. As a result of modelling, the behavior of materials under dynamic and static loads was determined and those results were compared with steel that is conventional greenhouse material and than cost analyses were computed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Seranın Önemi ve Tanımı

Ülkemizde kırsal kesimde nüfusun tutulmasının en önemli sorunlarından biri toprak sermaye büyüklüğüdür. Artan nüfus, gittikçe parçalanarak her geçen gün küçük alanlardan daha fazla yararlanmayı gerektirmektedir. Sera, şu anda ülkemizde işsizliği azaltan, daha fazla ürün alınmasını sağlayan, nüfusu kırsal kesimde tutarak çarpık şehirleşmeyi önleyen önlemlerin ilki olarak görülmektedir. Sebze ve meyvelerin insan sağlığı yönünden önemi, içinde bulunan vitaminler, hormonlar, bazılar, mineral ve biyokimyasal maddelerden dolayıdır. Sebze ve meyvelerin çeşitli şekillerde saklanarak yetiştirilme mevsiminin dışında tüketilmesi sorununa bir ölçüde çözüm olabilirse de, derin dondurulan soğuk hava depolarında, konserve yapılan veya kurutulmuş sebze ve meyveler, tazesine göre birçok özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır. Bunun yanında bazı sebze ve meyvelerin bu şekilde saklanmasına olanak yoktur. Sebze üretimindeki bu dar boğazı aşmak ve tüketiciye her zaman taze sebze sunabilmek için bazı özel yapılarda uygun çevre koşullarının sağlanmasına gereksinim vardır. Sebze ve meyvelerin yetiştirilme, gelişme ve büyümeleri için çevre koşullarının uygun olmadığı mevsimlerde, taze sebze ve meyve yetiştiriciliği ancak bu bitkilerin en iyi şekilde gelişmesi için uygun koşulların yaratıldığı sera veya ser olarak tanımlanan özel tesisleri planlamak ve kurmakla sağlanabilir. Seralarda bitkilerin ekonomik olarak yetiştirilmesi ve en iyi şekilde gelişmesi için uygun ısı, nem, hava ve ışık gibi etmenler en az yatırım ve işgücü ile sağlanabilmelidir.

Sera veya Ser'i kısaca "iklime bağlı kalmadan, bütün yıl boyunca ekonomik olarak sebze ve meyve yetiştirilmesinin ve yetiştiriciliğinin yapıldığı tesisler" olarak tanımlayabildiğimiz gibi, kapsamlı olarak da şöyle tanımlayabiliriz. İklimle ilgili çevre koşullarına, tümüyle veya kısmen bağlı kalmadan gerektiğinde sıcaklık, ışık, nem ve hava gibi etmenler

denetim altında tutularak bütün yıl boyunca çeşitli kültür bitkileriyle bunların tohum, fide ve fidanlarını üretmek, bitkileri korumak, sergilemek amacıyla cam, plastik v.b. ışık geçirebilen malzeme ile kaplanarak değişik şekillerde yapılan, yüksek sistemli bir örtü altı yetiştiriciliği yapısıdır. Bu tür tesislerin bulunduğu işletmelere "sera veya ser işletmesi" denir. Bunun yanında bitki yetiştirilebilmesi için çevre koşullarının olumsuz etkilerini kısmen ortadan kaldıran plastik malçlar, yüzeysel örtüler, yastıklar, alçak ve yüksek tüneller sera olarak nitelendirilemezler [1]. Tam donanımlı araştırma seralara Şekil 1.1’de, cam seralara. Şekil 1.2’de örnekler verilmiştir.



Şekil 1.1. Tam donanımlı araştırma seraları [2]



Şekil 1.2. Venlo model cam seraları [2]

1.2. Dünyada Seracılık

İtalya'da Romalılar devrinde güneşe bakan kuytu yamaçlarda açılan çukurların üzerinin şeffaf malzemeyle kapatılarak sebze yetiştirilmesinden başlayan, örtü altında bitki yetiştiriciliği, daha sonra Avrupa'da evlerin güneşe bakan yönlerinin camla örtülmesiyle gelişmeyi sürdürmüştür.

On altıncı ve on yedinci asırlarda yapılan, bu yapılar seracılığın ilk başlangıcı sayılabilir. On sekizinci asırda bu yapılarda ışık miktarının az olduğu belirlenerek, yapı içine giren ışık miktarını arttırmak amacıyla pencere alanı fazlaştırılmış ve çatıdan başka yan duvarlarında cam yapılması sağlanmıştır. Daha sonra ABD ve Avrupa'da sera yapımı, endüstri ile birlikte birinci dünya savaşından sonra hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır.

Günümüzde uluslararası seracılığa bakacak olursak, seraların dünya üzerinde geniş bir yayılma alanı olduğunu görürüz. Bu geniş yayılma alanı üzerinde ekolojik etmenler ve sera teknolojisinin oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, sera

yetiştiriciliği yapılan ülkeleri farklı enlem dereceleri ve farklı sera teknolojileri göz önüne alınarak şöyle sınıflandırmamız mümkündür [2].

1. Serin iklim kuşağındaki ülkeler,
2. Ilıman iklim kuşağındaki ülkeler,
3. İki iklimin egemen olduğu ülkeler.

1.2.1. Serin iklim kuşağındaki ülkeler

Bu kuşakta yer alan başlıca Avrupa ülkelerinden Hollanda, İngiltere, Danimarka, B. Almanya, Romanya, Bulgaristan ve Sovyetler Birliğidir. Hollanda bu ülkeler içinde 10.000ha cam sera alanı ve üretim tekniği yönünden en başta gelen ülkedir. Bu ülkelerin seracılık yönünden ortak özellikleri şöyledir.

1. Sera yapı elemanları profil çelik, alüminyum veya başka alaşımlardan, örtü malzemeleri ise camdır.
2. Sera yapımı ve ısıtma sistemlerinin kurulması yüksek bir yatırım gerektirmektedir.
3. İklim etmenleri, sera içi ısıtmasının uzun süre yapılmasını gerekli kılmaktadır.
4. Bu seralarda en uygun ısıtma, aydınlatma, havalandırma yapılmakta ve diğer kültürel işlemlerde eksiksiz yerine getirilmektedir.

Serin iklim kuşağındaki ülkelerin seracılık işletmeleri, ılıman iklim kuşağındaki seracılık işletmelerine göre şu zorlukları vardır [3].

1. Üretim masraflarının yüksek olması,
2. Enerji giderinin fazla olması,
3. Ürün çeşidinin arttırılmamasıdır.

1.2.2. Ilıman iklim kuşağındaki ülkeler

Bu kuşakta yer alan ülkelerin elverişli ekolojik koşulları, seracılığın kârlı olarak yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ortalama sıcaklıkların özellikle kış aylarında yüksek olması, seralarda en büyük girdi olan ısıtma masraflarını azaltması nedeniyle,

bu ülkelerde sera alanları hızla artmaktadır. Bu iklim kuşağında Akdeniz'e kıyısı bulunan ülkeler bulunmaktadır. İspanya, Türkiye, İtalya, Yunanistan, İsrail gibi ülkeler bu kuşakta yer almakta ve bunlar içinde ülkemizin sera kurmaya uygun çok büyük bir potansiyeli vardır. Bu kuşaktaki ülkelerin seracılık yönünden ortak özellikleri şunlardır.

1. Seracılık ilkbahar ve sonbahar turfandacılığı olarak iki ürün biçiminde yapılabilmektedir.
2. Seralar düşük yatırım masraflarıyla kurulabilmektedir.
3. Seracılıkta en büyük işletme gideri olan ısıtma, en düşük düzeyde tutulabilmektedir.
4. Yatırım ve işletme giderlerinin az olmasına karşın seralardaki üretim teknolojileri düşük düzeydedir. Bu nedenlerle, seralardan elde edilen lininlerin verim ve kalitesi daha düşüktür [4].

1.2.3. İki iklimin egemen olduğu ülkeler

Bu ülkelerde ortak olan özellik cam ve plastik seraların bir arada oluşudur. Akdeniz ülkelerinde seralarda bu özellikte olmasına karşılık, bu ülkelerin içinde ABD ve Japonya'da plastik seralarda da yüksek teknoloji uygulanmaktadır.

Bütün dünyada sera ısıtılmasında gerekli olan büyük masraflar nedeniyle sera işletmeciliği soğuk bölgelerden ılıman bölgelere doğru, kış aylarında mevsimin uygun olduğu ve ısıtma masrafının düşük olduğu yörelere doğru kaymaktadır. Bu nedenle, sera işletmeciliği için 30-40 enlem dereceleri arasındaki ülkeler daha elverişli duruma gelmektedir. Çünkü 30. enlem derecesinin altına inildiğinde fazla sıcaktan seralarda soğutma, 40. enlem derecesinin üzerine çıkıldığında ısıtma masrafları yükselmektedir [5].

1.3. Ülkemizde Seracılık

Sera işletmelerinin kurulması iklim yönünden en uygun olan Antalya ve İçel illerinde başlamıştır. Aslında serada bitki yetiştiriciliği ülkemizin her tarafında yapılırsa da,

bitkiler için uygun çevre koşullarının sağlanmasında, ekonomi, taşıma ve pazarlama gibi etkenler sera işletmeciliğini kısıtlar veya geliştirir. Bu arada düşünülmesi gereken diğer bir noktada serada bitki yetiştirilmesine daha az uygun olan fakat büyük tüketim merkezlerine yakın olan yerlerde, seranın ısıtılması için harcama artarken, taşıma masraflarının da azalması sera yapımında etkili rol oynayabilir. Bu alanlar, güneş enerjisinden yararlanarak ısıtma giderlerinin azaltılması gibi teknik önlemler yanında, doğada bulunan sıcak su, kaynar su ve buhar gibi jeotermal kaynakların da aynı amaca uygun olarak kullanılması ile ülkemiz sera işletmelerinin alanlarının büyümesinde önemli katkısı olabilecektir.

Sera işletmeciliğini kısıtlayıcı en büyük etmen, sera içinde bitki gelişmesi için en uygun sıcaklığı sağlamada kullanılan yakıt ile ısıtma sistemi bakım giderleridir. Bu nedenle ülkemizde sera işletmeciliği kurulabilecek bölgeler Akdeniz, Ege, Marmara, Karadeniz Bölgeleri ile uygun mikro iklimi olan yörelerdir. Ülkemiz diğer Akdeniz ülkelerine göre daha büyük bir seracılık potansiyeline sahiptir. Bunun nedeni, İspanya ve Fransa kıyıları altyapısı çok iyi olan bir turizm alanı olması ve bu tesislerden sera kurulacak alanın pek kısıtlı kalmasıdır. İtalya ve Yunanistan'da ise kıyıları oldukça engebeli ve dağlık olması nedeniyle, sera işletmeciliği için alanın çok az olmasıdır. Afrika kıyılarındaki Fas, Cezayir, Tunus, Libya gibi ülkelerde ise, uzun süreli yetiştiricilik için kışın ısıtma yanında sıcak mevsimlerde, soğutma da gerekmektedir.

Ülkemizde seracılığın bölgelerimize göre belirgin özelliklerini şöyle özetleyebiliriz. Seracılığın yoğun olarak yapıldığı en kuzeydeki yöre Yalova'dır. Mikro iklim özelliği gösteren ekolojik yapısı ve İstanbul gibi büyük bir tüketim merkezine yakın olması önemini korumaktadır. Son yıllarda bu yöredeki sera işletmelerinin özelliği kesme ve saksı çiçeği yetiştiricilik tekniğinin uygulanmasıdır. İzmir'de seraların büyük bölümü Balçova, Narlıdere ovasında bulunmaktadır. Yörenin mikro iklim özelliğindeki ekolojik uygunluğu, zengin jeotermal kaynakların toprağın kolay ısınmasına etkisi, İzmir gibi büyük bir pazara akınlığı bölgede seracılığın gelişmesindeki önemli etmenlerdir. Seralarda en çok hıyar yetiştirilmekte ve daha sonra ilkbaharda semizotu, sonbaharda marul gelmektedir. Son zamanlarda süs bitkileri yetiştiriciliğine yönelinmektedir.

Seraların bulunduğu alanların yoğun yerleşim merkezleri olması nedeniyle, İzmir dolayında seracılık alanı yönünden doyum noktasında bulunmakta ve bu alanların fazla artması şimdilik beklenmemektedir. Sera alanlarının son zamanlarda hızla arttığı il olan Muğla'da seralar, Fethiye ilçesinde yayılmaktadır. Seracılık bu ilçede yeni olduğundan, seralarda; ürün olarak domates yetiştirilmektedir. Ekolojik koşulların uygun olması ve kurulacak alanların bulunması, seracılık yönünden bu ilimizin büyük bir potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

Antalya yöresinde ise sera tarımı Kaş, Gazipaşa ilçeleri arasındaki kıyı şeridinde yoğun olarak yapılmaktadır. Yöre sera alanlarının fazlalığı ve sera üretim tekniği yönünden ülkemizde en iyi durumdadır. Bölgede sera sebze üretiminde ana ürünler domates, biber, hıyar ve patlıcan'dır. Son yıllarda süs bitkilerinin yetiştirilmesine de başlanmıştır. Bölgede sonbahar ve ilkbahar yetiştiriciliği yapılan bazı mikro klima yörelerinde ısıtma masrafı tümüyle ortadan kalkmaktadır. İçel ilindeki seralar Mersin'den başlayıp batıya doğru kıyı şeridindedir. İçel ili seralarındaki sebze üretiminde domates, biber ve hıyar yer almaktadır. Bölgenin ekolojik koşullarının uygun olmasına karşılık, üretim tekniğinin iyi olmaması nedeniyle, niteliği düşük ürünler elde edilmektedir [6].

1.4. Sera Yapı Malzemeleri

Ülkemizde ve diğer ülkelerde bazı durumlarda sera işletmeciliği veya sera yetiştiriciliği ile "örtü altı yetiştiriciliği" aynı anlamda kullanılmaktadır. Örtü altı yetiştiriciliği oldukça geniş kapsamlı ve çevre koşullarının olumsuz etkisini kısmen veya tamamen ortadan kaldırarak bitkisel üretim yapmaya yarayan alçak veya yüksek sistemler olarak tanımlanabilir. Örtü altı yetiştiriciliği; yüzeysel örtüler, alçak tüneller, yüksek tüneller ve seralar olmak üzere dört ayrı sınıfta incelenmektedir.

Seralar çeşitli bitkilerin yetişme, büyüme ve gelişmeleri için uygun olmayan doğal çevre koşullarında, en uygun bitki gelişme koşulları yaratılarak yetiştirilmeleri amacıyla planlanırlar. Sera tiplerinin seçiminde ve planlanmasında en uygun gelişme etmenlerinin ne şekilde yaratılacağı konusu üzerinde durulmalıdır.

Sera yapı elemanları temel, iskelet elemanları ve çatı olarak sınıflara ayrılabilir. Bu elemanların planlanmasında ve seçiminde bölgenin iklim durumu, serada yetiştirilmek istenen bitki türü, seracılık işletmesinin büyüklüğü ve işletme tipi göz önüne alınmalıdır. Ayrıca seranın yapım malzemesi seçilirken de şu etmenlerin göz önüne alınması gerekmektedir [1].

1. Sera yapı malzemesi ucuz, sağlam ve hafif olmalı,
2. Seri üretime uygun olmalı,
3. Enerji tasarrufunu sağlamalı,
4. Kuruluş ve tamiri kolay olmalı,
5. Hava koşullarından etkilenmemeli,
6. Sera içinde yeterli iklim ayarlaması yapılabilmelidir.

Günümüzde bu özellikleri sağlayan kompozit malzemeler giderek önem kazanmakta ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Artık tek yönlü özellikteki malzemeler terk edilmektedir. Bu nedenle malzeme alanındaki araştırmaların birçoğu kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile ilgilidir. Tablo 1.1’de seradan beklenen özellikler ile CTP malzemesinin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.1. Seradan beklenen özellikler ile CTP malzemesinin özelliklerinin karşılaştırılması

SERA	CTP
1. Sera yapı malzemesi ucuz, sağlam ve hafif olmalı,	1. Mekanik dayanımı yüksek, hafif, yoğunluğu düşük,
2. Seri üretime uygun olmalı,	2. Üretimi düşük iş gücü ile yapılabiliyor olması
3. Enerji tasarrufunu sağlamalı	3. Düşük ısı iletkenliğine sahip,
4. Hava koşullarından etkilenmemeli,	4. Korozyona dayanımı yüksek,
5. Kuruluş ve tamiri kolay olmalı,	5. CTP malzemesinin montajı kolay ve tamir gerektirmez,
6. Sera içinde yeterli iklim ayarlaması yapılabilmeli,	6. İklimlere uygun çeşitli ebat ve özelliklerde CTP malzemesi üretilebilmesi,
7. Gölgelemesi az olmalı yani sera içine giren ışığın miktarını azaltmamalı	7. Işığı geçirmesi yani saydamlık özelliklerinin de olması,

1.4.1. İskelet malzemeleri

1.4.1.1. Ahşap malzemeler

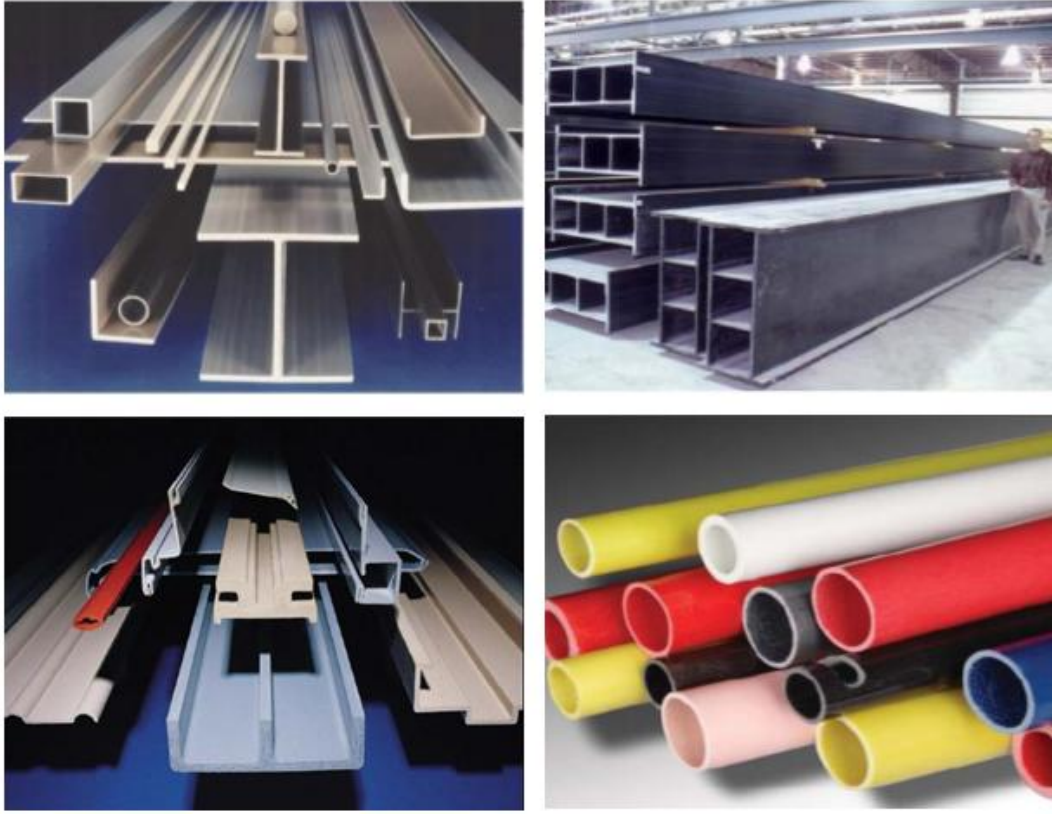
Yapı malzemeleri içinde organik madde olan ahşaptan, çok eski dönemlerden beri yapı malzemesi olarak yararlanılmaktadır. Ağaç malzemelerin hafif ve dayanıklı olması, kolay işlenmesi, çivilenmesi ve vidalanması gibi iyi özellikleri vardır. Ayrıca hem çekmeye, hem de basınca çalışması gibi üstünlüğü vardır. Buna karşılık bünyesine su alarak şişmesi, kuruyunca büzülüp çatlaması, mantar hastalıklarına dayanıksızlığı gibi sakıncalı yönleri vardır. Ağaç malzeme yapılar da yuvarlak, biçilmiş ve levha şekillerinde kullanılır. Ağaç malzemenin biçilerek kullanılması en yaygın olanıdır [1].

1.4.1.2. Metal malzemeler

Seralarda yaygın olarak kullanılan çelik ürünü haddelenerek değişik profiller kazandırılmış ve piyasada çelik profil olarak bulunan malzemelerdir. Bu profil çeliklerden en fazla kullanılanları; I, T, L, U profiller ve çelik levhalardır. Çelik profilleri birçok üstünlüğü yanında, paslanması en önemli sakınışıdır. Bunun önlenmesi boyamayla ya da galvanize edilmesi ile mümkün olmaktadır [1].

1.4.1.3. CTP malzemeler

Profil çekme metodu ile üretilen I, T, L, U, kutu ve boru profillerinin yanı sıra sabit şekle sahip olmayan profillerin de üretimi yapılabilmektedir. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş çeşitli kesit şekillerine sahip profiller Şekil 1.3'de görülmektedir. (4. Bölümde CTP'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, ayrıntılı olarak değinilmiştir).



Şekil 1.3. Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri [3]

1.4.2. Sera iskelet elemanları

Temel duvarlarından sonra başlayan ve seranın ağırlığını, yükünü sera temeline ileten yapı elemanlarıdır. Bir seranın iskeleti kolonlar ve çatıyı oluşturan çeşitli elemanlardan oluşmaktadır [1].

İskeleti oluşturan elemanlarda şu özelliklerin olması gerekir:

1. İskelet elemanları sağlam, ucuz ve hafif olmalı,
2. Kolay kurulabilmeli,
3. Gölgelemesi az olmalı yani sera içine giren ışığın miktarını azaltmamalı
4. Hava geçirgenliği yani ısı kaybı az olmalıdır.

1.4.2.1. Kolonlar (dikmeler)

Kolonlar, çatı ağırlığını ve sera yüzeylerine gelen rüzgâr ve kar yükünü çeken ve sera temeline ve dolaylı olarak toprağa ileten yapı elemanlarıdır. Kolonların yapımında

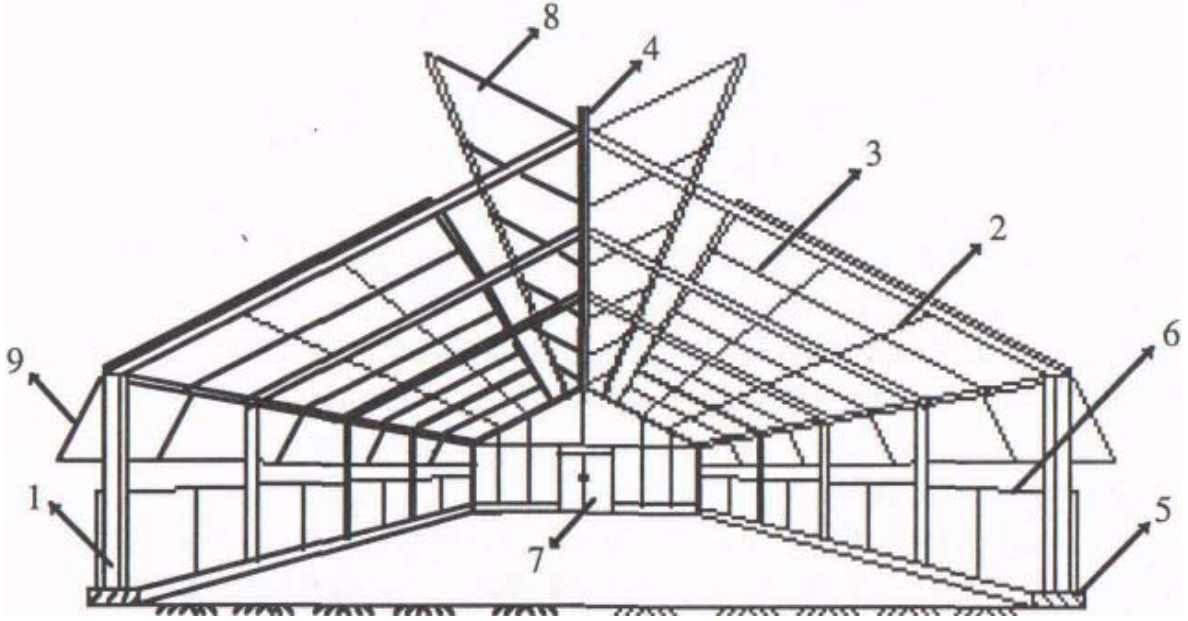
ahşap, çelik ve alüminyum malzemeler kullanılabilir, Kolonların yapımında ahşap kullanılırsa kesiti, daire, dikdörtgen veya kare olabilir. Çelik veya alüminyum kullanılırsa, kesit yüzeyi L, T, I, U şeklinde içi boş kare veya dikdörtgen olabilir. Kolonların yapımında demirli beton, kesit alanının fazla ve dolayısıyla sera içinde gölgelenmenin fazla olması nedeniyle pek kullanılmaz. Kolonların olduğu sera yan yüzeyleri boyunca çeşitli şekillerde yerleştirilmiş havalandırma pencereleri bulunur. Havalandırma pencereleri karşılıklı yan yüzeyleri boyunca aynı büyüklük ve yükseklikte bulunur [1].

1.4.2.2. Çatı elemanları

Serayı üstten örten çatı elemanları, çatıyı oluşturan iskelet ve çatı örtü elemanları olarak iki sınıf altında incelenebilir. Sera çatısı, çatıyı oluşturan elemanların kendi ağırlıklarını, çatıyı tamamen örten saydam örtü malzemesini, çalı örtüsüne etkili olan kar ve rüzgar yükünü, tamir ve bakım için çatıya çıkan işçilerin ağırlığını ve çatıya asılan çeşitli bitki ekiliş yerlerini taşıyabilecek durumda olmalıdır [1].

Çatı iskeleti elemanları;

Bir seranın çatı iskeletini, mertekler, aşıklar, çatı kirişleri oluşturur (Şekil 1.4). Ayrıca çatıya eklenen yağış sularının uzaklaştırılacağı su olukları, sera iç yüzeyinde yoğunlaşan su damlalarını toplayan damlalıklar ve fazla ısı ve ışık isteyen tavana asılan bitki düzenlerinden oluşur.



Şekil 1.4. Sera yapı elemanları [1]

(1.Kolonlar (Dikmeler), 2.Aşıklar, 3.Mertekler, 4.Mahya aşığı, 5.Temel, 6.Yan aşıklar, 7.Sera kapısı, 8.Çatı havalandırması, 9.Yan havalandırma)

Sera çatısının temel elemanı çatı makas kirişleri çatıdan gelen yüklerin kolonlara iletilmesine yararlar. Çatı kirişleri belirli aralıklarla kolonlar üzerine yerleştirilir ve seranın genel görünümünü ortaya çıkarırlar.

Çatı makas elemanları, çelik iskeletli seralarda kolonlar üzerine köşebentlerle vidalanır, kaynaklanır veya kolon ve kirişler tek malzeme olarak üretilirler. Ahşap iskeletli seralarda bunlar vidalanacağı gibi çivi ile de tutturulur.

Bunlar tek parçalı olduğu gibi, kolonlar üzerine yatay olarak konan kirişle, A tipi, payandalı, kırlangıç kuyruğu, silindirik, çok mesnetli olarak düzenlenebilir. Bu kiriş sistemlerinde sera genişliği pek fazla olmadığı için, kirişler üzerinde aşıklar ve mertekler bulunmaz. Rüzgarın hızlı estiği yörelerde, özellikle plastik örtülü seralarda, plastik örtünün sarkmasını ve şişmesini önlemek için makas aralıklarına destekleyici bağlantı merteklerinin yerleştirilmesi gerekebilir.

Soğuk yerlerde, ahşap iskeletli seralarda kirişlerin altına ikinci kat plastik çekilebilir. Böylece sera içindeki ısı kaybı belirli oranda azalır. Genişliği fazla olan seralarda, kirişler kafes sistemine göre düzenlenirler.

Eğer çatı makas elemanlarının kesitleri küçültülerek daha ucuz malzeme kullanımı ve daha kolay çatı yapımı istenirse, bu durumda sera içine kirişlerden eşit uzaklıklarda ek kolonlar konulmalıdır. Buna karşılık sera içindeki ek kolonlar serada yapılacak tarımsal çalışmaları biraz sınırlarlar. Bu kolonlar özellikle ilk yapım sermayesi az işletmelerde uygulanmaktadır [1].

Çatı örtü malzemesi;

Serayı yağmur, kar ve rüzgar gibi dış etkenlerden koruyarak sera içinden ısı kaybını azaltan ve ışığı olanaklar ölçüsünde sera içine fazla geçiren saydam bir malzemeyle sera çatısı kaplanır. Sera kaplama malzemesi cam veya plastiktir. Seranın yan duvarı da bu malzeme ile kaplanır. Tarımda bir malzeme örtü malzemesi olarak kullanılırken şu özelliklerinin olması istenir.

1. Örtü, güneş ışıklarının örtü altına kolayca girmesini sağlamalı, yansıtma, emme ve iletme gibi olaylarla ışık kaybına neden olmamalıdır.
2. Örtü altında oluşan ısıyı tutmalı, örtü altından ısı kayıpları en alt düzeyde olmalıdır.
3. Ucuz ve örtü kurma maliyeti yüksek olmamalıdır.
4. Örtü malzemesi fazla ağır olmamalıdır. Yoksa kurulan örtünün iskeletine binen fazla yük, ağır ve pahalı bir iskelet yapılmasını ve bu da örtü kurma maliyetinin artmasına neden olur.
5. İstenen şekle kolayca uymalı, kaplandığında boşluklar meydana getirmemeli ve yapım kolaylığı sağlanmalıdır.
6. Dış koşulların etkisi altında şekil değiştirmemelidir. Rüzgarda yırtılmamalı, doluda kırılmamalı, soğuk ve sıcakta genleşip, eğilip, kıvrılmamalı, bükülüp gerilmemeli, uzun ömürlü olmalıdır.
7. Çabuk kirlenmemen ve ışık geçirgenliğini kaybetmemeli, kirlendiğinde kolay temizlenmelidir.
8. Güneşin morötesi (ültraviyole = UV) ışıklarını absorbe ederek bozulmalıdır.
9. Örtünün iç yüzeyinde buğulanma ve nemlenme meydana getirmemelidir.
10. Kolay taşınabilmeli ve taşıma sırasında çabuk bozulup, kırılmamalıdır.
11. Herhangi bir nedenle bozulma ortaya çıktığında kolay değiştirilebilmelidir.

1.5. Seralarda İklimlendirme

1.5.1. Seraların ısıtılması

Sera ısıtmasında, en önemlisi ısının sera içinde dengeli olarak dağılmasıdır.

Sera ısıtma sisteminin özellikleri;

1. Sistem, dış hava sıcaklığına bağlı olmadan sera içi sıcaklığını istenilen sınırlar içinde tutabilmeli,
2. Isı sera içinde dengeli olarak dağılmalı,
3. Sık arızalanmamalı,
4. Kolay yakıt sağlanabilmeli,
5. Verimli çalıştırılabilmeli,
6. Maliyet ve yakıt masrafları az olmalıdır.

Seraların örtü malzemesi olan cam ve plastiğin ısı geçirme özelliğinin yüksek olması nedeniyle seralar çabuk ısınır ve çabuk soğurlar, Serada bitkinin iyi bir şekilde gelişebilmesi için seranın sıcaklığı düştüğü zaman sera içine ısı verilmesi gerekmektedir [4].

Seraya verilecek ısının miktarı;

1. Sera dışındaki hava sıcaklığına,
2. Sera içinde istenilen sıcaklık derecesine,
3. Seranın dış yüzeylerinin toplam alanına,
4. Sera örtü malzemesinin tipine ve kat sayısına,
5. Seranın yapı kalitesine bağlı olarak değişir.

Seraların bulunduğu yerde çevre sıcaklığının en düşük olduğu zamanlarda, sera için istenilen sıcaklık derecesinde ($15 - 20^{\circ}\text{C}$) tutulabilmesi için seranın ısıtılması gerekir. Bu şekilde ısıtma fazla pahalı olacağından sera içi sıcaklığı bir süre $7 - 10^{\circ}\text{C}$ 'de tutulabilir. Bu sıcaklık derecelerinde bitkilerin gelişme hızı yavaşlarsa bile, bitki yetiştiriciliği yönünden sakıncalı sayılmayabilir [4].

Seralarda Kullanılan Isıtma Yöntemleri:

1. Sobalarla ısıtma,
2. Kaloriferli ısıtma,
3. Sıcak havayla ısıtma.

Isıtılmış havanın belli aralıklarla küçük delikleri bulunan ince polietilenden yapılmış boru kanallara, bir basınç altında sürekli olarak gönderilmesi ilkesine dayanır.

1. Doğal enerji kaynaklarından yararlanarak ısıtma,
2. Elektrik enerjisiyle ısıtma,
3. Atık enerjiden yararlanarak ısıtma.

1.5.2. Seraların soğutulması

Havalandırma;

Sera Havalandırmasının Nedenleri:

1. Oksijen ve karbondioksit dengelemesi,
2. Sera içi sıcaklığının dengelenmesi,
3. Güneşlenmeyle ortaya çıkan yüksek ısının sera dışına atılması,
4. Nemin dengelenmesi.

Havalandırma sisteminin özellikleri:

1. Havalandırma sistemi bitkiler üzerine bir hava hareketi oluşturabilmeli ve bu hareket bitki üstü boşlukta olmalı,
2. Seraya giren taze hava doğrudan bitkileri çarpmamalı,
3. Havalandırma elemanı sağlam olmalı ve iyice kapanabilmeli, (böylece hava değişimi ile ısı kaybı az olur.)
4. Havalandırma sistemi dış etkilerle açılıp kapanmamalı,
5. Havalandırma açıklıkları yeterince büyük olmalı,
6. Havalandırma düzeni işletmede teknik sorunlar yaratmayacak, az bir kuvvetle açılıp kapanabilecek durumda olmalıdır [4].

Günümüzde uygulanan başlıca sera modelleri aşağıda Şekil 1.5-1.9'da gösterilmektedir.

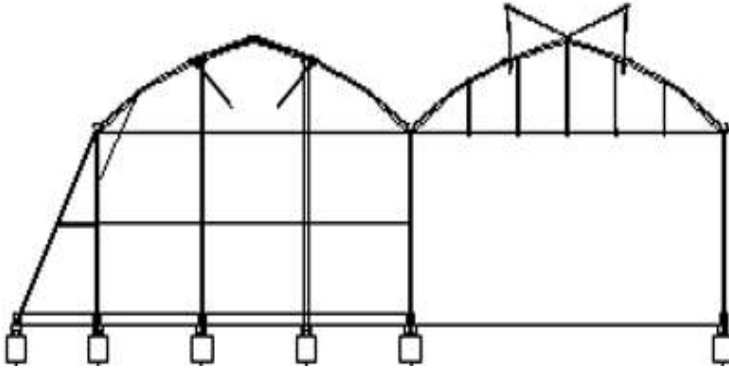


Şekil 1.5. Hoby seraları [2]



Şekil 1.6. Tek katlı polykarbon seralar [2]





Şekil 1.7. Gotik model plastik örtülü seralar [2]



Şekil 1.8. Madeni yapı seraları [5]



Şekil 1.9. Alüminyumdan profillerden imal polikarbon, cam, pe örtülü seralar [6]

Kompozit malzemelerden yaygın olarak kullanılan cam elyaf takviyeli plastiklerin üzerinde deneyler yaparak malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi (4. Bölümde CTP'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, ayrıntılı olarak değinilmiştir) ve bu malzemeyi kullanarak kalıcı sera yapılmasında kullanılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu tür malzemelerin sera yapımı sektöründe kullanımını artırmak ve bu malzemelerin statik ve dinamik yük altındaki davranışlarını incelemek gerekmektedir. (5. Bölümde Model Seranın Tasarımında ayrıntılı olarak değinilmiştir.)

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılarda kullanılan malzemeler, sağlamlık (strenght, katı) ve mukavemetlik (stiffness) 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 (stiffness) özelliğidir. Malzemeye çeşitli yükler uygulandığında malzeme mutlaka karşı direnç göstermeli ve deformasyona izin vermemeli ya da deformasyon oluyorsa bile çok küçük boyutlarda kalmalıdır [7]. Malzemenin mukavemet değeri, yük ile deformasyon arasındaki orantı ile belirlenir. Bu yüzden yapıda yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmelidir. Bununla birlikte, yapıda kullanılacak olan malzemeye yük uygulanıp sonra kaldırıldığında, yükleme durumunda gözlenen deformasyon ortadan kalkıyorsa bu tip malzemeler de kullanılabilir. Böyle bir özelliğe sahip malzemeler, genel olarak elastik yapıli malzeme olarak tanımlanırlar. Elastik malzemedede, 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 zamansa 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 yapmamasıdır. Ayrıca, yangın anında ani alev almamalı, ısı karşısında ani deformasyona uğramamalı, erimemeli ve bu esnada zehirli gaz çıkarmamalıdır.

Bütün bunları özet olarak toplamak gerekirse, yapıda kullanılacak olan malzeme genel olarak sağlam, mukavim, yoğunluğu düşük, yanmaya karşı direnç gösterebilen ve sağlık açısından bir sakınca teşkil etmeyen malzemedir.

Yapıda kullanılacak malzeme belirlendikten sonra, yapının şekli de kullanılacak olan malzemenin özelliklerine bağlı olarak tasarlanır. Örneğin, geniş açıklıklı kirişlerde kullanılacak olan 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 [7]. 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 kullanılabilceği 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 [7]. 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 diğeri 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 [8]. 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 sokulabilirdi. Ancak, böyle bir işlemi yapabilmek için yüksek ısıya, uygun kalıba ve doğal olarak yetişmiş kalifiye bir elemana ihtiyaç vardı.

Diğeri 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 [7]. Bessemer ve Siemens, eritilmiş demire yabancı maddeler olarak su, karbon ve demirin çekme mukavemetini arttıracak yönde çeşitli alaşımlar ekleyerek, çeliği keşfettiler. 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. Demir gibi kırılğan malzemeler, yerini yüksek çekme mukavemetine ve esnekliğine sahip, daha güvenli bir malzeme olan çeliğe bıraktı. 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 çağır 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 uğradı. Daha önce hayal bile edilemeyen, geniş açıklıklara sahip yapıları üretmek mümkün oldu. Bu başarıyı, günümüzde de çok büyük açıklıklı köprüler ve çatı makasları gibi yerlerde görmekteyiz.

Bunla 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 olduk. Buradan çıkarılacak sonuç, yapılarda da kullanılacak olan 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 kullanılabilen malzemelerin gereksinimlerini demir ve çelik karşılama için; bu malzemelerin üretimlerinin zor olması, malzemeyi ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Bunların yerine üretimleri daha kolay, 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 [9]. 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 [10]. 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, aluminat 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[7]. 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. Isaac Jhonson bu yeni

üretim yöntemini Portland şehri yakınlarında bulduğu için, bu yeni ürüne Portlant 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 (süper polimerler) özellikle 2. Dünya Savaşından sonra hızlı bir yükseliş içerisinde olmuştur [7].

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 [7].

Kompozit malzeme, birbirleri arasında ayırt edilebilir farklılıkları olan iki ya da daha fazla malzemenin birleşimi ile oluşan ve bileşenlerine hiç benzemeyen yepyeni bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [11].

Plastiğin yükselmesindeki önemli özellikler; kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımdır. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra, sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler, özellikle polimerik kompozitler yüksek mukavemet, termal kararlılık, sertlik ve aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajları vardır. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallere yarışmakla birlikte çok daha hafiftirler [12,13].

Kompozit malzemelerin tüm bu üstün özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe birincil (taşıyıcı) eleman olarak kullanılmasının yolları aranmıştır. Kompozitler arasından günümüzde en çok kullanılan CTP'nin taşıyıcı eleman olarak ilk kullanım şekillerinden biri, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi fazla yüke maruz kalmayan küçük iskelelerdir.



Şekil 2.1. CTP vapur iskelesi [14]

CTP'ler üzerinde yapılan çalışmaların (3. Bölüm Kompozitler'de ayrıntılı olarak değinilmiştir.) sonucunda malzeme daha iyi tanınmaya başlanmış ve Copenhagen'de bulunan Lindevang Metro İstasyonu, 60m uzunluğunda ve 7,5m genişliğinde, Şekil 2.2'deki gibi CTP malzemesi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.2. CTP metro istasyonu

Bunun bir aşama daha üstü olarak; asma köprüler yapılmaya başlanmıştır. Bu tip yapılara örnek olarak Şekil 2.3'te 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 500kg/m^2 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. CTP ile imal edilen böyle bir yapının diğer klasik malzemeler (çelik ve betonarme) ile maliyetinin kıyaslaması yapıldığında ise, Tablo 2.1'de Maliyet analizi tablosu ortaya çıkmaktadır. 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 [14].



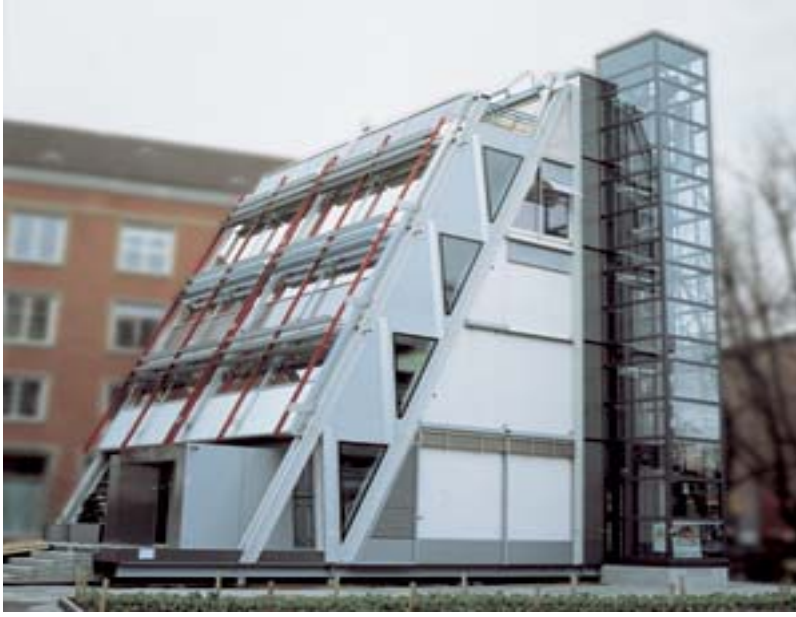
Şekil 2.3. CTP yaya ve hafif araç köprüsü

Tablo 2.1. Maliyet analizi tablosu

1000 US(\$)	CTP	Çelik	Betonarme
Mühendislik	60	30	20
Tesis	60	75	90
Malzeme	120	20	90
İmalat	60	90	-
Uygulama	30	60	90
Yüzey İşlemleri	10	30	15
Diğer	30	40	40
Toplam	370	345	347

Şekil 2.3'teki gibi bir yapının imalat hızının yüksekliği, yapının toplam ağırlığının 12ton gibi çok düşük olması ve maliyetinin klasik malzemeler (çelik ve betonarme) ile kıyaslandığında çok büyük bir fark olmaması; CTP malzemesi kullanımının önünü açmıştır.

CTP malzemesinin hafif, dayanıklı ve sağlamlık gibi özelliklerinin olması, konut tipi yapılarda kullanımı için çalışmalara temel teşkil etmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak Şekil 2.4'de görüldüğü gibi 5 katlı, 15m yüksekliğinde ve 10x12m taban alanına sahip gözlem evi, İsviçre'nin Basel şehrinde yapılmıştır.



Şekil 2.4. Basel gözlem evi

2001 yılında da Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından Home of The Future projesi kapsamında Pultrüzyon ile üretilmiş CTP malzemesini baz alarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Pultrüzyonla üretilmiş CTP kullanılarak yapılmış prototip yapı (MIT)

Elyaf olarak silan kaplı sürekli cam elyaf (E-camı), matris malzemesi olarak polyester kullanmak suretiyle tek doğrultuda bir kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin çekme dayanımlarının elyaf hacim oranı ve elyaf yönü ile değişimi incelenmiştir. Elyaf hacim oranı arttıkça çekme dayanımının da arttığı gözlenmiştir. Ayrıca elyaf hacim oranı arttıkça makro sertlik belli bir değere kadar artmaktadır. Elyaf hacim oranı sabit alınarak ($V_f=40\%$) yapılan deneylerde, en yüksek aşınma direncinin paralel konumunda, en düşük aşınma direncinin dik (D) konumunda olduğu anti paralel konumda ise, sürtünme katsayısının paralel konumda daha düşük olmasına karşılık, aşınma direncinin bu konumda daha düşük olduğu belirlenmiştir [15].

Yapısal uygulamalarda kullanılmakta olan inçe cidarlı kutu kesitli CTP kirişlerinin iki boyutlu gerilme ve tekrarlı yüklemeler altında davranışını incelemiştir. Yazarlar lif boyuna dik doğrultuda oluşan normal gerilme ve düzlem içi kayma gerilmesi şiddetlerinin küçük olmasına rağmen, tekrarlı yükler altında lif boyunca oluşan normal gerilmelere karşı kompozitin direncini önemli ölçüde azaltabileceğinin altını çizmektedir. Tekrarlı yükler altında malzeme dayanımını belirlemek amacı ile numuneler, dış yüzlere yerleştirilen 0° doğrultuda E tipi sürekli cam elyaf (700 gr/m^2) ve iç yüze $\mp 45^\circ$ doğrultuda E-tipi cam elyaf dokuma (450 gr/m^2 - 225 gr/m^2) içeren 4 katmanlı kompozit kuponlardır. Polyester bağlayıcı ile oluşturulan lamine kompozit numuneler 150° açı değişimleri ile $0-90^\circ$ arası doğrultuda kesilerek hazırlanmışlardır. Statik yükleme deneylerinde 1 mm/dak. hızında yükleme kontrolü kullanılarak basınç ve çekme kuvvetleri altında test uygulanmıştır. Yoğunluk mukavemeti deneylerinde de sabit genişlikte sinüzoidal dalga formunda yükleme kontrollü periyodik yüklemeler yapılmıştır. Deneyler numunelere 10^6 periyoduna veya kopmaya kadar tekrarlı yük etki ettirmek suretiyle ifa edilmiştir. Kompozitlerin düşük periyotlarda çekme mukavemetlerinin basınç mukavemetlerine oranla daha yüksek olduğu, fakat daha yüksek periyotlarla durumun tersine döndüğü rapor edilmektedir. Açısal değişiklik içeren numune davranışları incelendiğinde dayanım karakterlerinin eksen doğrultusundan saptıkça azaldığı ve anisotropik malzeme özellikleri gösterdikleri anlaşılmaktadır. Ayrıca aksiyel olmayan yükleme durumlarına göre oluşturulan eğriler CTP laminantlarının izotropik olmayan özelliklerini doğrulamaktadır. Deney bulgularına göre $\% 0,25$ ile $\%5$ gibi düşük lif

boyuna dik/paralel gerilme oranlarında paralel gerilmelerin tekrarlı yükler altında tekrar sayısının %35 oranında azalttığını deneysel bulguların statiksel değerlendirmesine bağlı olarak ispatlamaktadır [16].

Mevcut kullanım ömrü hesaplama yöntemlerinin sadece eğilme ve merkezkaç kuvvetlerine bağlı normal gerilmeleri hesaba kattığını, kayma ve enine normal gerilmeleri göz ardı ettiğini vurgulamaktadır. Kendi yaptıkları deneysel çalışmaların bulguları ışığında iki boyutlu gerilme halleri için tekrarlı yükleme sayısını tahmin eden modeli kullanarak CTP rüzgar değirmeni Türbin pervanelerinde enine doğrultuda 0,074 ve 0,06 oranında kayma ve normal gerilmelerin gelmesi halinde tekrarlı dayanım sayısının % 80 azalacağı hesaplanmaktadır. Ayrıca, deney sonuçları kullanılarak, kompozitlerin tekrarlı yükler altında dayanım sınırlarını tahmin etmeye yönelik FTFP (failure tensor polynomial in fatigue) teorisinin doğrulanma çalışması yapılmaktadır. 150 kupan numuneleri dışında, 30⁰, 60⁰ ve 75⁰ 'lik açılarda kesilmiş numunelerde teorisinin güvenli tarafta hesap yaptığı ifade edilmektedir [17].

Mühendislik uygulamalarında mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması sayesinde çeliğin yerini alan cam elyaf ve karbon takviyeli kompozit malzemelerin darbe yükleri karşısında dayanıksız ve statik yükleme hızlarında elde edilen mekanik özelliklerden farklı özellikler gösterebildiğini iddia etmektedir. Darbe yükleri altında malzeme davranışı Split Hopkinson bar test düzeneği ile araştırılmaktadır. Yöntemde darbe yükü ile iletilen şok dalgasının hızından numune yüzeyi arakesitinde yarattığı birim deformasyon hızlarında belirlenmektedir. Kullanılan numuneler Ampreg 20 epoksi bağlayıcılı E-cam elyaf takviyeli CTP ve UT-C300/500 karbon takviyeli kompozitlerdir. Her iki kompozitin normal deformasyon hızlarında davranışı doğrusal elastik özellikler göstermektedir. Enerji yutuculuğu yüksek deformasyon hızları da düşmekte, buna karşılık elastisite modülü ve nihai basınç dayanımında önemli artışlar kaydedilmektedir. Normal deformasyon hızlarında dayanım 495 ve 408MPa olarak belirlenirken, yüksek hızlarda bu değerler 528 ve 672MPa düzeyine yükselmektedir. Elastisite modülü için benzer değerler sırasıyla 4700 ve 6000MPa da 19400 ve 23000MPa ya yükselmektedir. Göçme modu deformasyon hızlarında

kayma dayanımıyla kontrol edilirken, yüksek hızlarda delaminasyon ya da fibre burkulmasıyla göçme oluşmaktadır [18].

CTP kompozitlerin, deneysel yöntemler ile elde edilen malzeme özelliklerini klasik laminasyon teorisi ile elde edilen malzeme özellikleri ile karşılaştırmaktır. Teorik yöntem güvenilirliği ASTM D3039 test standardı ile yapılmış bir dizi kupon testlerle karşılaştırılmıştır. Profil çekme yöntemi ile üretilmiş standart bir CTP kutu profilin mekanik özellikleri klasik laminasyon teorisi ile tahmin edilmiştir. Mikro mekanik formüller yardımı ile takviye ve bağlayıcı malzemelerin takviye oranları doğrultusunda, kompozite kazandırdığı mekanik özelliklerle değerlendirilmiş, makro mekanik formüller ile de bu bileşenlerin oluşturduğu kompozit formun mekanik özellikleri hesaplanmıştır. Teorik yöntem ile elde edilen elastisite modülü 26,7GPa bulunurken, testlerle elde edilen kompozitin elastisite modülü 27,4GPa olarak ölçülmüştür. Teorik olarak hesaplanan poisson oranlarının da (0,38), (0,29) test sonuçlarına göre çıkan değerler olmuştur [19].

Cam lif takviyeli silindirik tüp elemanların burkulma davranışını deneysel ve analitik olarak incelemektedir. Kompozitin yüksek mukavemet-kütle oranı yazarlar tarafından en önemli kullanım gerekçesi olarak gösterilmekte ancak ince cidarlı yapısı gereği burkulma davranışının titizlikle incelenmesi gerektiği rapor edilmektedir. Yazarlar E tipi cam lifi ve isophtalik polyester ile $0-0^0$, $0-90^0$ ve $\mp 45^0$ doğrultusunda dokunmuş 60cm boyunda silindirik elemanlar araştırılmaktadır. Bu tür elemanların üretiminde dokumanın bindirme noktasında ve bağlayıcının kusması sonucunda kalınlık değişimleri gözlenmekte, böylece yükleme öncesi boyuna ve kesitsel geometrik eksentriste bulunabilmektedir. Geometrik üretim kusurlarının özellikle ince cidarlı tüplerde burkulma davranışını önemli ölçüde değiştirdiği vurgulanmaktadır. Lazer tarama yöntemi ile numunelerin yüzey düzensizliği %15 oranında bir değişim olduğu vurgulanmaktadır. Sonlu elemanlar analizi ile ölçülen düzensizliğin yüzey elemanlarının düğüm noktalarında Fourier yüzey fonksiyonu ile tanımlamak ve akabinde doğrusal olmayan geometrik analiz ve doğrusal eigenvalue burkulma analizleri tatbik edilerek kullanılmıştır. Burkulma modları incelendiğinde malzeme kalınlığının azaldığı bölgelerde sinüs dalgası verdiği hem deneysel çalışma sonrası ölçümlerden hem de eleman analizlerinden

belirlenmiştir. Yük-deformasyon eğrileri ve rijitlikler incelendiğinde deneysel ve analitik çalışma bulguları uyumlu bulunmaktadır. Ancak nihai basınç mukavemetleri analitik çalışmalardan bulunan değerlerin yarısı olarak bulunmakta ve bu durum doğrusal elastik kabul edilen malzeme özelliklerinin gerçekte lamine teorisi ELT (elastical laminate theory) uymamasına bağlanmaktadır. Yazarlar sonlu elemanlar modellemesinin hem doğrusal olmayan geometrik hem de doğrusal olmayan malzeme algoritması kullanılarak yapılmasının uygun olacağını ve geometrik yüzey düzensizliğinin mutlaka hassas olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır [20].

Malzeme üzerinde yapılan bu çalışmalar temel alınarak 6. Bölümünde, hem çelik bir model sera tasarlandı ve aynı seranın taşıyıcı elemanları pultrüzyonla üretilmiş CTP olarak değiştirildi ve iki sera arasındaki farklar tespit edildi; bir sonraki aşama olarak da, çelik ve CTP model seranın maliyet analizleri karşılaştırıldı.

BÖLÜM 3. KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemede 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 [21].

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 [22]. 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 elyafı ile 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 [23].

Günümüzde oldukça gelişmiş olan kompozit malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Örneğin, çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç, bir kompozit maddedir. Ok yayı yapılırken üst üste konulan, özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhalar kompozit bir malzeme oluştururlar. Ayrıca ahşap, kemik gibi malzemeler, tabiatta bulunan doğal kompozitlerdir.

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, 1000⁰C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alışımlı 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 [23].

Bir Malzemenin Kompozit Malzeme Olabilmesi İçin;

1. İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
2. Kimyasal bileşenleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzleri ayrılmaz en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
3. Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
4. Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısı ile bu amaçla üretilmiş olması [24].

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

Bir kompozit malzeme, birbirleri arasında ayırt edilebilir farklılıkları olan iki yada daha çok değişik malzemenin birleşimi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, kompozitler genellikle mekanik özellikleri için kullanıldığından, bu tanım bağlayıcı bir madde ile desteklenen, ‘takviye’ (lif veya parçacık gibi) ihtiva eden malzemeleri de içermektedir [25]. Kompozitlerin, sürekli bağlayıcı kısımlarından daha sert, mukavim ve süreksiz olan parçacık kısımları vardır. Takviye malzemesini bir arada tutan ve homojen bir hacim oluşturan, bağlayıcı bir maddeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kompozitler takviye edilme şekillerine ve matriks elemanlarına göre 3 gruba ayrılır.

1. Takviye edilme şekillerine göre,
 - a) Parçacık takviyeli kompozitler,
 - b) Lamine (levha) kompozitler,
 - c) Elyaf (lif) takviyeli kompozitler.
2. Matriks elemanlarına göre,
 - a) Metal matriksli kompozitler,

- b) Seramik matrisli kompozitler,
- c) Polimer matrisli kompozitler.

3.1. Takviye Edilme Şekillerine Göre Kompozitler

3.1.1.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 gerekmeleri karşılayabilmeleri nedeniyle, iki boyutlu gerilme hallerinde ideal malzeme olarak görülmektedirler. Polimerler gibi, bünyesinde takviye amacı dışında parçacık bulunduran malzemeler de mevcuttur. Bular 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.

3.1.2. 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 iç yapıları oluşturmaktadırlar.

3.1.3. Elyaf takviyeli kompozitler

Liflerde 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 kullanımın 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 bağlayıcı malzemelerin donatılmaması 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 genişmesi değerlerinin kompozitin yapısını bozacak düzeyde farklılık taşımamamsıda 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 gelişigüzel dağılılı 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” (CTP) adıyla yaygınlaşmıştır. Göreceli olarak daha ucuz olan cam elyaf takviyeli plastikler, genellikle otomotiv endüstrisi, elektrik- elektronik endüstrisi, kimya endüstrisi, gemi inşa endüstrisinde ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde ise hafifliğin ve yüksek mekanik dayanımın belirleyici olması nedeniyle, pahalı takviye elyafları kullanılmaktadır. CTP İnşaat sektöründen ve çeşitli sektörlerde; mukavemet/ağırlık oranı avantajı ve sertlik, sınırsız kalıplama boyutları, kolay üretim, çok sayıda üretim tekniği, küçük sermaye yatırımı, tasarım esnekliği, diğer malzemelerle bağdaşma

olanağı, mükemmel su dayanımı, çok sayıda kimyasal maddeye dayanım, hava koşullarına dayanım, UV ışınlarına dayanım, kendinden renklendirme olanağı, istendiğinde yanmazlık, isteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretebilme olanağı, çok iyi elektrik ve termal özellik, farklı mekanik özellikleri elde etmek için farklı katmanlarda ve farklı kombinasyonlarda malzeme üretilir bilinir olma imkanı sunması, hacimsel fazda CTP üretimi için metallere daha az enerjiye ihtiyaç duyulur olması, istenilen mukavemette ve özellikte üretebilme kolaylığı gibi avantajları sayesinde çok sayıda kullanım alanları bulmuştur. CTP'lerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada Model serada kullanacağımız CTP kutu profil malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini içeren deneysel ve nümerik çalışmalar Bölüm 4'de sunulmuştur.

3.2. Matris Elemanlarına Göre Kompozitler

Matriksler güçlü yapıştırma, çevre ve atmosfer şartlarına karşı yüksek dayanım ile yüksek mekanik özellikler gösterirler. Bir matriksin sağladığı mekanik özellikler, yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılıktır. Yapıda kullanılacak olan malzemeler de sert olmalıdır. Fakat; gevrek malzemelerin gösterdiği davranışlardan dolayı performansları düşmemelidir. Bu yüzden, matrikslerin temel olarak üç görevi vardır;

1. Takviye elemanlarını birbirine bağlamak,
2. Takviye elemanları arasında yük transferini sağlamak,
3. Takviye elemanlarının atmosferin zararlı etkilerinden (ultraviyole, ısı, v.b.) ve mekanik (çarpma gibi) hasarlardan korumaktır.

Kompozit malzemelerde kullanılan reçineler temel olarak metal, seramik ve polimer (plastik) esaslı olmak üzere üç gruba ayrılır.

3.2.1. Metal matrisli kompozitler

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 [26].

3.2.2. Seramik matriksli kompozit

Seramik matriks malzemelerinin (Al_2S_3 , Ni_3N_4 , SiC gibi), seramik veya metal parça, plaka, kristal veya elyaf olarak takviyesiyle oluşturulan, üstün ısıl dayanım ve mukavemete sahip malzemeler grubudur. SMK malzemeler genellikle, nükleer uygulamalarda, gaz türbinlerinde ve uzay-havacılık sektöründe kullanılmaktadır [26].

3.2.3. Polimer matriksli kompozitler

Bu bölüm, kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ve özellikle en çok tercih edilen polimer matriksler hakkında bilgileri kapsamaktadır.

Polimerler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen, zincirler şeklinde bir yapıya sahip olan sentetik malzemelerdir [10]. Doğada var olan bu malzemelerin başlıcaları; kömür, ham petrol, su, hava ve kireçtir. Yapay olarak da elde edilebilen organik polimerik malzemeler ise plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Polimerler; yapay polimerler ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır.

1. Yapay Polimerler (plastikler)
2. Doğal Polimerler (selüloz, doğal kauçuk vb.)

Plastiklerin (yapay polimerler) yapısı amorf haldedir. Bu yüzden, uzun ve karışık zincirlerin birbirleri ile uyum sağlayıp düzenli bir yapı oluşturmaları oldukça zordur. Bir lineer polimer yapısı pişmiş makarnayı andırır ve polimer zincirleri birbirlerine dolanmış halde bulunur. Amorf, ana yapı içerisinde bulunan küçük yapıli bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rasgele yönlenirler. Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Kompozitlerde, matriks

malzemesi olarak genellikle plastikler kullanılır. Plastikler de kendi içinde iki gruba ayrılırlar.

1. “Termo” plastikler
2. “Termoset” plastikler

3.2.3.1. Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı termoplastikler, rijit bir yapıya sahip değildir. Isı ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirdiğinde yapısal değişikliğe uğramayan plastiklerdir [11]. Bu tip plastikler, yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar, eriyik haline gelirler ve tekrar soğutulduklarında sertleşirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda vizkozitesi yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır [10]. Düşük sıcaklıklarda bile kolay şekil verilmesi, malzemeye ekonomik değer katar. Termoplastikler çeşitli sıcaklıkta ve hallerde bulunur. Bunlar;

- a) Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
- b) Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.
- c) Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir.

Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir. Bu grupta, akrilikler, selülozikler, naylonlar, polistirenler, polietilenler, karbonflorürler ve viniller vardır. Başlıca termoplastikler; asetal (POM), arkilik (PMMA), akronitril-butadiene-streyn (ABS), politetra flourethylene (PTFE), poliamids (PA), polyesterler (PET), poletilen (PE), polipropilene (PP), polivinil klorür (PVC) dir.

Termoplastikler, üretimlerindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matriks olarak tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlar, buda onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla, hammaddesi daha pahalıdır [27]. Diğer bir sebep ise, termoplastik bağlayıcı malzemelerin,

termoset reçinelerden daha gevrek olmasıdır. Fakat termoplastikler, ısı ve neme karşı dayanımları yüksektir. Ayrıca, yüksek süneklik özelliği sayesinde, ortalama elastik modülü, yüksek mukavemetli liflerin, kompozitin içinde tüm mukavemet potansiyellerini kullanmalarını sağlayabilen nadir bağlayıcılardır. Bu malzemeler, polietereterketon (PEEK), polyphylene sulfide (PPS), polyetherimide (PEI) reçineleri içermektedir. Orijinal olarak termoplastik gibi şekillendirilen, fakat sonradan kısmi termoset karakter elde edebilen, tekrar küre tabi tutulan polyamideimide (PAI) gibi bağlayıcıları da kapsayabilmektedir [11].

Amorf yapılu reçinelerden ilk olarak polietersulfon (PES) ve PEI matriks olarak kullanılmaktaydı. Sonraki dönemde ise havacılık sektöründeki uygulamalarda, çözücülere karşı dayanım önemli bir kriter olarak ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçtan dolayı, PEEK ve PPS gibi yarı-kristal yapılu plastik malzemeler geliştirilmiştir. Ayrıca sınırlı oranlarda PAI ve Poliimid gibi plastikler de kullanılmaktadır. Bu polimerler diğer termoplastiklerden farklı olarak polimerizasyonlarını kür aşamasında tamamlarlar. En yoğun çalışmalar ise PA, PBT(Polybütilen)/PET ve PP gibi düşük sıcaklıklarda kullanılan polimerler üzerine yapılmıştır. Tüm bu polimerlerin haricinde ABS, SAN, SMA (StirenMaleikAnhidrit), PSU (Polisülfon), PPE (Poifenilen Eter) matriks olarak kullanılır [27].

Termoplastik reçineler, malzemenin çekme ve eğilme dayanımını arttırması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler, uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde de kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastikler, GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics/Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak da üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler, soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüme uygun olduğundan dolayı, özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir. Bunların dışında plastik çanta, plastik boru mas gibi çeşitli malzemeler de üretilmektedir.

3.2.3.2. Termoset plastikler

Termosetler, ısı işlem yardımıyla üretilen ve geri dönüşümü olmayan plastiklerdir.

Yani, bir kez ısı ile şekil verildikten sonra, yapısal değişikliğe uğrayan ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ayrıca, erime özelliğinin olmaması termoplastikler gibi akıcılık kazanmasını önler. Buna karşın, yangında kömürleşerek doğal bir ısı yalıtım tabakası oluştururlar.

Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler [10]. Bu yüzden tekrar ısıl işlem ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler; epoksiler, polyesterler ve fenoliklerdir. Ayrıca bunların dışında, silikon, polimide, bismaleimide ve aminolar kullanılmaktadır.

Epoksi reçineler; yüksek mukavemetli CTP kompozitlerinde sıkça kullanılan bir matrikstir. 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 bağını arttırmak için ısıl işlem uygulanır. Isıl-işlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasallara karşı dirençleri iyidir. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, yapıştırıcılar ve CTP'lerde matriks malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeni ile çeşitli elektronik uygulamalarda, örneğin transistor ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

Polyester; 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 savaşındadır. 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 en yaygın olarak kullanılan (kullanılan reçinelerin yaklaşık %75’ni temsil ederler ve

1997-2004 yılları arasında kullanılan polyester reçine miktarı Tablo 3.1’de gösterilmiştir 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 [28].

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 [11].

Tablo 3.1. 2004-1997 yılları arasındaki polyeşter reçine kullanımı (1000 ton) [29]

Polyeşter Reçine	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997
Toplam	836,66	754,02	744,94	719,54	811,32	778,72	736,73	701,37
Takviyeli Plastikler	583,53	524,48	525,69	506,70	588,47	561,40	535,78	506,33
Deniz	142,41	122,98	115,41	92,72	146,87	136,67	123,70	118,92
Ulařım	72,38	66,30	70,05	71,75	89,63	75,29	70,70	71,00
İnşaat	301,11	269,81	275,29	257,62	281,81	274,87	267,53	250,63
Elektrik	27,76	24,91	25,37	26,32	25,57	28,05	26,99	26,68
Tüketici Ürünleri	33,12	34,54	33,62	35,53	38,55	38,31	33,96	28,09
Diğer	6,75	5,93	5,94	6,44	6,05	6,22	8,35	11,02
Takviyesiz Plastikler	253,13	229,54	219,25	212,84	222,85	217,32	201,05	195,04
Ulařım	31,33	27,14	22,79	21,04	-----	-----	-----	19,41
İnşaat	152,24	13670	134,77	126,78	132,56	129,47	119,22	113,33
Tüketici Ürünleri	16,32	16,17	18,23	18,37	21,11	18,90	17,88	18,09
Jel-Kot, Astar, Yüzey Reçinesi	49,01	45,35	39,17	40,77	44,87	43,49	37,91	37,73
Diğer	4,22	4,18	4,29	6,02	24,31	25,46	25,90	6,48

Fonelik; ticari ismi bakalit olan fonelikler 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. Fonelikler toplam reçine kullanımının %10'unu kapsar. Bu reçineler genellikle ahşap yapıştırıcısı, baskı devre plakaları ve fren balatası yapımında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

Epoksi, polyeşter ve fonelik termoset reçinelere ait yoğunluk, elastik modül gibi genel özellikleri ile Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. En çok kullanılan termoset matrislerin mekanik ve fiziksel özellikleri [10]

Malzeme Cinsi	Epoksi	Polyester	Fonelik
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Elastik Modül (kN/cm^2)	700	340	480
Çekme Dayanımı (kN/cm^2)	7	4,1-9	3,4-6,2
Kopma Uzaması (%)	3-6	42	1,5-2,0
Isıl İletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl Genleşme Katsayısı ($1/^\circ\text{C}$)	45-65	55-100	68

Silikonlar, inorganik ve yarı-inorganik polimerlerin molekül yapılarında tekrarlanan siloxane bağının farklı şekillerde bağlanması ile üretilen bağlayıcı, elastomer ve termosetting gibi 3 çeşitte bulunurlar. Termoset silikonlar çapraz bağlara sahiptirler. Bu tip reçineler boyama, parlatma ve kaplama işlerinde kullanılırlar.

Polymide; diğer reçinelerin aksine, polymide 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, polymide reçinelerin, 260°C 'lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polymide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur [11].

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

Amino reçineler; çok katı ve parçacıklı yapıya sahip plakalarda yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fakat fiyat olarak fenoliklerden pahalıdır.

3.3. Takviye Elamanlarına Göre Kompozitler

Kompozit malzemelerde takviye elamanı olarak elyaflar veya parçacıklar kullanılmakta olup, bunlar yüksek özgül dayanımları nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedirler. Birkaç yıl öncesine kadar elyaf terimi tekstil malzemelerle sınırlandırılmıştı. Bugün özellikle mühendislik kullanımı için çok değişik elyaflar bulunmaktadır. Organik, sentetik elyaflardan çok farklı türde olan bu 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 olarak pahalıdır.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

1. Cam elyafı,
2. Karbon (Graphite) elyafı, (PAN -polyacrylonitrile- ve zift kökenli)
3. Aramid (Aromatic Polyamid) elyafı, (Ticari ismi; Kevlar-DuPont)
4. Bor elyafı,
5. Oksit elyafı,
6. Yüksek yoğunluklu polietilen elyafı,
7. Poliamid elyafı,
8. Polyester elyafı,
9. Doğal organik elyaflar

Bu elyaflar arasından en yaygın olarak cam, karbon ve aramid elyafları kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilebilmektedir.

3.3.1. Cam elyaf

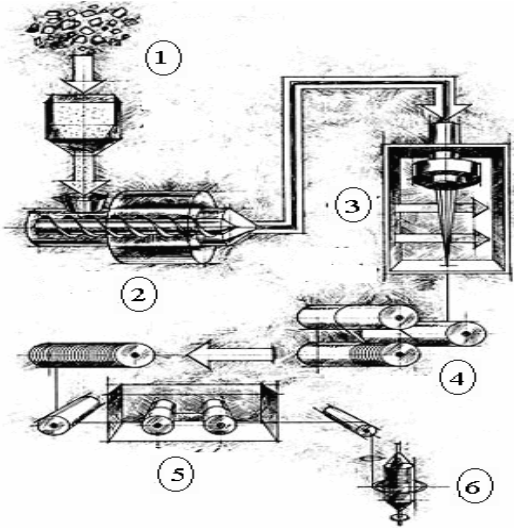
Tarihte, cam elyafının ilk kez Fenikeli ve Mısırlı sanatçılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. O zamanlarda lifler, cam çubuklarının ısıtılması sonucunda, yumuşatılarak akıtılması şeklinde elde ediliyordu. Kullanım yeri, yine takviye

amacına yönelikti ve çanak, çömlek, amfora gibi ürünlerin sağlamlaştırılmasını sağlıyordu. Bugün bildiğimiz devamlı cam elyafı 1930'lu yılların sonlarına doğru geliştirilmiştir [28]. 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 olan (Şekil 3.1) ocakta, elektrik enerjisi ile $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyet ile 1250°C de ısıtılır ve üzerinde 1-2mm çapında çok sayıda delik bulunan kovan denilen eleklerden geçirilir [28]. Elyafın üretim esnasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir.

Cam elyafı ile matriksin 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 üretilmektedir;

1. A Cam - Pencerelerde 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 fazlalaşır; dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir.



Şekil 3.1. Elyaf üretim prosesi ve kovan resmi [30]

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, Şekil 3.1’de görünen kovanın altında bulunan üretim prosesindeki 4. bölüm olan sarma aparatları yardımıyla, “kek” adı verilen silindir üzerine 50-70m/s gibi yüksek bir hızla, cam lifi demetleri olarak sarılır. Sarım hızına bağlı olarak, 6-20 μ çapında değişen cam elyafı elde edilir [11].

Elyaf takviyeli organik bağlayıcılı 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, Tablo 3.3'te de görüldüğü gibi 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.

Tablo 3.3. Başlıca cam tipleri ve özellikleri [11, 28]

Cam Tipi	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı

Takviye için kullanılan cam elyafları, biçimlerine temel olarak iki sınıfa ayrılırlar.

Bunlar:

1. Devamlı Cam Elyafı Takviye
 - a. Fitol
 - b. İplik
 - c. Kumaş
2. Kesikli Cam Elyafı Takviye

3.3.1.1. Fitol

Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile üretilir [10]. Fitol

ürünleri 10-24mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000m uzunluğunda ve 600gr, 1200gr, 2400gr ve 4800gr 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 pultruzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanal mukavemeti arttırmaktır.

Genellikle “R” camı elyafından yapılmış fitillere en yaygın olarak epoksi reçine emdirilerek yapılan “Stratipreg veya Prepreg” ismi verilen bir diğer cam elyafı takviye malzemesi de elyaf sarma metodu ile yüksek mekanik dayanım aranan depo ve borularda otoklavda kalıplanmak üzere kullanılmaktadır[10].

3.3.1.2. İplik

İplik; cam elyaf liflerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen lif çeşididir. Şekil 3.2’de fitil ile ipliğin farkı görülmektedir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.



a) Fitil



b) İplik

Şekil 3.2. Elyaf çeşitleri [28]

3.3.1.3. 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 Fitiller (Woven Roving) dir. 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 ($300-1200\text{gr/m}^2$) ve enlerde (125-300cm) üretilen kumaşlar, cam tülü veya keçe ile dikilerek kombine ürün haline getirilerek de kullanılmaktadır.

Şekil 3.3a'da gösterilmiş olan Dokunmuş Fitiller; otomotiv, denizcilik gibi sektörlerde el yatırması uygulamalarında, Şekil 3.3b'deki Dokunmuş Cam Kumaş (Woven Glass Cloth), cam elyafı ipliklerinin 90°C'lik atkı ve çözgü yöntemi kullanılarak üretilmiş olup, genel olarak baskılı devre, devre kesici tüpler gibi malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, Dikilmiş Kumaşlar (Stitch Mat), diğer kumaş türlerine göre pazara yeni katılmış bir takviye türü olup, malzeme örneği Şekil 3.3c'de gösterilmiştir. Dokuma prosesi söz konusu olmadığından yüzey performansı yüksektir. Aynı ağırlıktaki bir dokuma ile karşılaştırıldığında daha iyi mekanik değerler elde edilmektedir.



a) Dokunmuş Fitiller



b) Dokunmuş Cam Kumaş



c) Dikilmiş Kumaşlar

Şekil 3.3. Kumaş çeşitleri [28]

Çok yönlü mukavemet sağlaması amacıyla, dokunmamış fitiller ile devamlı fitillerin iki (Biaxial) veya üç katlı (Triaxial) oluşturulması ve sonrasında bu katların polyester iplik ile dikilmesi sonucu elde edilen Çok Yönlü Fitol Kumaşlar (Non-Woven) bir diğer kumaş türüdür. Ayrıca bu kumaşlar, 45 veya 90 derecelik açılarının bir arada kullanılmasının yanı sıra keçe ile dikilebilir.

Diğer taraftan, cam liflerinin Şekil 3.4a’da görüldüğü gibi düzgün dağılımlı tabakalar oluşturacak şekilde yayılmasından oluşan Devamlı Keçe (Continious Mat) 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 (preform) veya şekillendirilmeden maçalı olarak kapalı kalıplamada, pultruzyonda, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretiminde kullanılabilir.

Bir başka cam elyafı takviye çeşidi olan Kırpılmış Keçe (Chopped Strand Mat), 50mm uzunluğunda kırpılmış cam elyafı demetlerinin, bağlayıcı ile bir arada tutulmasıyla oluşur (Şekil 3.4b). 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 3.4. Keçe (Mat) çeşitleri

3.3.1.4. Kesikli cam elyafı

Kesikli cam elyafı takviyeleri Şekil 3.5’te de gösterildiği gibi, boylarına göre iki çeşittir. Bunlardan ilki, 3-12mm uzunluğundadır ve kırpılmış elyaf olarak adlandırılır [28].

İkincisi ise, öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları 0,1-0,2mm’ye düşürülmüş olan cam elyafı takviye malzemesidir. Bu liflerin çapları 10-17mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı, termoplastik ve poliüretan reçinelerin

takviyeleridir.



a) Kırılmış Elyaf



b) Öğütülmüş Elyaf

Şekil 3.5. 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 7000-8000kN/cm² değerinden daha yüksek elastik modül değerlerine ihtiyaç duyulur. Bu yüksek modül değerlerini karşılayabilmek üzere, daha yeni ve yüksek teknolojik ürünler geliştirilmektedir.

3.3.2. Aramid elyafı

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 345kN/cm² mukavemet ve 13200kN/cm² elastik modülüne kadar ulaşabilmektedir. Aramid elyafı, sahip olduğu mekanik özelliklerinden dolayı, yüksek dayanım istenen kompozitlerin yapımında kullanılır ve en çok bilineni Kevlar 49'dur [11].

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

kullanılabilmektedir. 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/performans değerlerini sağlamak üzere tasarlanmış olan aramid, cam ve karbon elyafının kombinasyonu şeklinde hibrid ürünler halinde de üretilmektedir [28].

3.3.3. Boron elyafı

Boron elyafı; bor mineralinin kimyasal buharının çok ince bir tungsten teli üzerinde yoğunlaştırılması ile üretilmektedir. Çok sağlam ve dayanıklı bir takviye malzemesi olup, yüksek yoğunluğu ve yüksek maliyeti kullanımını sınırlandırmaktadır. Piyasada yalnızca şerit halinde bulunmaktadır. Çok sağlam ve dayanıklı olmalarından dolayı F-15 ve F-14 savaş uçaklarında halen kullanılmaktadır.

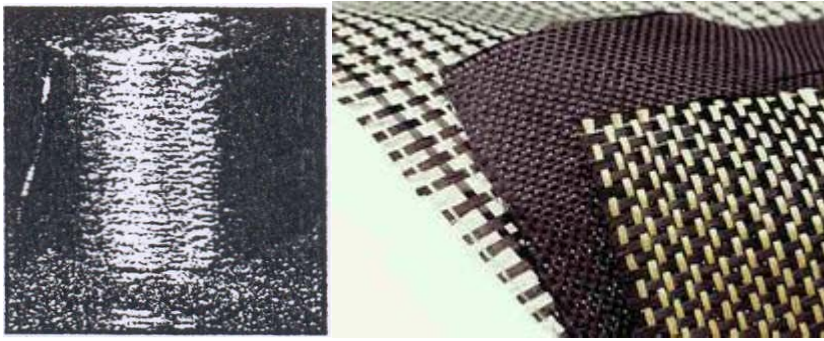
3.3.4. Karbon / grafit elyafı

Yüksek teknoloji ürünü olarak kompozit pazarının geniş bir kısmı, karbon veya grafit elyaf ürünlerinden yararlanmaktadır. İlk ticari amaçlı karbon elyafı, piroliz (yanma) ve ısıl işleme tabi tutulan sentetik liflerin karbon ve grafit elyafına dönüştürülmesi suretiyle üretilmiştir. Sentetik esaslı elyafların çoğunluğu, polikronitril (PAN) kullanılarak elde edilmektedir. Bu liflerin elastik modülleri ve dayanımları, proses sırasındaki gerilim ve sıcaklık koşullarının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulmaktadır.

Diğer karbon/grafit elyafı üretim prosesinde öncelikli olarak zift kullanımını esas almaktadır. Çünkü zift esaslı ürünler çok yüksek elastik modüllere sahip olup, kopmada uzaması düşüktür. Zift, sıvı kristal “mesophase” haline dönüştürülerek piroliz işlemine tabi tutulur ve ısı uygulanarak elyafa dönüştürülür. Bu sayede, yüksek elastik modüllü ve yüksek mukavemet değerlerine sahip ürün elde edilir.

Karbon elyafının diğer takviye liflerine göre daha farklı avantajları da vardır. Nispeten düşük elyaf yoğunluğu, yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini bir araya getirerek üstün bir kombinasyon özelliği sunmaktadır. Aynı

zamanda yüksek ısılarda özelliğini koruma ve yorulmaya karşı yüksek direnç gösterirler. Fakat bütün bunlarla birlikte karbon elyafının kendi yapısal özelliklerinden kaynaklanan bazı olumsuz yanları da mevcuttur. Liflerin sınırlı uzama özelliğinden dolayı, çarpma ve darbe kuvvetiyle karşılaştığında sorunlara neden olmaktadır. Bu açığı kapatmak amacıyla daha yüksek uzama özelliğine sahip elyaf ürünleri geliştirilmektedir. Karbon elyafının elektrik iletkenliği de bazı kullanım alanlarında sorun olabilmektedir. Karbon elyafı Şekil 3.6'da da görüldüğü gibi demet, şerit veya kumaş halinde üretilmektedir. Daha çok termoplastik ve termoset hazır kalıplama bileşimlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmak üzere, kırılmış veya öğütülmüş şekilde bulunmaktadır. Grafit halinde, çok yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bakıra göre dörtte bir ağırlıkta olan Grafit/Karbon elyafının termal iletkenliği bakırın 3-4 katıdır. Bu özellik yeni uygulama alanlarını da beraberinde getirmektedir [10].



Şekil 3.6. Karbon elyafı

3.3.5. Diğer organik lifler

Termoplastik polyesterler, naylon lifler, polietilen ve silikon karbid organik lifler olup, takviye malzemesi olarak kullanıldıkları ürünlere hem darbelere hem de kimyasallara karşı yüksek dayanım sağladığı için kompozit pazarında yeni ve çeşitli kullanım alanları bulmaktadırlar. Ancak diğer elyaf çeşitleriyle karşılaştırıldığında, hem daha düşük sertlik hem de daha düşük ısı kullanımı gibi dezavantajları vardır. Bütün bunlara karşın organik lifler, yüzey keçeleri veya tülleri üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu özel ürünler kimyasal dayanım ve dış yüzey görünümünün önem kazandığı uygulamalarda tercih edilirler. Cam tülünün kılcal yapısı nedeniyle

oluşan reçinece zengin yüzey, yüksek kimyasal dayanım ve daha iyi bir dış görünüm sağlamaktadır. Bahsedilen elyaf türlerinin özellikleri Tablo 3.4'te özetlenmiştir.

Tablo 3.4. Tipik elyafların mekanik özellikleri [11,28]

Elyaf Çeşidi	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Özelliği
Karbon HS	3500	160-270	1,8	Yüksek modül, Elektriksel iletkenlik, Yüksek maliyet
Karbon IM	5300	270-325	1,8	
Karbon HM	3500	325-440	1,8	
Karbon IHM	2000	440	2,0	
Aramid LM	3600	60	1,45	İyi spesifik özellikler, Orta maliyet
Aramid HM	3100	120	1,45	
Aramid UHM	3400	180	1,47	
Boron	3600	400	2,49	Yüksek modül, Yüksek maliyet
Silikon Karbid	3900	400	3,0	Yüksek çekme mukavemeti ve yüksek yoğunluk
Polyester	1000	9	1,38	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Naylon	950	5	1,16	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Polietilen	1200-1500	40-60	0,97	Düşük yoğunluk, İyi darbe dayanımı, Düşük derece
E Cam	2400	69	2,5	Yüksek mukavemet, İyi kalıplama özellikleri, Düşük maliyet
S Cam	3450	86	2,5	
Kuartz Cam	3700	69	2,2	

3.5. CTP üretim yöntemleri

CTP üretilmesinde kullanılan metotlar, işçilik maliyetleri, üretim prosesine gerekli ekipman yatırımı ve işçilik kalitesini gözetererek ve amaca göre kararlaştırılmaktadır. Kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem tanıtılmaktadır. Bu yöntemler şunlardır;

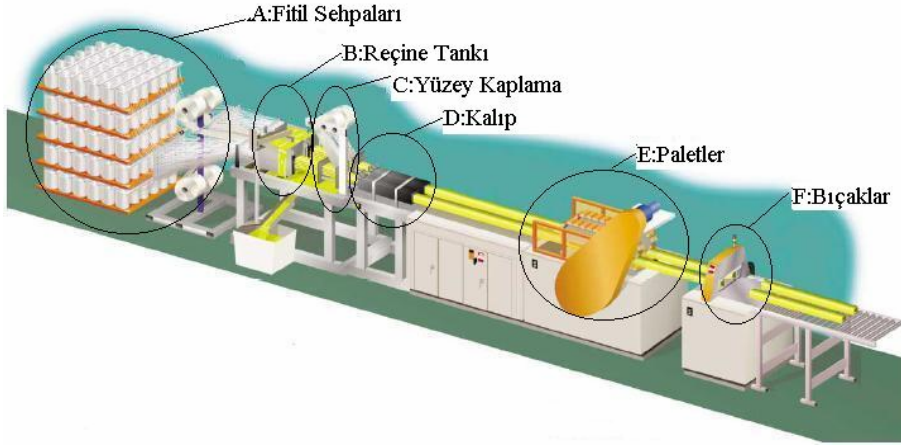
1. El Yatırma (Hand Lay-Up)
2. Püskürtme (Sprey Up)
3. Reçine Transfer Kalıplama (RTM) – Reçine Enjeksiyonu
4. Hazır Kalıplama (Compressing Molding) (SMC, BMC)
5. Islak Sistem Pres Kalıplama
6. Vakum Bonding (Vakum Bagging)
7. Otoklav (Autoclave Bagging)
8. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (Glass Mat Reinforced Plastic) (GTM)
9. Elyaf Sarma (Filament Winding)
10. Profil Çekme – Pultruzyon (Pultrusion)

İlk 9 maddede belirtilen kompozit üretim yöntemleriyle değişik elyaf cinsleri kullanarak çeşitli otomobil parçaları, uçak aksamaları ve inşaat sektöründe yardımcı veya dekoratif amaçlı elemanlar yapılabilmektedir. Fakat bu yöntemler ile üretilen kompozitlerin inşaat sektöründe birincil eleman (taşıyıcı) olarak kullanılması mümkün olmamaktadır. Çünkü bu yöntemlerle üretilen malzemeler, yapıda taşıyıcı olarak kullanılan elemanların karşılaması gereken çekme, basınç veya kesme kuvvetlerine karşı mukavemet gösterememektedirler. Bu sorunu çözebilmek için yeni bir kompozit üretim yöntemi geliştirilmiştir. En son geliştirilen ve profil tipindeki malzemeler için ekonomik olan bu yöntem Profil Çekme (Pultruzyon) Yöntemidir. Bu nedenle kompozit üretim yöntemlerinden Profil Çekme (Pultruzyon) yöntemi incelenecektir.

3.5.1. Profil Çekme / Pultruzyon (Pultrusion) Metodu

1940'ların sonundan itibaren "Pultruzyon" başlıca iki tür ürün elde etmek üzere kullanılmıştır. Bunlar; rijit çubuk, lamalar ve boru, kiriş gibi endüstriyel profil şekilleridir.

Pultruzyon makinesinin taslağı Şekil 3.7’de ve örnek makine Şekil 3.8’te gösterilmiştir. Pultruzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi dışında, alüminyum ve termoplastikler için kullanılmakta olan ekstrüzyon prosesine benzemektedir. Ayrıca üretim sisteminin tamamı sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.7. Profil çekme makinesinin genel gösterimi [31]



Şekil 3.8. Profil çekme makinesi [32]

Pultruzyon 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 3.9’da da 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.

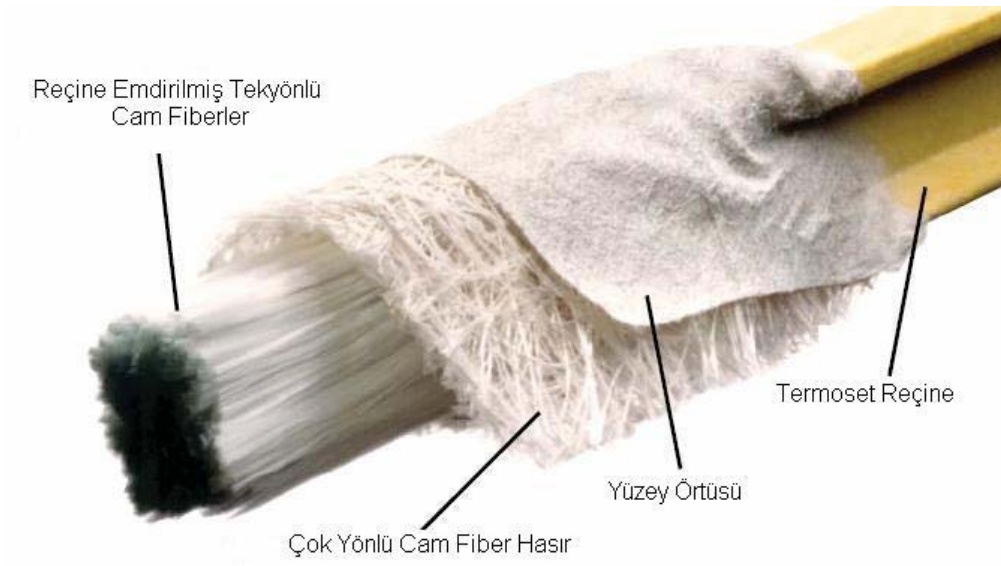


Şekil 3.9. Fitol sehpaları (Elyaf bobinleri) [31]

Makine üzerindeki ilk bölüm, Reçine Tankıdır. Burası, matriks (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 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Örnek profil detayı

Pultrüzyon 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 3.11’de de görüldüğü gibi bir Kontrol Ünitesi yardımı ile yapılır.



Şekil 3.11. Kontrol ünitesi

Pultrüzyon 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.

Pultrüzyon metodunda kullanılan kalıplar, yüksek karbonlu çelikten üretilmeli ve yaklaşık 25 mikron kalınlığında krom ile kaplanmalıdır. Kalıbın giriş radyusu (köşe açısı), malzeme cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu açı, 6-6,5mm ile 20mm'ye kadar değişiklik gösterebilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Örnek kalıp şekli [31]

Ayrıca, kalıbın boyu birçok faktöre bağlı olmakla beraber, en önemli faktör kesit alanındaki cidar kalınlığıdır. Kalıp uzunluğu genellikle 90-110cm arasında değişmektedir. Fakat kalıp boyu, küçük çaplı çubuk gibi basit profiller için 60cm; hassas boyutlu karmaşık şekiller için 150cm 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 pultrüzyon, otomatik bir proses olarak tanımlanır.(Şekil 3.13)



Şekil 3.13. Paletler [31]

Bıçaklar Şekil 3.14’de gösterildiği gibi makinenin en sonunda yer alan elemanlardır. İstenen uzunluğa gelen profil, bıçaklar vasıtası ile kesilir ve proses tamamlanmış olur.



Şekil 3.14. Bıçaklar [31]

Bütün CTP kalıplama metodlarında olduğu gibi pultruzyonda da temel yapı, lifli bir takviye malzemesi ile taşıyıcı matriks olarak reçine üzerine kurulmuştur. Bunlarla birlikte dolgu, katalizör, iç kalıp ayırıcı ve renklendirici malzemelerden de yararlanılmaktadır.

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

Pultruzyon yönteminin önemli özelliklerinden biri de, kullanılan reçineye farklı dolgu malzemesi katılabilmesidir. Örneğin;

1. Maliyeti düşürmek için, 3-6 mikron boyutunda kalsiyum karbonat (kalsit),
2. Alev dayanımı istendiğinde Şekil 3.15'deki gibi, alüminyum hidroksit,
3. Korozyon dayanımı istendiğinde, kil,
4. Elektriksel izolasyon istendiğinde, alüminyum trihidrat v.b. çeşitli dolgu maddeleri eklenebilir.

Fakat her dolgu maddesinin, viskoziteyi farklı etkileme ve süspansiyon oluşturma özelliği de dikkate alınmalıdır.

Bu yöntemde birçok tipte takviye malzemesi kullanılır:

1. Tek uçlu veya çok uçlu fitiller ve karbon elyafı,
2. Bükümlü veya tek stürize fitiller,
3. Kontinü (sürekli) keçeler,
4. Yüzey keçeleri, cam ve karbon elyafından tüller,
5. Örgü kumaşlar ve dikişli veya dokunmuş ürünlerdir.



Şekil 3.15. Alev dayanımı sağlanmış profil

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 0.6m–1.2m/dak. olup, üretilen parça eğer uygun bir yapıya sahip ise 3m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,
7. Ekonomik olması ve bir çok 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 düzenlenebilmesi,
9. Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
10. İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,
11. Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
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. Bu durum rakip malzemelerin rijitlik değerlerine ulaşmak için kesitte ya da cidar kalınlığında tasarım değişikliklerinin yapılmasını zorunlu kılmakta,
5. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özelliklerde olmaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımı bulunmakta,
6. Malzemenin kalitesi, üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Fakat bu yöntemde standartlaşmış bir kalitenin olmaması,
7. Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler yaratabilmektedir.

Pultruzyonla üretilen CTP malzemelerinin özellikleri:

1. Özgül ağırlığının az olmasından dolayı, geniş bir kullanım alanına sahiptirler,
2. Hafif olmalarından dolayı, elle ya da basit aletlerle uygulama yapılabilir,
3. Yine hafif olmasından dolayı, nakliye giderleri düşüktür,
4. Kolay kesilebilir ve işlenebilir,
5. Birleştirme işlemleri metallerde olduğu gibi civata, vida v.b. bağlama elemanı yerine, yapıştırma sayesinde parça sayılarında önemli azalmalar sağlar,
6. Metal ve seramiklere göre dayanım/yoğunluk oranı da yüksektir,
7. Yorulma ve darbe dayanımı yüksektir,
8. Yüksek korozyon direncine sahiptir,
9. Düşük ısı iletkenliğine sahiptir,
10. Kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirler,
11. İyi elektrik yalıtkanlığına sahiptir,
12. Yüksek aşınma mukavemetine sahiptirler,
13. Uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymazlar,

14. Elektromanyetik alan oluşturmaması nedeni ile radyo ve mikro dalga frekanslarını etkilemezler,
15. Isıya bağlı uzamaları minimumdur,
16. Bazı plastiğin ışığı geçirmediği, yani saydamlık özelliklerinin de olması cam ile rekabet etmesini de sağlamaktadır.

Pultruzyon ile üretilen malzemeler, önceleri elektrik ve eğlence 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, tırabzan, 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.

BÖLÜM 4. CTP'LERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bir yapıya etki eden kar, rüzgar, deprem kuvvetleri ile yapı elemanlarının ağırlıkları ve hareketli yükler yapı elemanlarında çeşitli gerilmeler oluşturmaktadır. Bu nedenle bir yapı tasarlanırken yapıyı oluşturan yapı elemanlarının bu etkilere karşı yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olması beklenir. Bu nedenle kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Yapı malzemeleri üzerinde yapılan deneyler neticesinde o yapı malzemesine ait mekanik özellikler belirlenmektedir.

Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP malzemelerin sera tasarımında kullanılması için öncelikle, ülkemizde üretilen CTP malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve emniyet sınırları içersinde hesap yapılması gereklidir. Bu amaçla profiller üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca nümerik hesaplamalar yapılarak mekanik deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Böylece yapılan çalışmalar deneysel ve nümerik olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

4.1. Deneysel Çalışmalar

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 iç yapıda kalıcı değişme veya kırılma meydana getirmesi halinde gerilme sınırı mukavemet olarak bilinir. Mekanik özelliklerin temeli, atomlar arası bağ kuvvetleri olmasına rağmen iç yapıya 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. Matriks türü,
6. 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. Sera tasarımında kullanılacak CTP profillerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin deneylerle belirlenebilmesi için çekme, poisson, eğilme, sıcaklık altında eğilme, ısı genleşme, özgül ağırlık, birim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır.

4.1.1. Çekme deneyi

Sera yapımında kullanılacak CTP malzemesinin, elastisite modülü, poisson oranı ve kopma dayanımlarını belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Öncelikle ülkemizde üretim yapan fabrikalardan temin edilen farklı boyutlardaki CTP profilleri, ilgili standartlar [3,4 ve 5] ve deney şartlarına uygun şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere çekme makinesinde belirli hızlarda çekme kuvveti uygulanmıştır. Gerekli veriler kaydedilerek CTP malzemesinin çekme özellikleri, elastisite modülü, poisson oranı ve kopma dayanımları istatistikî hesaplar da kullanılarak belirlenmiştir.

Bilindiği gibi lifli yapıya sahip olan CTP malzemesi değişik yönlerdeki kuvvetlere karşı farklı dayanımlar göstermektedir. Bu nedenle çekme deneyleri diğer yönlere göre daha güçlü olan lif doğrultusuna paralel ve daha zayıf olan lif doğrultusuna dik olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Hem lif doğrultusuna paralel hem de lif doğrultusuna dik çekme deneyleri aynı deney araçları kullanılarak yapılmıştır.

4.1.1.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

Çekme makinesi:

Çekme deneyi için 40 ton çekme kapasitesine sahip, hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlı çekme makinesi kullanılmıştır. Hem manuel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizibilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme düzeneğine sahiptir. Makinenin deney parçasını tutucu çeneleri deney parçalarının eksenine, istenildiği anda kuvvet yönünde ayarlamaya uygun şekilde tasarlanmıştır [33]. Çene yüzeyleri deney parçalarının kaymayacak şekilde pürüzlü olarak üretilmiş ve çeneler ve kendiliğinden sıkışma özelliğine sahiptir. Ayrıca makine çeneleri deney parçalarının kalınlığına ve malzemenin yapısına göre değiştirilebilmektedir. Çekme makinesi çene düzeneği ve tipleri Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Çekme makinesi çeneleri ve düzeneği

Çekme makinesi üzerinde çekme deneylerinin yanı sıra basınç ve eğilme deneylerini de yapmak mümkündür. İlave edilen eğilme platformu ile düzenek değiştirilerek farklı zamanlarda eğilme deneylerinin de yapılabilmesi mümkündür. Çekme makinesi ve bilgisayar donanımı Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Çekme makinesi ve donanımı

Extansometre (Uzama ölçer):

Çekme deneyi yapılırken deney numunelerindeki boy değişimini hassas olarak ölçebilmek için Extansometre (Uzama ölçer) kullanılmıştır. Çekme makinesine takılan ve çekme deneyi yapılacak parçaların üzerine monte edilebilen şekildedir. 0,01mm hassasiyetle ölçüm yapma, her uzama ya da kısalmayı bilgisayar ortamına iletebilme özelliğine sahiptir. Extansometre tam olarak 50mm'lik uzunluktaki boy değişimini ölçebilmektedir.

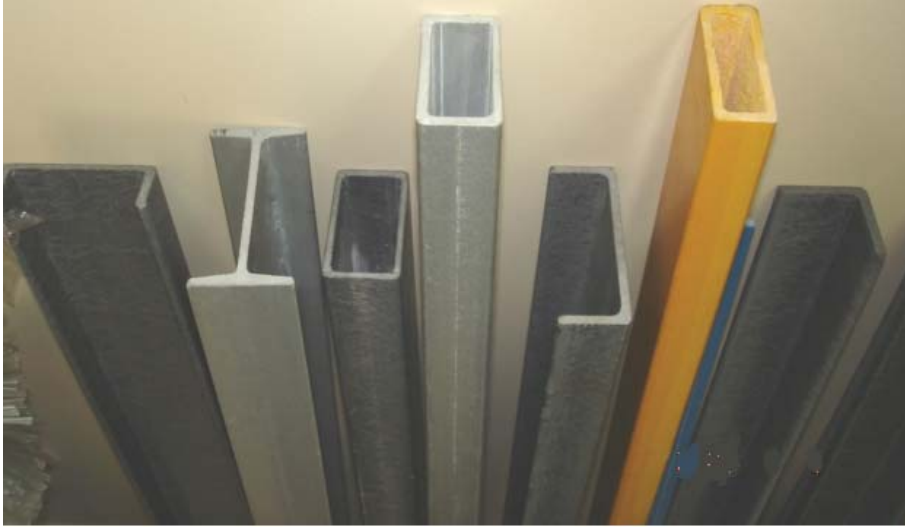
Extansometre deney hızından bağımsız olarak ve belirtilen uzamada % 1 veya daha iyi bir doğrulukla ölçüm yapabilmektedir [33]. Ayrıca deney numunelerini tutan uç kısımları daire veya dikdörtgen kesitli numunelere göre değiştirilebilmektedir.

Kumpas:

Deney öncesi hazırlanan numunelerin kalınlık ve genişliklerinin hassas şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla dijital kumpas kullanılarak ölçüm yapılmıştır. 0,01mm ölçüm hassasiyetine ve değerleri sıfırlama özelliği sahiptir. Ayrıca mm/inç ölçümlerini yapabileme ve bu iki ölçü birimini çevirebilme özelliklerine sahiptir.

4.1.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması

Çekme deneyinde kullanılacak numuneleri elde etmek için ülkemizde kompozit malzeme üretimi yapan üretici firmadan (Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.) çeşitli boyutlarda CTP profilleri temin edilmiştir. Çeşitli kesit ve elyaf/hacim özelliklerine sahip CTP profilleri Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. CTP profilleri

Laboratuar ortamında muhafaza edilen CTP profillerinden deney şartlarına uygun şekilde 25x250x3,5 mm boyutlarında parçalar kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin lifli yapıya sahip olduğundan matriks malzeme içerisindeki cam liflerinin zarar görmeden kesilmesi gerekmektedir. Bu nedenle daire şekilli uca sahip özel kesici makine ile kesim yapılmıştır. Kesilen numunelerin lif doğrultusuna paralel çekme deneyi için kesme işleminin liflere paralel olmasına özen gösterilmiştir. Aynı şekilde lif doğrultusuna dik çekme özelliklerinin belirlenmesi için ise liflere dik kesim yapılmıştır. Kesilen numunelerin yan yüzeylerinin tam düzgün olması için zımpara ile gerekli düzeltme işlemleri yapılmıştır. Profillerden kesilen parçalar Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Profillerden kesilmiş CTP numuneleri

Çekme deneyi esnasında deney numunelerini tutan makine çeneleri yukarı hareket ederek numune uçlarına basınç uygulamaktadır. Bu basınçtan dolayı deney numuneleri ezilebilmekte ve çene yüzeyine yapışmaktadır. Bu ve benzeri lokal hasarları önleyebilmek için kesilen numunelerin çekme deneyine hazır hale getirilmesi için başlık yapıştırma işlemi yapılmıştır.

Numune başlıkları numune boyutlarına uygun olarak çelik levhalardan 25x50x1mm boyutlarında imal edilmiştir. Yapıştırma işlemine geçmeden önce metal başlıklar ile CTP numuneleri arasında tam yapışmanın sağlanması ve sıyrılma olmaması için her iki malzemenin yüzeyi pürüzlü hale getirilmiştir. Metal başlıkların yüzeyine çekme eksenine dik çizgiler oluşturarak yapıştırıcı ile metal başlıklar arasında daha iyi sürtünme olması sağlanmıştır. CTP numunelerinin metal başlık yapıştırılacak uç kısımları da ince zımpara ile pürüzlü hale getirilmiştir. Çekme deneyi yapılacak her numunenin iki ucuna toplam 4 adet metal başlık yapıştırılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Metal başlık yapıştırılmış numuneler

Metal başlık elemanlarının yapıştırılması işleminde çift bileşenli epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Sertleştirici ve yapıştırıcı olmak üzere iki farklı bileşenden oluşan epoksi eşit oranlarda bileşenlerinden katılarak hazırlanmıştır. Karışımı hazırlanan epoksi hem metal başlıkların yüzeylerine hem de deney numunelerine sürülerek birleşmesi sağlanmıştır. Yapıştırma işlemi tamamlandıktan sonra her bir numune mengener ve işkenceler ile sıkıştırılarak kurumaya bırakılmıştır. Ortam sıcaklığına göre yeterli zamanda tam kuruması gerçekleşen numuneler çekme deneyine hazır hale gelmiştir. Her numune için belirtilen yapıştırma işlemleri aynı şekilde tekrar edilmiştir.

4.1.1.3. Çekme deneyinin yapılışı

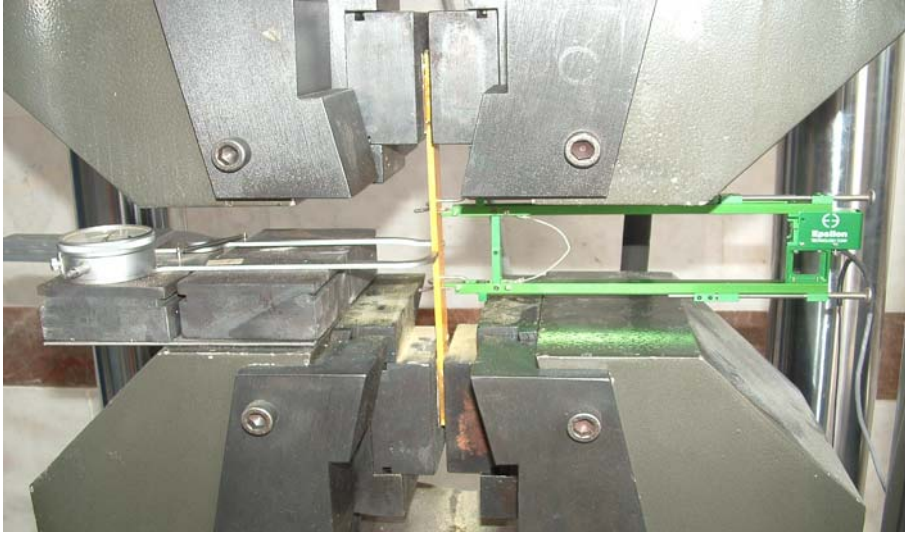
İstenilen özelliklerde hazırlanan numunelerin yüzeyleri ile makinenin çene kısımlarına gelecek metal kısımları temizlendikten sonra her bir numuneye numara verilip çekme deneyine hazır hale getirilmiştir. CTP malzemelere ve deney parçalarının kalınlığına uygun çene tipleri takılarak çekme makinesi çalışır duruma getirilmiştir. Makinenin gerekli ayarları yapıldıktan sonra deney yapılacak parçanın boyutları kumpasla hassas biçimde ölçülerek, değerler bilgisayar programına girilmiştir. Çekme deneylerinde çekme makinesinin yükleme hızları maksimum

2mm/dak. olacak şekilde yapılmıştır. Sırasıyla her bir deney numunesi iki çene arasına yerleştirilmiş ve numunelerin çenelere tam dik olmalarına dikkat edilerek gerekli düzenleme yapılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Makine çenelerine sıkıştırılmış numuneler

Numunelerin çenelere sıkıştırıldıktan sonra çene dişlerinin metal yüzeylere oturmasını sağlamak amacıyla ön yükleme kuvveti uygulanıp, daha sonra bu değer göstergede deney başlamadan önce sıfırlanmıştır. Bilgisayara bağlı ekstansometre, deney numunesinin orta bölgesine takılıp, sabitleme pimi çıkartılarak hazır hale getirilmiştir. Çeneler arasına sıkıştırılan deney numunelerinin bir tarafına ekstansometre diğer tarafına ise poisson oranını belirlemek için komparatör saati takılmıştır (Şekil 4.7). Gerekli diğer veriler de bilgisayara kaydedildikten sonra deney yükleme aşamasına hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.7. Çekme deneyi düzeneği

Deney düzeneği tamamlandıktan sonra yükleme başlatılıp numuneye çekme kuvveti uygulanarak, veriler kayıt altına alınmıştır. Yükleme esnasında deney numunesi koparıncaya kadar çekme kuvveti devam etmiş ve gerekli grafikler bilgisayar programı tarafından çizilmiştir. Çekme deneyi sonrası Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Çekme testi yapılmış numune

Deney bitiminde ilgili veriler kaydedilerek Excel ortamında malzeme mekanik özellikleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Her bir çekme deneyi sonunda diğer numuneye geçilip aynı işlemler tekrar edilmiştir.

Deney sonrası numunelerin kopma şekilleri Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Çekme deneyi yapılmış numuneler

Yukarıda belirtilen tüm adımlar lif doğrultusuna paralel çekme deneyinde olduğu gibi lif doğrultusuna dik çekme deneylerinde de aynı şekilde tekrar edilmiştir.

Ayrıca çekme deneyleri gerçekleştirilirken aynı zamanda numunelerin poisson oranları da ölçülmüştür. Poisson deneyleri ile ilgili bilgiler 4.1.2. Poisson Oranı Deneyi kısmında verilmiştir.

4.1.1.4. Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi sonuçları

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi için hazırlanan CTP numunelerinin yapıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra çekme deneyi uygulanmış ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Toplam 30 adet lif doğrultusuna paralel deney numunesi hazırlanmıştır. Her bir numuneye çekme kuvveti uygulanarak elde edilen veriler bilgisayar ortamına

kaydedilmiştir. Çekme makinesine ait bilgisayar programı, verileri işleyerek deney sonuçlarını ve deney grafiklerini oluşturmuştur. Çekme deneyinden elde edilen sonuçları değerlendirmek için her deneyde kayıtlar text formatında kayıt edilmiş ve daha sonra bu kayıtlar Excel formatında işlenerek sonuçlar bulunmuştur.

Deney sonrasında verilerin işlenmesi sonucunda 30 adet numune için formül 1,2 ve 3 kullanılarak Elastisite Modülleri (E), Çekme Gerilmeleri ve Uzama Yüzdeleri hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

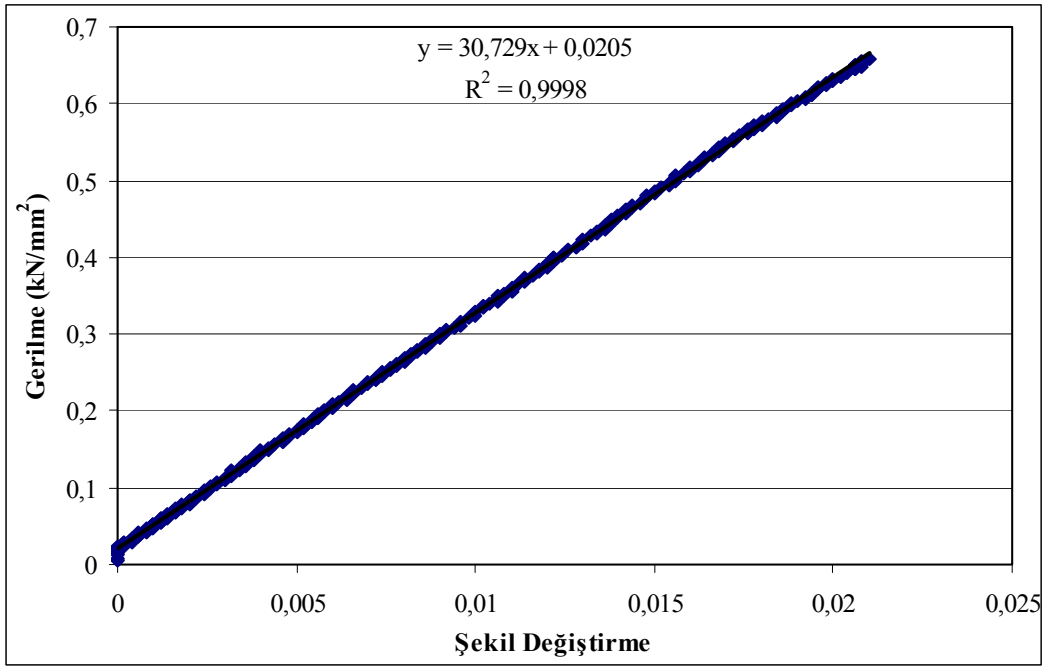
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3)$$

Burada;

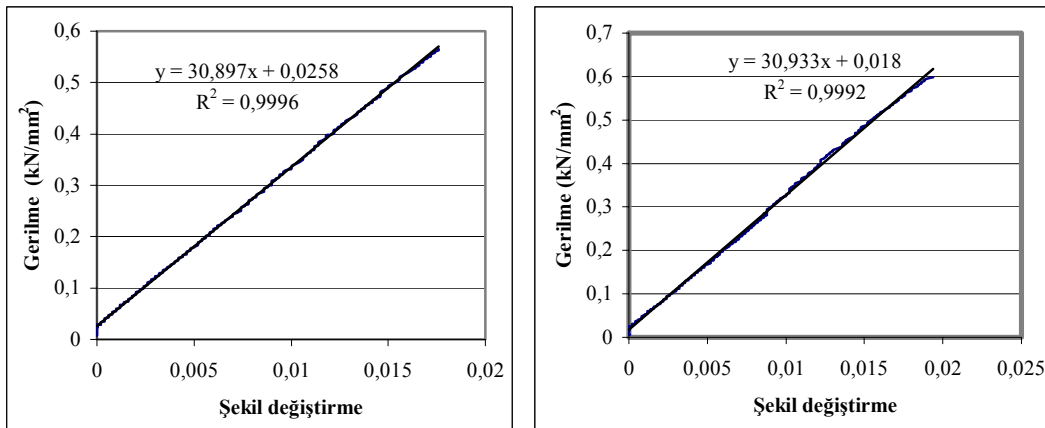
- E = Elastisite Modülü (N/mm²)
- σ = Gerilme (N/mm²)
- ε = Şekil Değişirme Oranı (%)
- P = Yük (N)
- A = Kesit Alanı (mm²)
- Δl = Boy Değişimi (mm)
- l = İlk Boy (mm)

Her numune için Elastisite Modüllerinin elde edildiği grafikler oluşturulmuştur. Gerilme-Şekil değişirme grafiklerinde eğilim çizgileri oluşturulmuş ve korelasyon katsayısı ile denklemleri belirtilmiştir. Elastisite Modülü ile ilgili oluşturulan grafikler Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

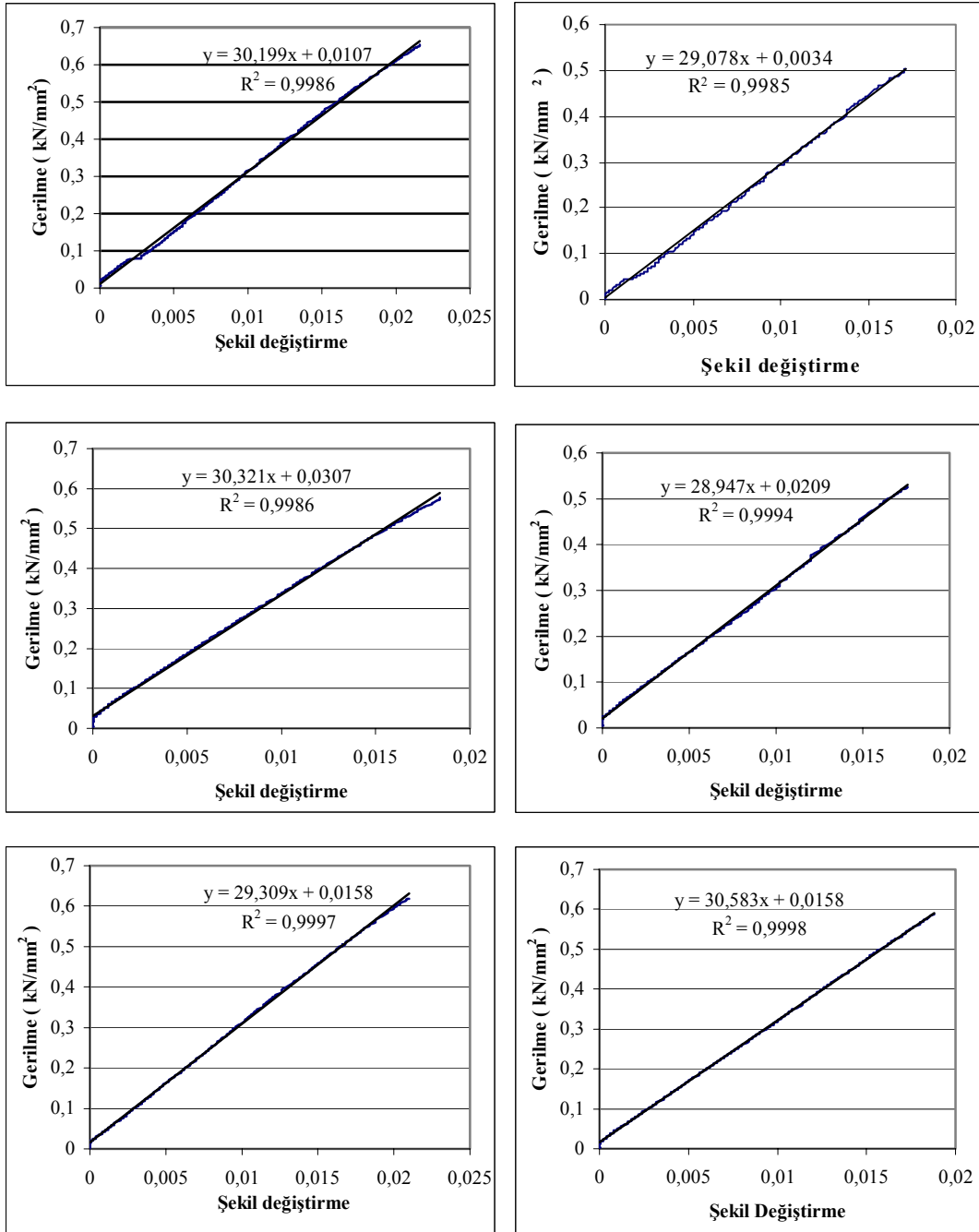


Şekil 4.10. Lif doğrultusuna paralel tek numuneye ait çekme deneyi grafiği

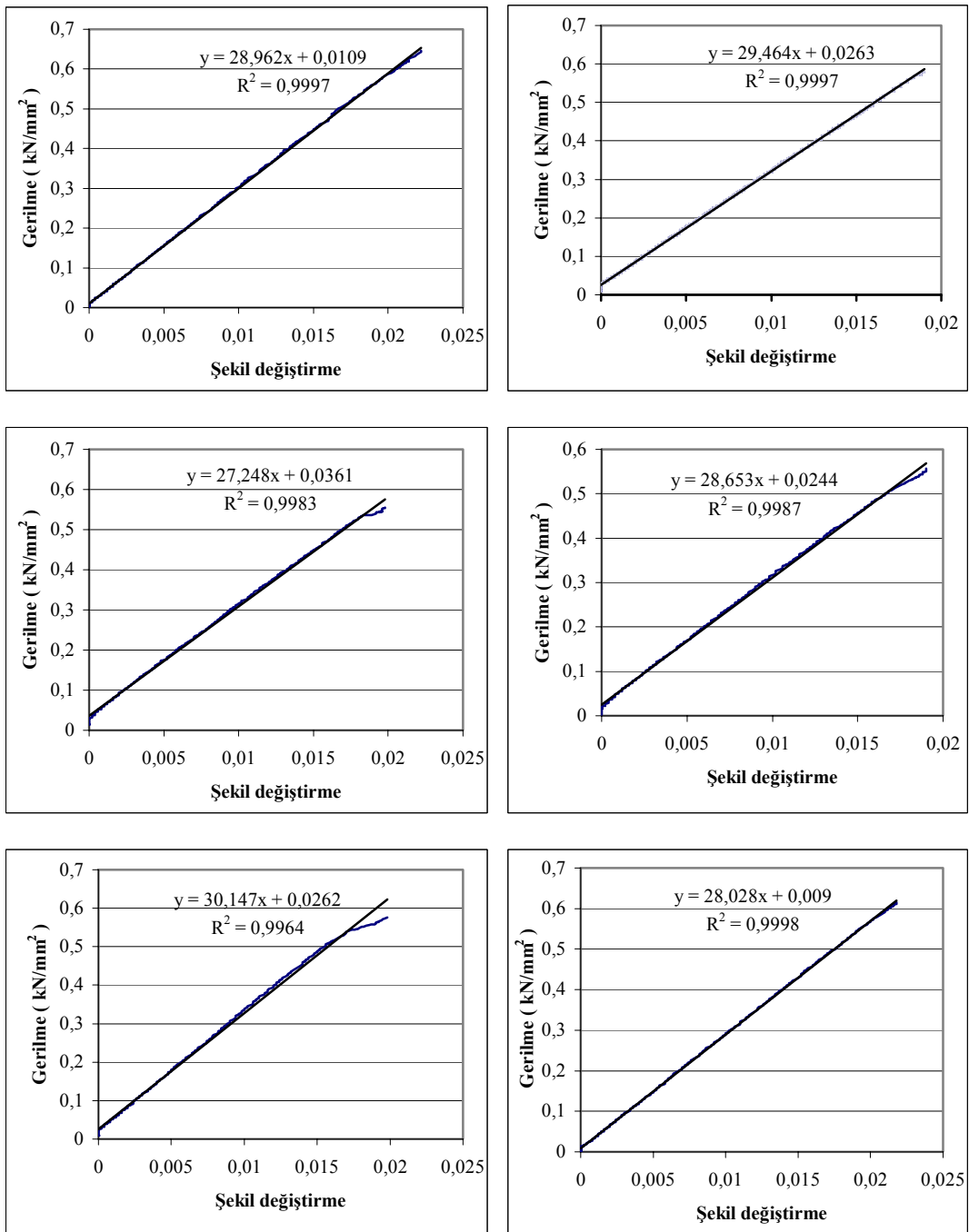
Yukarıda belirtilen şekilde life paralel yöndeki çekme deneylerindeki tüm numuneler, Şekil 4.10'da belirtilen örnek numunede olduğu gibi grafikler çizilerek Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



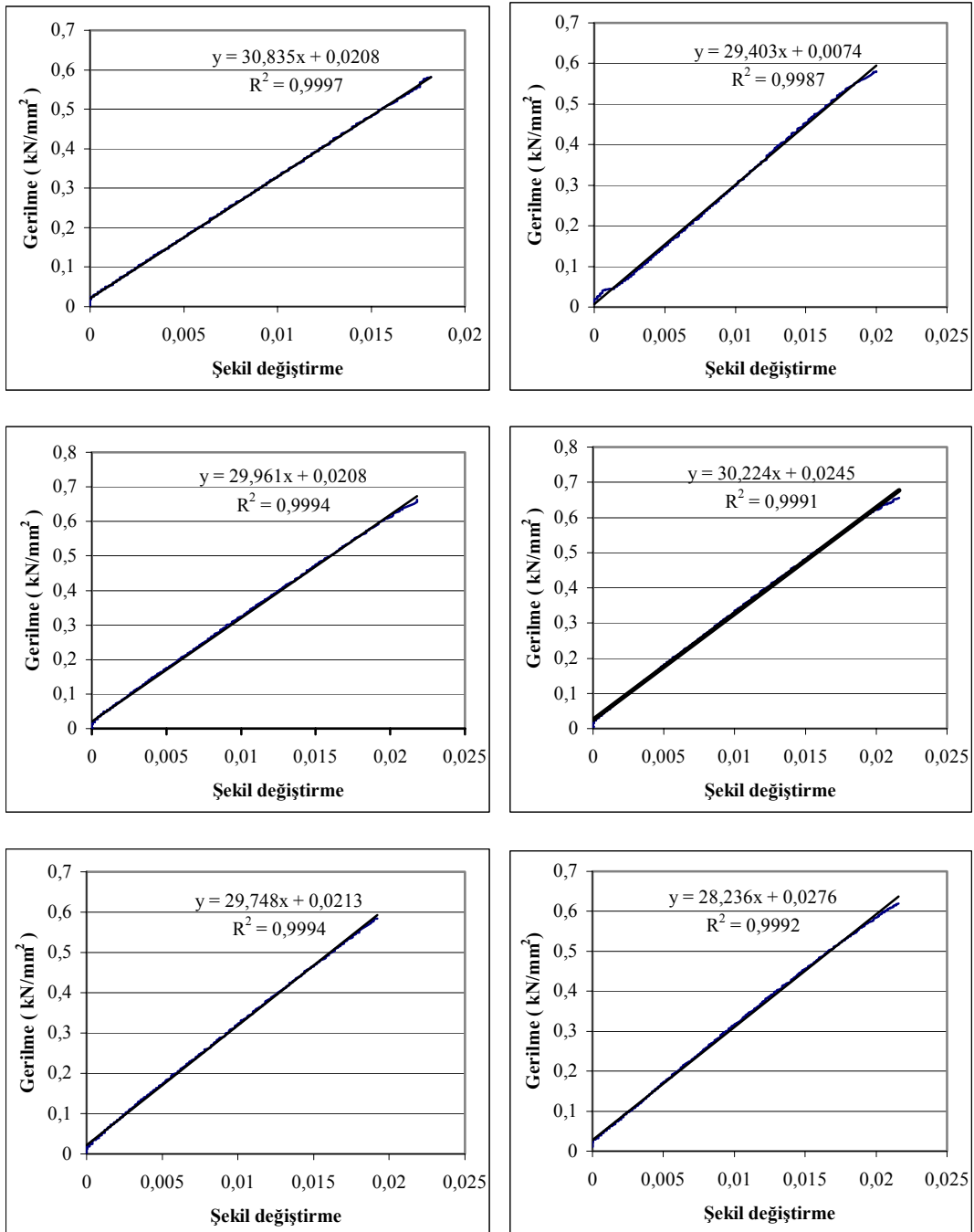
Şekil 4.11. Lif doğrultusuna paralel numunelere ait gerilme-şekil değişirme grafikleri



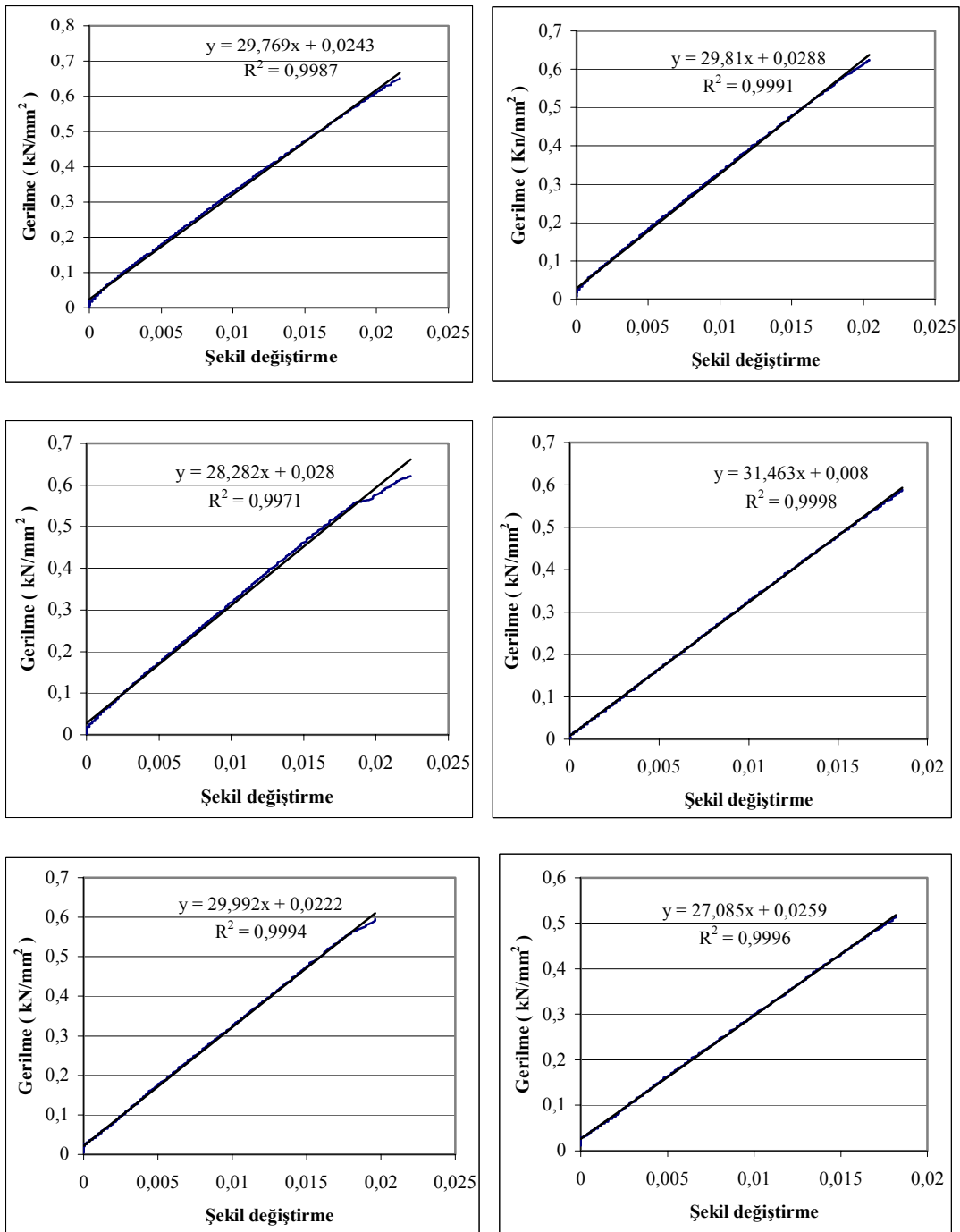
Şekil 4.11. Devam



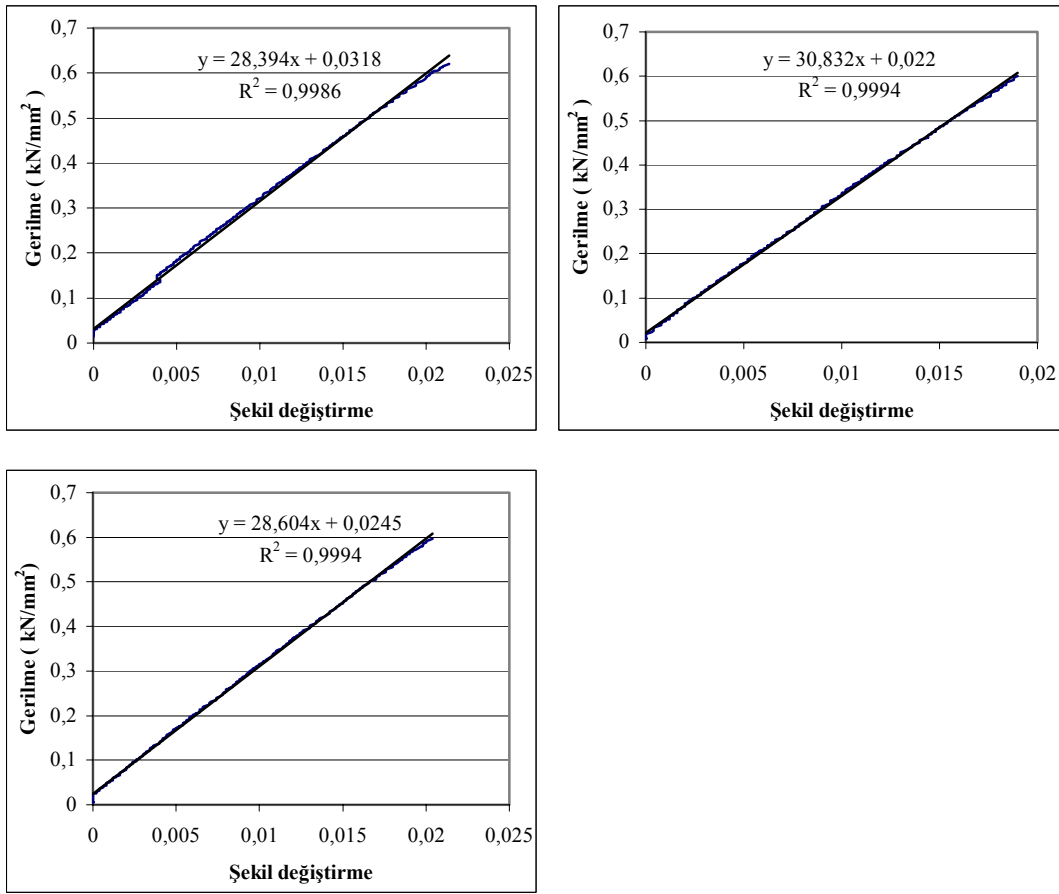
Şekil 4.11. Devam



Şekil 4.11. Devam



Şekil 4.11. Devam



Şekil 4.11. Devam

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyinden elde edilen sonuçlar tablo halinde ifade edilmiştir. Tablo 2’de numunelerin yüzde uzama miktarları, maksimum çekme kuvvetleri, elastisite modülleri ve korelasyon katsayıları verilmiştir. Tüm numuneler için ortalama ve standart sapma değerleri de hesaplanarak Tablo 4.1’de belirtilmiştir. Ayrıca sonuçların varyasyon katsayıları ASTM 3039’a [36] göre verilmiştir.

Tablo 4.1. Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi sonuçları

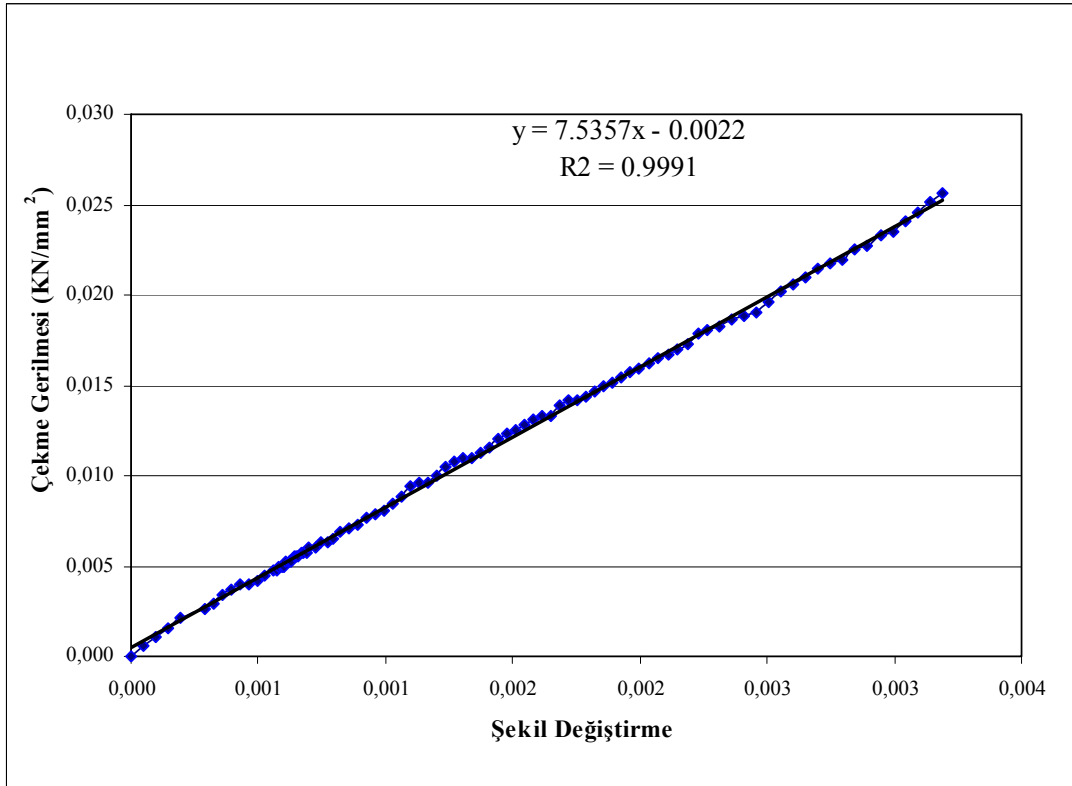
No	Kesit Alanı (mm ²)	Lo (mm)	L (mm)	Δl L - Lo (mm)	Uzama (%)	Max. Çekme Kuvveti (N)	Gerilme (N/mm ²)	E Mod. (N/mm ²)	R ²
1	93,37	50	51,1	1,05	2,1	60223,6	645	30729	0,99
2	86,8	50	50,9	0,88	1,76	48147,5	554,69	30879	0,99
3	89,61	50	51	0,97	1,94	52562	586,56	30933	0,99
4	89,57	50	51,1	1,08	2,16	57427,7	641,15	30199	0,99
5	88,85	50	50,9	0,86	1,72	44027,3	495,52	29078	0,99
6	88,18	50	50,9	0,92	1,84	49972,1	566,71	30321	0,99
7	95,82	50	50,9	0,88	1,76	49324,7	514,76	28947	0,99
8	89,57	50	51,1	1,05	2,1	54347,4	606,76	29309	0,99
9	100,8	50	50,9	0,94	1,88	58075,2	576,26	30583	0,99
10	89,63	50	51,1	1,11	2,22	56780,3	633,5	28962	0,99
11	91,31	50	51	0,95	1,9	51826,2	567,59	29464	0,99
12	96,09	50	51	0,99	1,98	52385,4	545,17	27248	0,99
13	87,68	50	51	0,95	1,9	47941,5	546,78	28653	0,99
14	93,21	50	51	0,99	1,98	52640,5	564,75	30147	0,99
15	94,49	50	51,1	1,09	2,18	57005,9	603,3	28028	0,99
16	97,34	50	50,9	0,92	1,84	55897,4	574,25	30835	0,99
17	87,19	50	51	1	2	49677,8	569,77	29403	0,99
18	85,68	50	51,1	1,09	2,18	55691,4	650	29961	0,99
19	99,18	50	51,1	1,08	2,16	63784,6	643,12	30224	0,99
20	87,34	50	51	0,96	1,92	50040,8	572,94	29748	0,99
21	88,04	50	51,1	1,08	2,16	53493,9	607,61	28236	0,99
22	99,13	50	51,1	1,08	2,16	63411,8	639,68	29769	0,99
23	87,61	50	51	1,02	2,04	53768,6	613,73	29810	0,99
24	91,2	50	51,1	1,12	2,24	55642,3	610,11	28282	0,99
25	96,23	50	51,2	1,15	2,3	59576,1	619,1	31463	0,99
26	92,54	50	51	0,98	1,96	54112	584,74	29992	0,99
27	92,09	50	50,9	0,91	1,82	46322,8	503,02	27085	0,99
28	93,06	50	51,1	1,07	2,14	56780,3	610,15	28394	0,99
29	94,6	50	51	0,95	1,9	55730,6	589,12	30832	0,99
30	96,89	50	51	1,02	2,04	56662,6	584,81	28604	0,99
Ort.	92,1	50	51	1	2,01	54109,3	587,36	29537,3	0,99
Std.	4,13	0	0,08	0,08	0,16	4616,51	40,57	1103,21	0
Var. (%)	4,49	0	0,15	7,8	7,8	8,53	6,91	3,73	0

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi sonuçları incelendiğinde Gerilme-Şekil değiştirme grafiklerindeki korelasyon değerleri tüm numunelerde 0,99 değerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu değerler deneylerin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında lif doğrultusuna paralel numunelerin Elastisite modülü (E) $29537,3\text{N/mm}^2$ ve Uzama değeri %2,01 olarak bulunmuştur. Çekme gerilmesi ortalaması ise $587,36\text{N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

4.1.1.5. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi yapıldıktan sonra benzer özellikteki lif doğrultusuna dik çekme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. 70-26-3,5mm'lik kutu profilden $3,5 \times 25\text{mm}$ kesitindeki numuneler üzerinde lif doğrultusuna dik çekme deneyi yapılmış ve deney sonuçları Tablo 4.12 ve örnek numuneye ait grafik Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Lif doğrultusuna dik gerilme-şekil değiştirme grafiği örneği

Numunelere ait Çekme gerilmeleri, Elastisite Modülleri ve Yüzde uzama miktarları, formül 1, 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları

Numune No	KesitAlanı	Lo	L	Uzama $\Delta l: L-Lo$	Uzama	Max. Çek. Kuvveti	Çekme Gerilmesi	Liflere Dik Yön. Elastik Modül	R²
	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(kN)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	
1	91,28	20	20,06	0,06	0,300	3,11	0,0340	8,8406	0,99
2	91,28	20	20,06	0,06	0,300	3,01	0,0344	7,5357	0,99
3	91,25	20	20,09	0,09	0,450	2,59	0,0287	7,2387	0,99
Ort.	91,27	20,00	20,07	0,07	0,350	2,90	0,0324	7,8717	0,99
Std.	0,02			0,01	0,07	0,23	0,00	0,70	0,00
Var. %	0,00			20,20	20,20	7,76	8,04	8,84	0,00

Yapılan deneylerin ortalama sonuçlarına bakıldığında lif doğrultusuna dik numunelerin Elastisite modülü $7,8717\text{kN/mm}^2$, maksimum çekme gerilmesi $0,0324\text{kN/mm}^2$ ve ortalama yüzde uzama değeri 0,35 olarak bulunmuştur. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları incelendiğinde Gerilme-Şekil değiştirme grafiklerindeki korelasyon değerleri tüm numunelerde 0,99 değerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

4.1.2. Poisson oranı deneyi

Poisson oranlarının belirlenmesinde lif doğrultusuna paralel çekme deneyinde kullanılan numuneler üzerinde ölçüm yapılmıştır. Çekme deneyi için düzenek hazırlanırken aynı zamanda poisson oranı deneyinde kullanılacak düzende hazırlanarak çekme ve poisson deneyi birlikte yapılmıştır.

Poisson oranı deneylerinde çekme deneylerinde kullanılan ekipmanlara ilave olarak komparatör saati kullanılmıştır.

4.1.2.1. Komparatör saati

Çekme deneyi yaparken aynı zamanda malzemenin poisson oranını da belirlemek için kalınlık ölçer komparatör saati ile ölçüm yapılmıştır. Kullanılan komparatör saati

kalınlık ölçmeye göre tasarlanmış 50mm ölçme kapasitesine sahip 0,05mm hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Yaylı mekanizması ile ölçülecek numuneye basınç yaparak daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

4.1.2.2. Poisson oranı deneyinin yapılışı

Poisson oranının belirlenmesi deneyindeki temel amaç, çekme deneyi yapılırken malzemenin yanal boy değişimi ve boydaki şekil değişiminin bulunarak birbirine oranlanmasıdır. Bu amaçla uygun düzeneğe hazırlanarak deneyler yapılmıştır.

Deneyde kullanılacak numuneler lif doğrultusuna paralel çekme deneyinde kullanılan numunelerin aynısıdır. Uygun şekilde çekme makinesi çenelerine yerleştirilen CTP numunesine extansometre takılarak numune boyutları bilgisayar programına girilmiştir. Deney numunelerinin bir tarafına extansometre takılırken diğer tarafına ise kalınlık ölçer komparatör saati uygun şekilde takılmıştır. Bu şekilde numune boyundaki değişim 50mm'lik extansometre açıklığı ile numune enindeki daralma ise kalınlık ölçer komparatör saati ile ölçülmüştür. Deney öncesi düzeneğe Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Poisson Oranı deneyi öncesi oluşturulan düzeneğe

Komparatör saatinin numuneye temas eden iki uç kısmı çekme deneyi esnasında kaymaması için hızlı kuruma özelliğine sahip yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Komparatör saati ile deney numunesi arasında tam yapışma sağlandıktan sonra komparatör saatinin göstergesi sıfırlanmıştır. Deney öncesinde extansometre ve komparatör saati uçlarının numuneye montajı Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14. Extansometre ve komparatör saatinin numuneye montajı

Çekme deneyi başlatıldıktan sonra numune boyundaki uzama ve enindeki daralma ölçülmüştür. Yükleme başlaması ile birlikte her 500kgf çekme kuvvetinde veriler kopma gerçekleşinceye kadar kayıt edilmiştir. Deney sonrası deforme olan numune ve deney düzeneği Şekil 4.15’de görülmektedir.



Şekil 4.15. Poisson Oranı deneyi sonrası

4.1.2.3. Poisson oranı deneyinin sonuçları

Tüm poisson oranı deneyi numunelerinde olduğu gibi bir numuneye ait verilerin bulunduğu Tablo 4.3'deki verilere göre aksel boy değişimi (ϵ_x) yanal boy değişimine (ϵ_y) oranlanmıştır. Belirtilen yanal ve aksel şekil değiştirme oranları ile poisson oranı değerleri formül 4,5 ve 6 kullanılarak bulunmuştur.

$$\epsilon_y = \frac{\Delta y}{L_y} \quad (4)$$

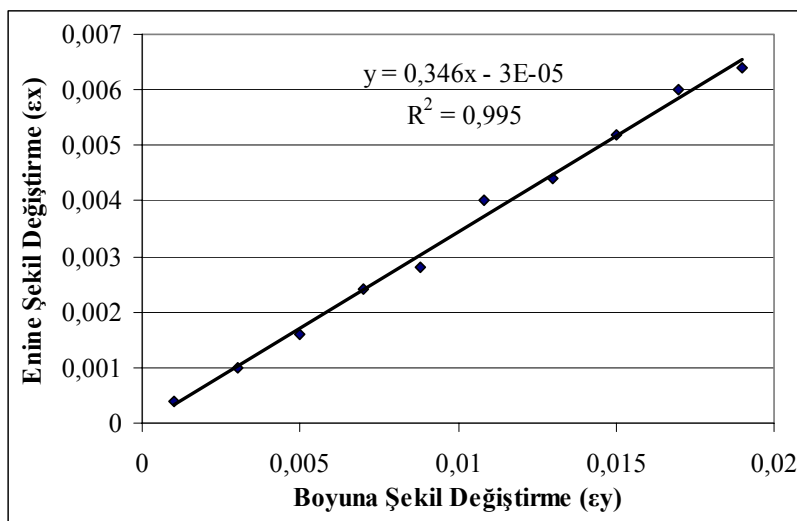
$$\epsilon_x = \frac{\Delta x}{L_x} \quad (5)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \quad (6)$$

Tablo 4.3. Bir numuneye ait poisson deneyi sonuçları

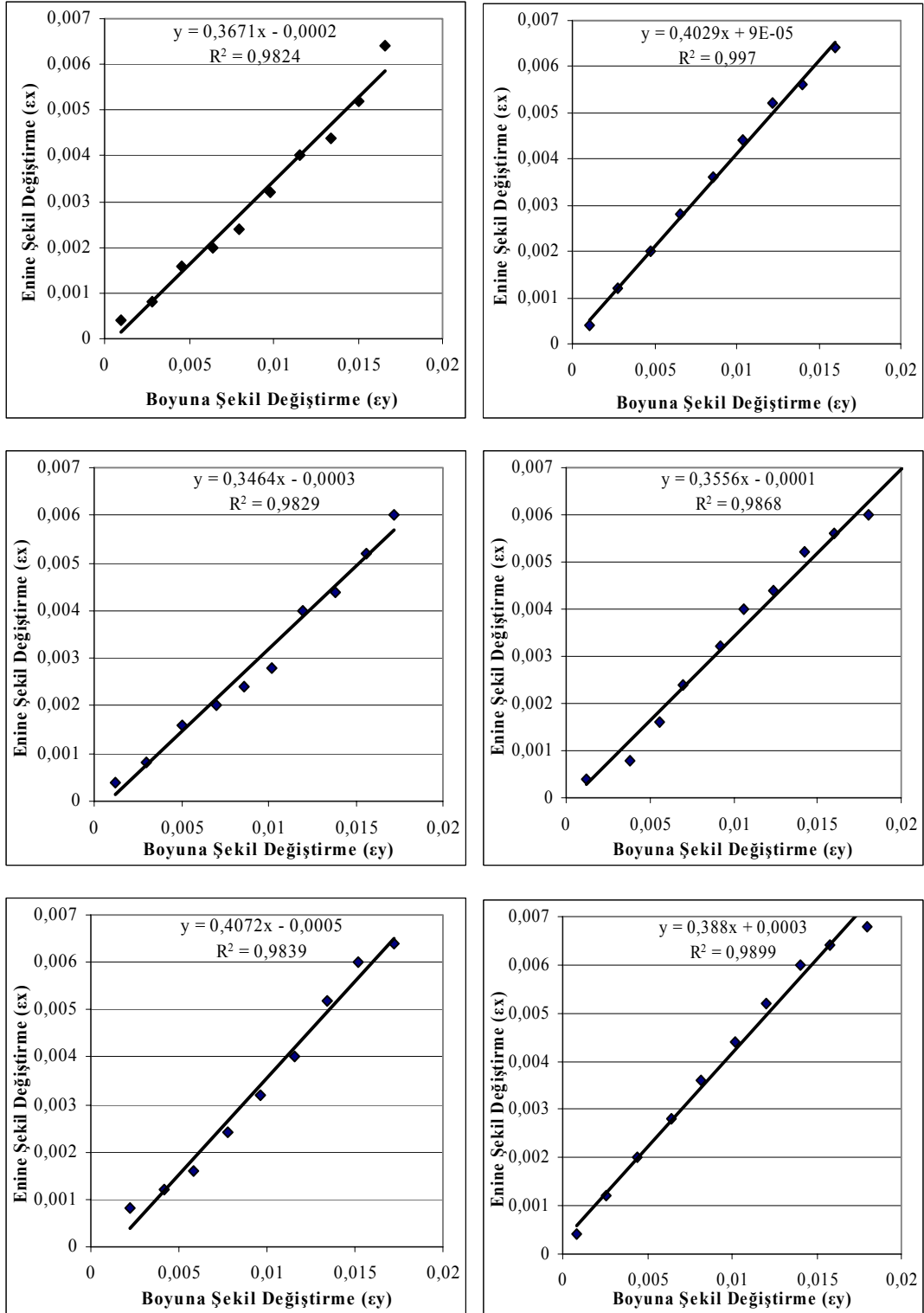
Eksenel Kuvvet (tonf)	Δy (mm)	L_y (mm)	(ϵ_y)	Δx (mm)	L_x (mm)	(ϵ_x)	Poisson Oranı (ν)
0	0	50	0	0	25	0	0
0,5	0,05	50	0,001	0,01	25	4E-04	0,4
1	0,15	50	0,003	0,03	25	0,001	0,26
1,5	0,25	50	0,005	0,04	25	0,002	0,26
2	0,35	50	0,007	0,06	25	0,002	0,25
2,5	0,44	50	0,009	0,07	25	0,003	0,28
3	0,54	50	0,011	0,1	25	0,004	0,34
3,5	0,65	50	0,013	0,11	25	0,004	0,32
4	0,75	50	0,015	0,13	25	0,005	0,3
4,5	0,85	50	0,017	0,15	25	0,006	0,31
5	0,95	50	0,019	0,16	25	0,006	0,3

Grafik olarak Şekil 4.16'da ifade edilen oranlamada y denklemindeki 0,34'lük kısım o numuneye ait poisson oranını ifade etmektedir. R^2 değeri ise deney esnasındaki okumaların birbirine uyumunu ifade etmekte ve deney güvenilirliği açısından önemlidir.

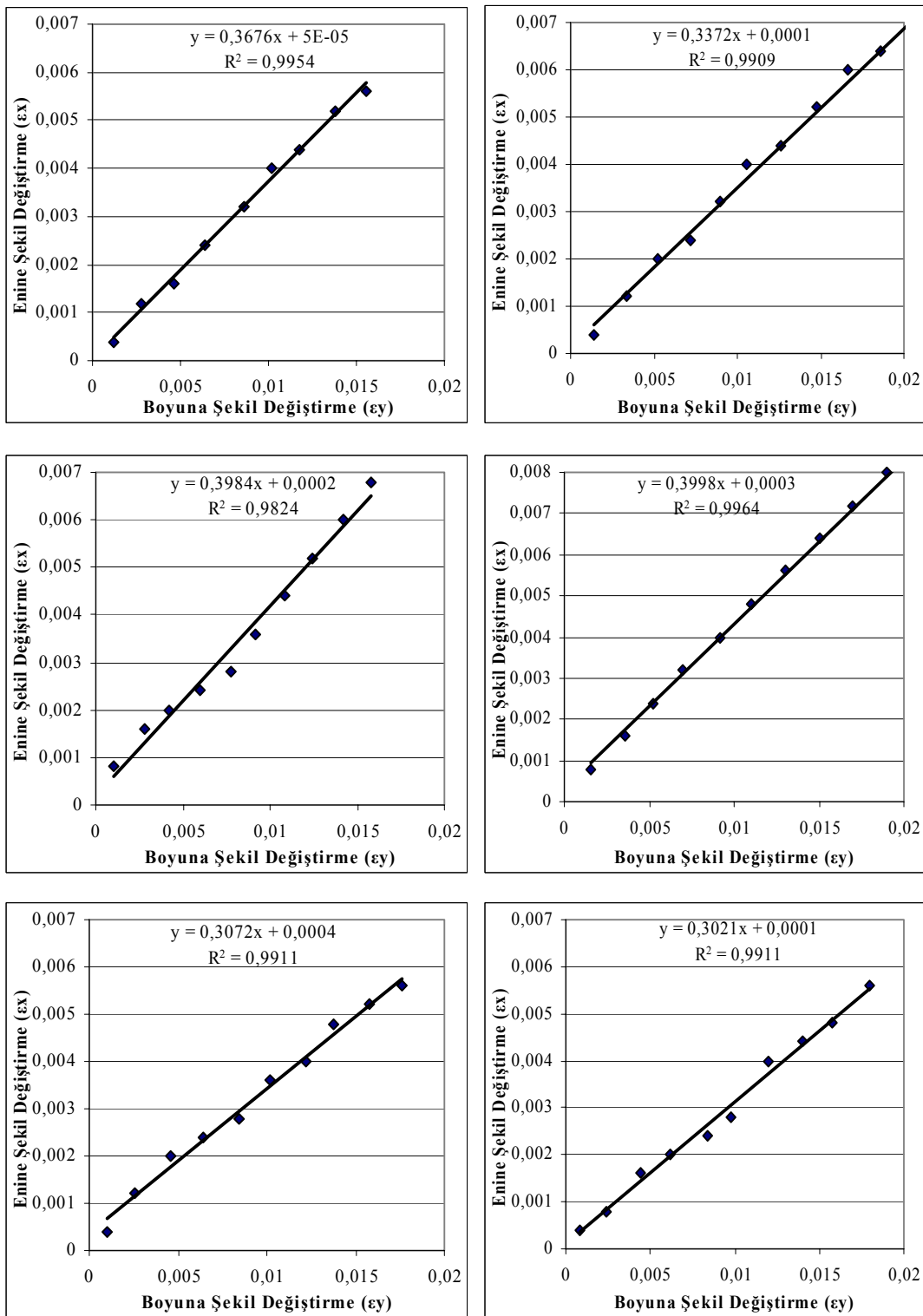


Şekil 4.16. Poisson Oranı deneyi grafiği

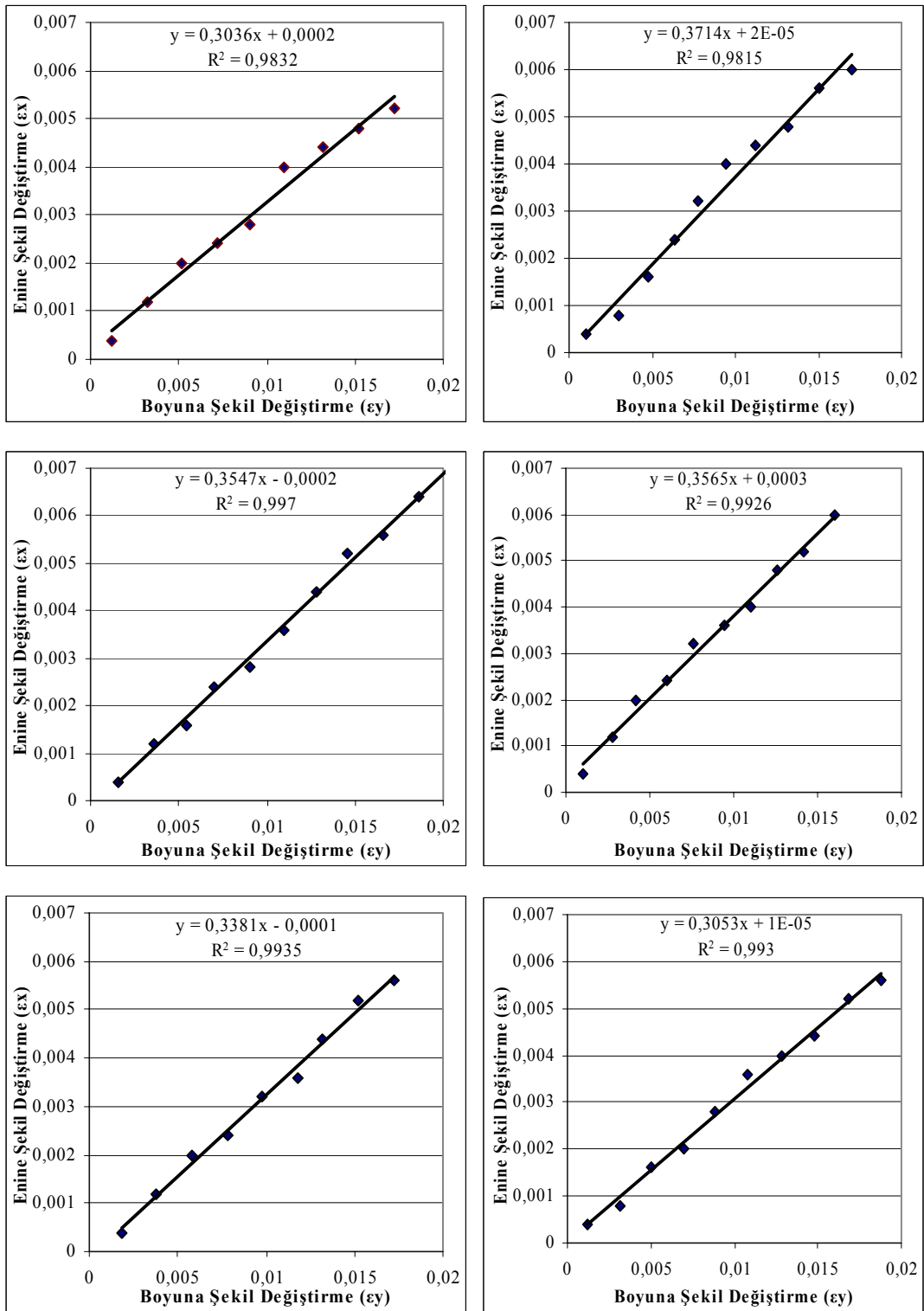
Yukarıda belirtilen şekilde poisson oranı deneylerindeki tüm numuneler örnek numunede olduğu gibi deney verilerinin bulunduğu grafikler çizilerek Şekil 4.17’de verilmiştir.



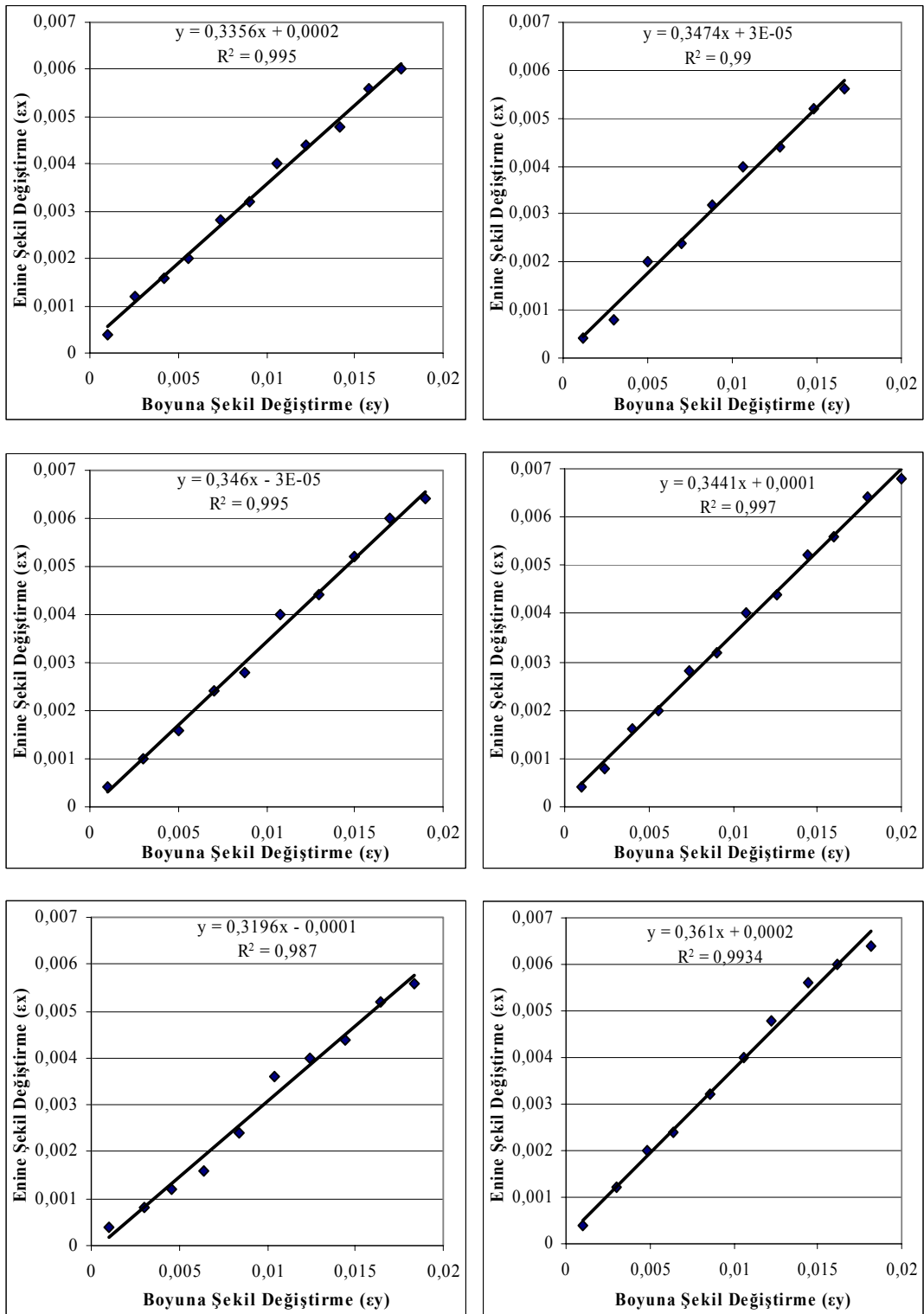
Şekil 4.17. Numunelere ait Poisson Oranı deneyi grafikleri



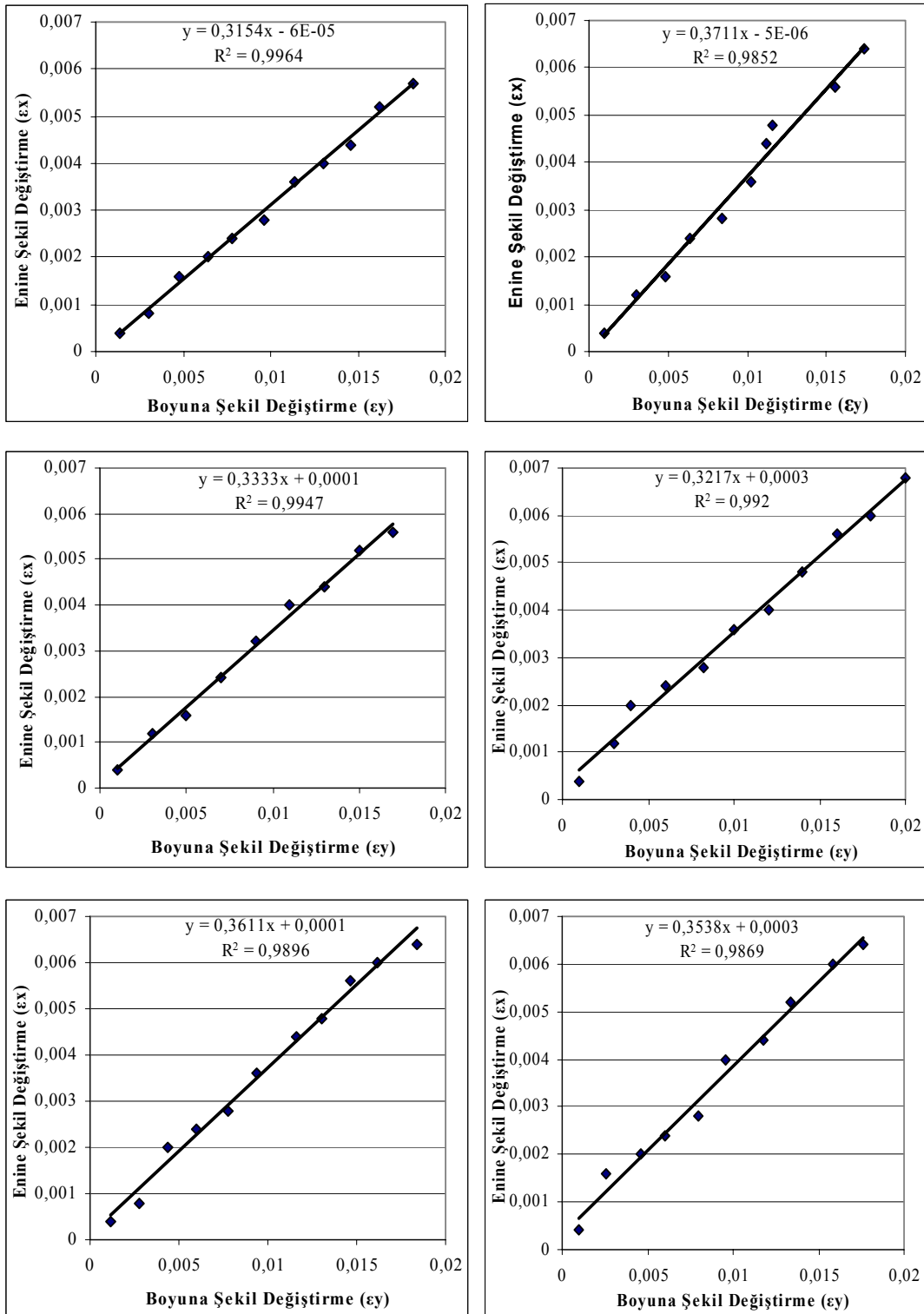
Şekil 4.17. Devam



Şekil 4.17. Devam



Şekil 4.17. Devam



Şekil 4.17. Devam

Toplam 30 adet numune üzerinde gerçekleştirilen poisson oranı deneyleri kayıt edildikten sonra gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Tüm numunelerde belirtilen poisson oranı hesaplama değerleri, deneylerde orantılılık sınırı altındaki bölgede

yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen CTP numunelerine ait poisson oranı değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Poisson oranı deneyi sonuçları

Numune No	Poisson Oranı
1	0,36
2	0,40
3	0,34
4	0,35
5	0,40
6	0,38
7	0,36
8	0,33
9	0,39
10	0,39
11	0,30
12	0,30
13	0,30
14	0,37
15	0,35
16	0,35
17	0,32
18	0,30
19	0,32
20	0,34
21	0,34
22	0,34
23	0,31
24	0,36
25	0,31
26	0,37
27	0,33
28	0,32
29	0,36
30	0,35
Ortalama	0,34
Standart Sapma	0,03
Varyasyon Katsayısı (%)	8,67

Poisson oranı deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde tüm numunelerin ortalaması 0,34 olarak bulunmuştur. İlgili numunelere ait standart sapma değeri 0,03 ve varyasyon katsayısı ise % 8,67 olarak bulunmuştur.

4.1.3. Eğilme deneyi

Eğilme deneyi için öncelikle gerekli düzenek oluşturulmuştur. Numune ebatlarını ölçmek için çekme deneyinde kullanılan dijital kumpas kullanılmıştır. Eğilme deneyini gerçekleştirebilmek için çekme makinesi üst kısmına eğilme platformu dahil edilmiştir. Silindir şeklinde ve hareketli mesnetlere sahip olan eğilme platformu tek noktadan yükleme yapabilmektedir. Mesnet açıklıkları istenilen açıklıkta ve hassasiyette ayarlanabilmektedir. Gerekli grafikler bilgisayar ortamında eğilme programı ile çizilebilmektedir.

4.1.3.1. Eğilme deneyinin yapılışı

Eğilme deneyi için standartlara uygun [37,38 ve 39] dolu kesitli deney numunesi hazırlanmıştır. 70-26-3,5mm'lik kutu profillerden kesilerek; 5 adet 250mm boyunda, 11,5mm genişliğinde 3,5mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme deney numuneleri

Eğilme deneyinde mesnetler arası mesafe 200mm olarak ayarlanmıştır. Eğilme deneyi yapılacak numunelerin uzunlukları her mesnet tarafından 25mm, toplamda ise 50mm olmak üzere daha uzun kesilmiştir. Eğilme deneyi esnasında deney hızı 10 mm/dak. (\pm % 20) olarak ayarlanmıştır [38].

Eğilme deneyine başlamadan önce eğilme platformunda mesnetler ayarlanmış, numuneler istenilen boyutlarda hazırlandıktan sonra gerekli veriler eğilme programına girilmiş ve makine yüklemeye hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.19).



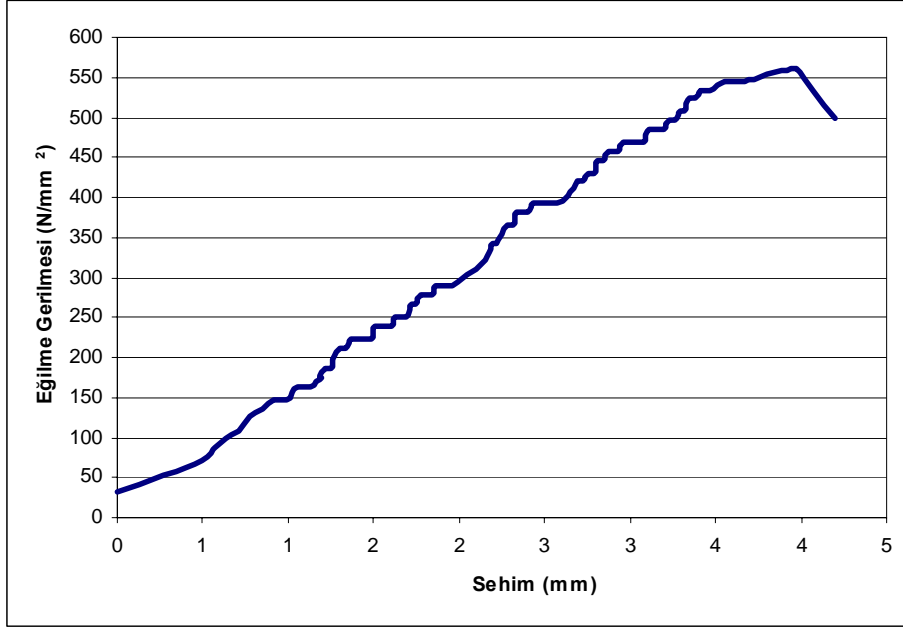
Şekil 4.19. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme deneyi yüklemesi

Eğilme deneyi sonrasında deforme olup kırılan numune Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme deneyinde kırılmış numune örneği

Eğilme deneyi yapıldıktan sonraki text uzantısı verileri Excel formatında işlenerek Gerilme–sehim grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Dikdörtgen dolu kesitli eğilme numunesine ait gerilme-sehim grafiği örneği

Gerilme-sehim grafikleri oluşturulduktan sonra tüm numunelere ait gerilme değerleri formül 7 ile hesaplanarak, Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{PL/4}{I/y} \quad (7)$$

Burada;

σ = Gerilme (N/mm²)

M = Moment (Nmm)

W = Mukavemet Momenti (cm³)

P = Max. Yük (N)

L = Mesnet Açıklığı (mm)

I = Atalet Momenti (mm⁴)

y = Tarafsız eksen uzaklığı (mm)

4.1.3.2. Eğilme deneyinin sonuçları

Tablo 4.5. Dikdörtgen dolu kesitli numunelerin eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Malzeme Kesiti (mm)		Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (Nmm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)
	h	b					
1	12,1	3,75	200	91,506	1030,1	51503	562,83
2	11,9	3,55	200	83,505	882,9	44145	528,65
3	11,9	3,8	200	89,988	1020,2	51012	566,88
4	12	3,7	200	88,062	981	49050	557
5	11,8	3,8	200	88,485	1039,9	51993	587,59
Ortalama	11,9	3,72	200	88,309	990,81	49541	560,59
Std. Sap.					58	2877	19
Var. %					6	6	3

Yapılan deneylerde lokal kırılma meydana gelmemiş ve ortalama sonuçlarına bakıldığında numunelerin Ortalama Eğilme Gerilmesi $560,59\text{N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

1.1.4. Isıl genişleme deneyi

Isıl genişleme deneyi için öncelikle deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney için numunelerin içersine konulup, istenilen ısıda ayarlanabilen ve eğilme sıcaklığı deneyinde de kullanılan ayarlı ısı tankı kullanılmıştır. Rezistanslı ayarlı ısı tankının içersi su ile doldurularak, su istenilen sıcaklıkta ayarlanmıştır. Numunelerin uzunluklarını ölçmek için ise komparatör saatinden oluşan özel bir düzenek kullanılmıştır. Numunelerin ısıl genişleme değerlerinin ölçülmesi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Isı genleşme deyinde numune boylarının ölçülmesi

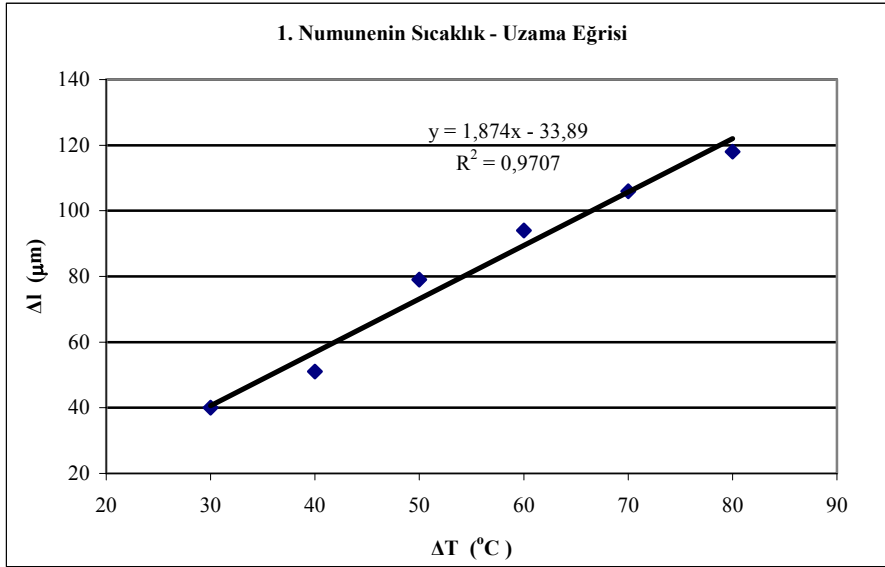
Sıcaklık karşısında boy değışimlerini belirlemek için dikdörtgen kesitli numuneler kullanılmıştır. Daha önceden oluşturulan düzenek ile numunelerin boyları normal hava şartlarında ölçülerek kaydedilmiştir. 350mm uzunluğundaki 3 numunenin 30-40-50-60-70-80 °C arasında değışen sıcaklıklarda muhafaza edilmiş ve kür tankından çıkartılarak boy uzamaları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. 3 adet numunenin sıcaklığa bağlı boy uzama değeri

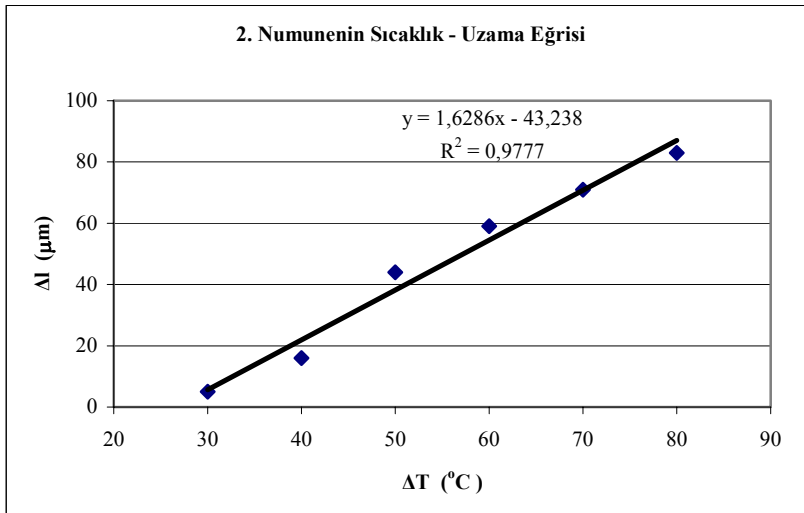
1. Numune		2. Numune		3. Numune	
$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta l(\mu m)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta l(\mu m)$	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta l(\mu m)$
30	40	30	5	30	76
40	51	40	16	40	88
50	79	50	44	50	134
60	94	60	59	60	146
70	106	70	71	70	159
80	118	80	83	80	162

Numunelerin sıcaklık karşısında boy değişimi belirlenirken dikdörtgen kesite sahip numunelerin bir köşesi işaretlenerek normal havada ve her sıcaklık değerinde aynı köşeden ölçüm yapılmıştır. Böylece çok küçük boy değişimleri olan numunelerde muhtemel deney hataları en aza indirilmiştir.

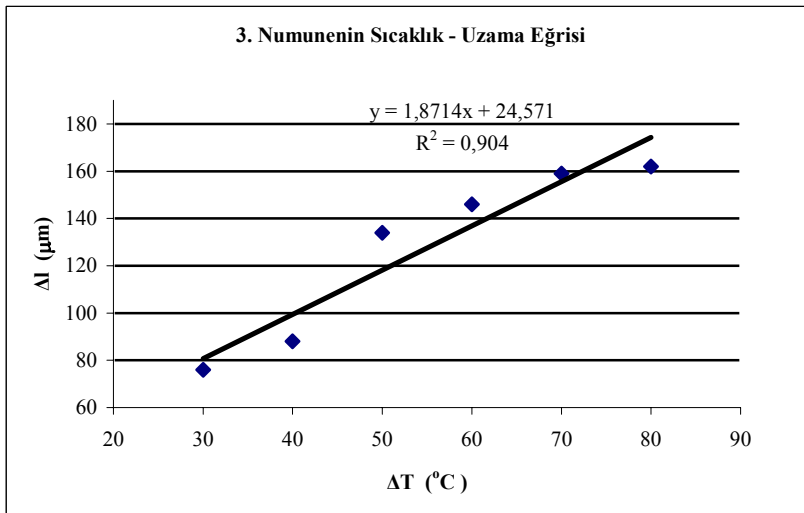
Isıl genleşme değerleri 70–26–3,5mm ebatlarında dikdörtgen kesitli profil CTP malzemeleri kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sıcaklığı 30 ile 80 derece arası seçilmiş ve her sıcaklık arttırılışında çubukların termal dengeye gelmeleri için bir müddet beklenmiştir. Bu bekleme süresinin belirlenmesinde, sıcaklık artışı sonucu çubukta meydana gelen uzamanın sonlanması için gereken zaman baz alınmıştır. Bu zaman yaklaşık olarak 15–20 dakika arasında bir zamana karşılık gelmektedir. Yapılan ölçümlerin sonuçları, her deney numunesine ait Δl - ΔT grafikleri Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.23. 1. Numunenin sıcaklık – uzama eğrisi

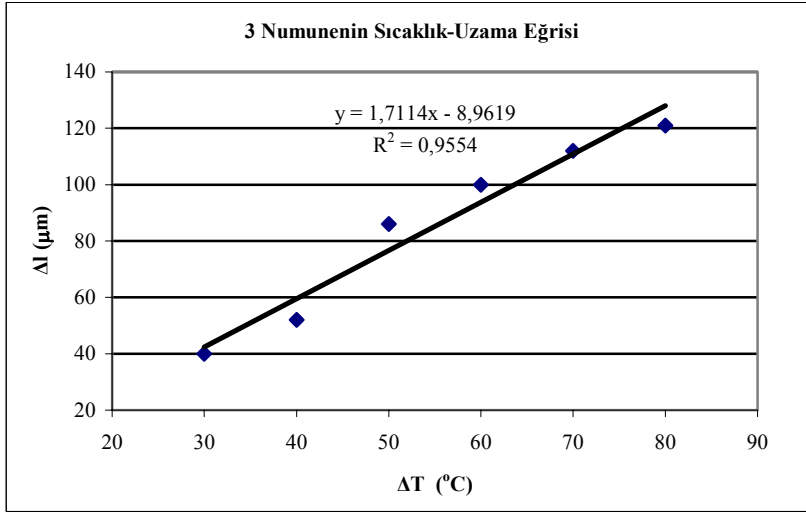


Şekil 4.24. 2. Numunenin sıcaklık – uzama eğrisi



Şekil 4.25. 3. Numunenin sıcaklık – uzama eğrisi

Ayrıca deney numunelerinin genişleme değerlerinin ortalamaları alınarak oluşturulan genişleme-sıcaklık grafiği ise Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. 3 numunenin sıcaklık-uzama ilişkisi

Isıl genleşme değerleri hesaplanırken formül 8 kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$\Delta l = L_0 \times \lambda \times \Delta T \quad (8)$$

Δl : Boy uzaması

L_0 : İlk boy

λ : Genleşme katsayısı

ΔT : Sıcaklık artışı

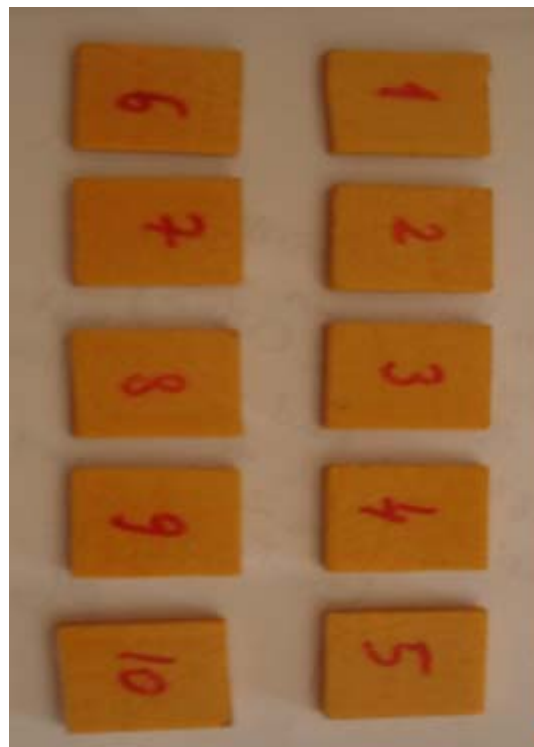
Bu bağıntıya göre ΔL ile ΔT arasında çizilen yukarıdaki grafiklerden eğim $L_0 \times \lambda$ 'ya eşit olur ve λ 'yı bulabilmek için eğim L_0 'a bölünmesi gerekir. Çalışmalarda kullanılan deney numunelerinin ilk boyu 35cm'dir. Hesaplamalar sonucunda bulunan değerler Tablo 4.7'de görülmektedir.

Tablo 4.7. Isıl genleşme katsayısı

Numune No	Eğim ($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	λ ($\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$) $\times 10^{-6}$
1	1,874	5,354
2	1,628	4,653
3	1,871	5,347
Ortalama	1,791	5,118

4.1.5. Özgül ağırlık deneyi

Sera tasarımıda kullanılacak CTP malzemesinin özgül ağırlığını belirlemek için özgül ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. CTP profillerinden kesilerek elde edilen parçalar üzerinde özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Toplam 10 adet numune kare şeklinde kesilerek deneye tabi tutulmuştur. Arşimet terazisi ve özgül ağırlık numuneleri Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Arşimet terazisi ve özgül ağırlık numuneleri

Özgül ağırlık deneyinde Arşimet Terazisi kullanılmıştır. Küçük boyutlarda hazırlanan numuneler önce kuru olarak tartılmış daha sonra ise su içerisindeki ağırlığı bulunmuştur. 10 adet numune için ağırlık sonuçları Tablo 4.8’de görülmektedir.

Tablo 4.8. Özgül ağırlık deneyinde numune ağırlıkları

Deney No	Kuru Ağırlık (gr)	Su İçindeki Ağırlığı (gr)
1	24,438	10,748
2	24,403	10,724
3	25,073	11,056
4	24,471	10,730
5	24,574	10,787
6	24,450	10,764
7	24,400	10,648
8	27,273	11,498
9	24,413	10,760
10	24,715	10,800

Tartma işlemi sonrası elde edilen sonuçlara göre formül 9 kullanılarak hesaplama yapıp, her numune için Özgül ağırlık değerleri bulunmuştur.

$$\gamma = \frac{W_h}{W_h - W_s} \times d_{su} \quad (9)$$

Burada ;

γ : Özgül Ağırlık (g/cm^3)

W_h : Malzemenin kuru ağırlığı

W_s : Malzemenin su içindeki ağırlığı

d_{su} : Suyun istenilen sıcaklıktaki yoğunluğu

Tüm numuneler için özgül ağırlık deneyi sonuçları ve ortalama değerleri ise Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Özgül ağırlık deneyi sonuçları

Deney No	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
1	1,780
2	1,779
3	1,784
4	1,776
5	1,778
6	1,784
7	1,770
8	1,724
9	1,783
10	1,771
Ortalama	1,773
Standart Sapma	0,017
Var. Katsayısı %	0,95

Yapılan deneyler sonucunda özgül ağırlık değerleri incelendiğinde CTP malzemesinin ortalama özgül ağırlık değeri 1,77g/cm³ olarak bulunmuştur. Numuneler arasındaki standart sapma değeri 0,017 ve varyasyon katsayısı ise % 0,95 gibi küçük değerlerde bulunmuştur. Bu sonuçlar deney güvenilirliği açısından oldukça tatmin edicidir.

4.1.6. Birim ağırlık deneyi

Özgül ağırlık deneyinde olduğu gibi 70×26×3,5mm'lik CTP kutu profilden alınan 10 adet numune üzerinde birim hacim ağırlığı deneyi yapılmıştır. Numunelerin ağırlığının ölçülmesi için Şekil 4.27'de gösterilen µm ölçüm duyarlılığında Arşimet terazisi kullanılmıştır. Hacmin bulunmasında ise dijital kumpas kullanılarak, 3 boyutu ölçülerek her numunenin hacmi bulunmuştur.

Hacim ve ağırlıkları bulunan numuneler formül 10 kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$\Delta = \frac{M}{V} \quad (10)$$

Δ : Birim Ağırlık (g/cm³)

M : Ağırlık (g)

V : Hacim (cm³)

Her bir numunenin birim ağırlık değerleri bulunarak Tablo 4.10'da belirtilmiş ve ortalama birim ağırlık değeri bulunmuştur.

Tablo 4.10. Birim ağırlık deneyi sonuçları

Deney No	Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Birim Ağırlık (g/cm ³)
1	2,43	1,38	1,76
2	2,72	1,55	1,75
3	2,5	1,43	1,74
4	2,44	1,39	1,75
5	2,43	1,38	1,76
6	2,44	1,39	1,74
7	2,47	1,41	1,74
8	2,44	1,4	1,73
9	2,44	1,4	1,73
10	2,45	1,41	1,73
Ortalama	2,48	1,41	1,75
Standart Sapma	0,09	0,05	0,01
Varyasyon Kat. %			0,57

Yapılan deneyler sonucunda birim ağırlık değerleri incelendiğinde CTP malzemesinin ortalama birim ağırlık değeri 1,75g/cm³ olarak bulunmuştur. Numuneler arasındaki standart sapma değeri 0,01 ve varyasyon katsayısı ise %0,57

gibi küçük değerlerde bulunmuştur. Bu sonuçlar deney güvenilirliği açısından oldukça tatmin edicidir.

4.1.7. Su emme deneyi

CTP malzemesinin su emme değerlerini bulabilmek için su emme deneyleri yapılmıştır. Özgül ağırlık deneyinde olduğu gibi profillerden küçük numuneler kesilerek deneye hazırlanmıştır. 70–26–3,5mm'lik profillerden kesilen 10 adet numune üzerinde su emme deneyi yapılmıştır.

Su emme deneyi, 20-20-3,5mm ebatlarında kesilen 10 adet numune hassas teraziye konularak önce kuru ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra bir su kabının içine konulan 10 adet numune 24 saat su içinde bekletilmiştir. 24 saat sonunda çıkarılan numunelerin yüzeyindeki nem silinerek her bir numunenin ağırlığı (su emdirilmiş ağırlığı) tartılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.11'te 10 adet numunenin kuru ağırlığı, su emdirilmiş ağırlığı ve ağırlıkça su emme yüzdesi belirtilmiştir.

Tablo 4.11. Su emme deney sonuçları

Numune No	P ₁	P ₂	S _a
1	2,44	2,45	0,25
2	2,44	2,45	0,32
3	2,51	2,51	0,24
4	2,45	2,45	0,15
5	2,46	2,47	0,32
6	2,45	2,45	0,18
7	2,44	2,44	0,16
8	2,73	2,73	0,25
9	2,44	2,45	0,39
10	2,47	2,48	0,26
S_a Ortalama	2,48	2,49	0,25
Standart Sapma	0,09	0,09	0,08

Deneylem sonucunda elde edilen verilerden formül 11 kullanılarak ağırlıkça su emme yüzde değeri ortalaması %0,25 olarak bulunmuştur.

$$S_a = \left[\frac{P_2 - P_1}{P_1} \right] \times 100 \quad (11)$$

P_1 : Kuru ağırlık

P_2 : Su emdirilmiş ağırlık

S_a : Ağırlık olarak su emme yüzdesi

4.2. Malzeme Özelliklerinin Nümerik Olarak Belirlenmesi

4.2.1. CTP profillerde reçine yakma metodu ile fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi

Bir kompozit malzemenin mekanik özelliklerini hesaplayabilmek için, içerisinde bulunan maddelerin, mekanik özelliklerinin ve hangi oranlarda bulunduğu bilinmesi gerekmektedir. Kompozit malzemenin üretim şekli ve tabaka kalınlıkları da mekanik özellikleri etkilemektedir. Bu bağlamda, 70×26×3,5mm ebatlarında kutu profilden alınan numunelerin reçine yakma metodu ile fiber ve matriks oranlarının bulunarak malzemenin mekanik özelliklerinin bulunması bize CTP malzeme ile ilgili daha gerçekçi ve somut bilgiler verecektir.

Reçine Yakma Metodu, fiber takviyeli kompozit malzemelerin fiber ve matriks oranlarının bulunması için yüksek ısı altındaki fırında yakılarak uygulanan bir metottür. Reçine yakma metodunda 1400 °C 'ye kadar ısı uygulanabilen ve otomatik zaman ayarlayıcısı mevcut fırın kullanılmıştır.

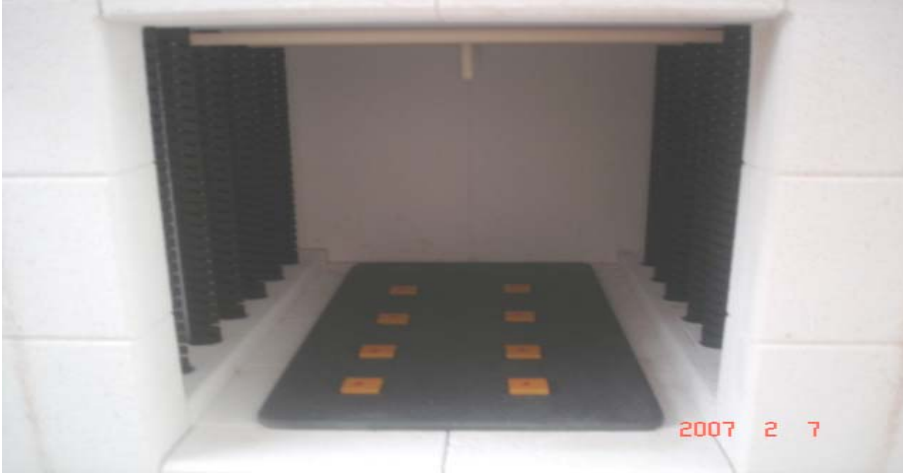
Reçine yakma metodunu bütün tabakada ve orta bölge için (tek yönlü fiber tabakası) olmak üzere iki ayrı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Böylece hem tüm numunedeki fiber ve matriks oranları hem de orta bölgedeki fiber ve matriks oranları bulunmuştur. Reçine yakma metodu ile bulunan sonuçlar kullanılarak malzemedeki ağırlıkça ve hacimce oranları bulunmuştur. Ayrıca bu veriler kullanılarak malzemenin mikro ve makro düzeyde analizi yapılarak malzeme özellikleri bulunmuştur.

Reçine yakma metodu ile tüm tabakadaki fiber ve matriks oranlarını belirlemek için 25×70×3,5mm ölçülerinde kesilerek hazırlanan 10 adet numune Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



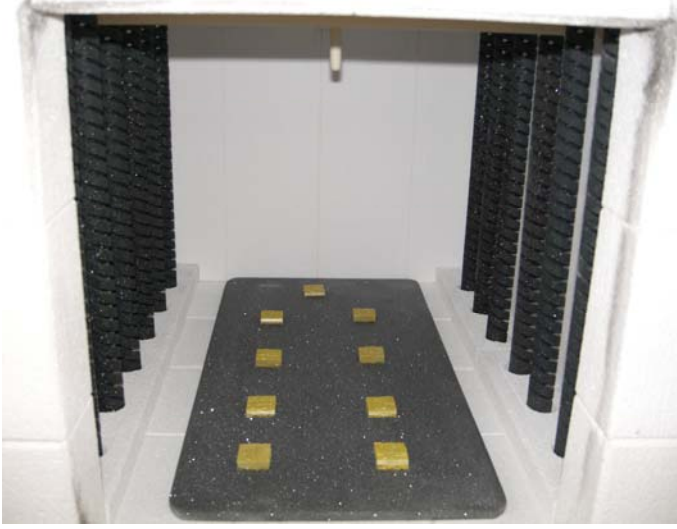
Şekil 4.28. Tüm tabakadaki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler

Hazırlanan numuneler 1400°C 'lik fırında, fiber ve matrikslerin ayrışması için 600°C 'lik ısı altında 2 saat süre ile bekletilmiştir. Tüm tabakadaki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için fırına konulan numuneler Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Tüm tabakadaki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için fırına konulan numuneler

Bu süre içerisinde matriks tamamen yanarak ayrılmış ve sadece fiberler kalmıştır. Isıl işlem sonucu fırındaki CTP numuneleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Isıl işlem sonucu fırındaki CTP numuneler

10 adet CTP numuneleri fırından çıkarıldıktan sonra keçe bölgesindeki ve orta bölgedeki fiber ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır.

Her bir numunenin ilk ağırlıklarından reçine yakma deney sonucu belirlenen keçe ve orta bölgedeki toplam fiber ağırlıkları çıkarılarak toplam matriks ağırlıkları bulunmuştur. CTP profile ait tüm tabakadaki ağırlıkça fiber ve matriks oranları Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. CTP profile ait tüm tabakadaki ağırlıkça fiber ve matriks oranları

Numune No		Numune Toplam Miktarı	Boyuna Fiber Miktarı	Keçedeki Fiber Miktarı	Toplam Matriks Miktarı
1	Ağırlık (gr)	2,43	1,2246	0,2732	0,946
	%	100	50,3951	11,2428	38,3621
2	Ağırlık (gr)	2,72	1,4048	0,2508	0,7847
	%	100	51,6471	9,2206	39,1324
3	Ağırlık (gr)	2,5	1,2985	0,2297	0,9791
	%	100	51,94	9,188	38,872
4	Ağırlık (gr)	2,44	1,2688	0,2109	0,9674
	%	100	52	8,6434	39,3566
5	Ağırlık (gr)	2,43	1,2558	0,236	0,9656
	%	100	51,679	9,7119	38,6091
6	Ağırlık (gr)	2,44	1,305	0,1874	0,9526
	%	100	53,4836	7,6803	38,8361
7	Ağırlık (gr)	2,47	1,3101	0,206	0,9239
	%	100	53,0405	8,3401	38,6194
8	Ağırlık (gr)	2,44	1,2857	0,204	1,2376
	%	100	52,6926	8,3607	38,9467
9	Ağırlık (gr)	2,44	1,2705	0,2375	0,9333
	%	100	52,0697	9,7336	38,1967
10	Ağırlık (gr)	2,45	1,3025	0,2091	0,9599
	%	100	53,1633	8,5347	38,302
Ortalama Ağırlık (gr)		2,476	1,29263	0,22446	0,9589
Ortalama (%)		100	52,2111	9,0656	38,7233
Stand. Sap.		0,08	0,05	0,02	0,11
Varyasyon (%)		3,38	3,48	10,87	10,88

Ağırlıkça elde edilen fiber ve matriks oranlarını hacimce oranlara dönüştürmek için elde edilen değerler fiber yoğunluğuna ($2,56\text{g/cm}^3$) ve matriksin yoğunluğuna ($1,24\text{g/cm}^3$) bölerek her bir numuneye ait tüm tabakadaki hacimce yüzde oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13. CTP profile ait tüm tabakadaki hacimce fiber ve matris oranları

Numune No		Numune Toplam Miktarı	Boyuna Fiber Miktarı	Keçedeki Fiber Miktarı	Toplam Matris Miktarı
1	Hacim (cm ³)	1,3369	0,4784	0,1067	0,7518
	%	100	35,78	7,98	56,23
2	Hacim (cm ³)	1,5051	0,5488	0,098	0,8584
	%	100	36,46	6,51	57,03
3	Hacim (cm ³)	1,3807	0,5072	0,0897	0,7837
	%	100	36,74	6,5	56,76
4	Hacim (cm ³)	1,3524	0,4956	0,0824	0,7744
	%	100	36,65	6,09	57,26
5	Hacim (cm ³)	1,3393	0,4905	0,0922	0,7566
	%	100	36,63	6,88	56,49
6	Hacim (cm ³)	1,3472	0,5098	0,0732	0,7642
	%	100	37,84	5,43	56,73
7	Hacim (cm ³)	1,3615	0,5118	0,0805	0,7693
	%	100	37,59	5,91	56,5
8	Hacim (cm ³)	1,3483	0,5022	0,0797	0,7664
	%	100	37,25	5,91	56,84
9	Hacim (cm ³)	1,3407	0,4963	0,0928	0,7516
	%	100	37,02	6,92	56,06
10	Hacim (cm ³)	1,3472	0,5088	0,0817	0,7568
	%	100	37,77	6,06	56,17
Ortalama Hacim (cm³)		1,3659	0,5049	0,0877	0,7733
Ortalama (%)		100	36,97	6,42	56,61
Stand. Sap. (%)		0,05	0,02	0,01	0,03
Varyasyon (%)		3,51	3,49	10,86	3,88

Profilden kesilerek elde edilen numuneler üzerinde uygulanan reçine yakma metodu ile elde edilen fiber ve matris oranları bütünü kapsamaktadır. Ancak malzemenin üretim tekniği gereği malzeme 3 ayrı tabakadan oluşmaktadır ve tabakaların özellikleri farklılık göstermektedir. Ayrıca mikro-makro analizlerde her tabakaya ait

fiber ve matriks hacim oranlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Her tabakaya ait fiber ve matriks oranlarını belirlemek için malzemenin iç ve dış tabakaları ayrılarak orta tabakaya (tek yönlü fiber) reçine yakma metodu uygulanmıştır.

Orta tabakadaki tek yönlü fiber ve matriks oranlarını belirlemek için 25x70x3,5mm ölçülerinde kesilerek hazırlanan 10 adet numune Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Orta bölgedeki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler

Fırına konulan numuneler, 2 saat süre ile 600°C’de ısıl işleme tabi tutularak reçinenin yanması sağlanmıştır. Isıl işlem sonucu fırındaki CTP numuneleri Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Orta tabaka için 600°C’lik ısıl işlem sonucu fırındaki CTP numuneleri

10 adet CTP numuneleri fırından çıkarıldıktan sonra malzeme kaybını engellemek için Şekil 4.33’de gösterildiği gibi naylon poşetlere konulmuştur.



Şekil 4.33. 600 °C’lik ısıl işlem sonucu fırından çıkarılan orta bölgedeki boyuna fiberler

Numuneler hassas terazide tartılarak kaydedilmiş ve daha sonra numunelerin ilk ağırlıklarından reçine yakma deney sonucu belirlenen fiber ağırlıkları çıkarılarak matriks ağırlıkları bulunmuştur.

Orta bölgedeki ağırlıkça % fiber ve matriks oranları 10 adet numune üzerinde yapılan reçine yakma metodu ile belirlenerek Tablo 4.14’de gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Orta bölgede ağırlıkça fiber ve matriks oranları

Numune No		Numune Toplam Miktarı	Boyuna Fiber Miktarı	Boyuna Matriks Miktarı
1	Ağırlık (gr)	5,8507	3,87	1,9807
	%	100	66,1459	33,8541
2	Ağırlık (gr)	7,3229	4,86	2,4629
	%	100	66,3671	33,6329
3	Ağırlık (gr)	7,6206	5,38	2,2406
	%	100	70,5981	29,4019
4	Ağırlık (gr)	5,5723	3,71	1,8623
	%	100	66,5793	33,4207
5	Ağırlık (gr)	6,9867	4,7	2,2867
	%	100	67,2707	32,7293
6	Ağırlık (gr)	7,2225	4,93	2,2925
	%	100	68,2589	31,7411
7	Ağırlık (gr)	7,6779	5,49	2,1879
	%	100	71,5039	28,4961
8	Ağırlık (gr)	7,1108	4,82	2,2908
	%	100	67,7842	32,2158
9	Ağırlık (gr)	7,5681	5,07	2,4981
	%	100	66,9917	33,0083
10	Ağırlık (gr)	6,8505	4,62	2,2305
	%	100	67,4403	32,5597
Ortalama Ağırlık (gr)		6,9783	4,745	2,2333
Ortalama (%)		100	67,894	32,106
Stand. Sap. (%)		0,69	0,55	0,18
Varyasyon (%)		9,84	11,49	8,21

Tek yönlü fiber içeren tabakaya ait (orta bölge) ağırlıkça fiber ve matriks oranlarını hacimce oranlara dönüştürmek için elde edilen değerler fiber yoğunluğuna ($2,56\text{g/cm}^3$) ve matriksin yoğunluğuna ($1,24\text{g/cm}^3$) bölerek her bir numuneye ait

hacimce yüzde oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.15. Orta bölgede hacimce fiber ve matriks oranları

Numune No		Numune Toplam Miktarı	Boyuna Fiber Miktarı	Boyuna Matriks Miktarı
1	Hacim (cm ³)	31,091	15,117	15,973
	%	100	48,62	51,38
2	Hacim (cm ³)	38,846	18,984	19,862
	%	100	48,87	51,13
3	Hacim (cm ³)	39,085	21,016	18,069
	%	100	53,77	46,23
4	Hacim (cm ³)	29,511	14,492	15,019
	%	100	49,11	50,89
5	Hacim (cm ³)	36,801	18,359	18,441
	%	100	49,89	50,11
6	Hacim (cm ³)	37,746	19,258	18,488
	%	100	51,02	48,98
7	Hacim (cm ³)	39,09	21,445	17,644
	%	100	54,86	45,14
8	Hacim (cm ³)	37,302	18,828	18,474
	%	100	50,47	49,53
9	Hacim (cm ³)	39,951	19,805	20,146
	%	100	49,57	50,43
10	Hacim (cm ³)	36,035	18,047	17,988
	%	100	50,08	49,92
Ortalama Hacim(cm³)		36,546	18,535	18,01
Ortalama (%)		100	50,63	49,37
Stand. Sap. (%)		3,34	2,13	1,48
Varyasyon (%)		9,13	11,49	8,21

4.2.2. Reçine yakma metodu sonuçlarına göre ağırlık ve hacim analizlerinin yapılması

Numunenin tamamını içeren reçine yakma ve sadece tek yönlü fiber içeren orta bölgedeki reçine yakma deney verileri esas alınarak her tabakaya ait fiber ve matriks hacim yüzdeleri belirlenmiştir. Tüm bölgedeki reçine yakma ve orta bölgedeki reçine yakma deney numunelerinin ağırlıkları farklı olduğu için orta bölgedeki reçine yakma metodu ile bulunan fiber ve matriks oranını tüm bölgedeki fiber ve matriks oranına çevirerek ağırlıkça fiber ve matriks oranı ile özgül ağırlıklarına bölerek hacim oranları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16. Reçine yakma metotlarına göre genel ağırlık ve hacim oranları

	Ağırlık	Ağırlık	Hacim	Hacim
	(gr)	(%)	(cm ³)	(%)
Orta bölgedeki elyaf miktarı	1,2926	52,21	0,50493	36,97
Keçedeki elyaf miktarı	0,2245	9,065	0,08768	6,419
Orta bölgedeki matriks miktarı	0,6084	24,57	0,49063	35,92
Keçedeki matriks miktarı	0,3505	14,16	0,28268	20,7
Toplam elyaf miktarı	1,5171	61,27	0,59261	43,39
Toplam matriks miktarı	0,9589	38,73	0,77331	56,61
Genel toplam	2,476	100	1,36592	100

Tablo 4.16’deki verilerden yararlanılarak fiber ve matriks hacim yüzdeleri bulunarak Tablo 4.17’de özetlenmiştir.

Tablo 4.17. Fiber ve matriks hacim yüzdeleri

	Tek Yönlü Fiber (Orta)	Rast. Dağ. Fiber (Üst)	Rast. Dağ. Fiber (Alt)
Fiber Hacim Yüzdesi (%)	50,72	23,67	23,67
Matriks Hacim Yüzdesi (%)	49,28	76,33	76,33
Toplam	100	100	100

4.2.3. Mikro ve makro mekanik analiz

Mikro ve makro mekanik analizlerle malzemeye ait teknik özellikleri belirleyebilmek için fiber ve matriks oranlarına, fiber matriks özelliklerine ve profile ait tabaka kalınlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit malzemeyi oluşturan fiber ve matriks hacim yüzdeleri reçine yakma metodu kullanılarak deneysel çalışmalardan elde edilmiştir (Tablo 4.17). CTP profil birleşim özellikleri Tablo 4.18’de, profili oluşturan fiber ve matriks malzeme özellikleri Tablo 4.19’da verilmiştir.

Tablo 4.18. Profil birleşim özellikleri

	Tek Yönlü (Orta)	Rast. Dağ. Üst (Keçe)	Rast. Dağ. Alt (Keçe)
Fiber Hacim Yüzdesi (Vf) %	50,72	23,67	23,67
Tabaka Kalınlığı (mm)	2,55	0,475	0,475

Tablo 4.19. Profil bileşenlerine ait özellikler

Malzeme	Elastik Modülü (kN/mm ²)	Kesme Modülü (kN/mm ²)	Poisson Oranı	Yoğunluk (g/cm ³)
E - Cam	72	29	0,25	2,56
Epoksi	3,5	1,6	0,35	1,24

4.2.3.1. Mikro mekanik analiz

Mikro mekanik analiz, kompozitteki elemanların ayrı ayrı ele alınarak yapılan inceleme olarak tanımlanabilir.

Düzgün lifli kompozitlerin mekanik özelliklerin belirlenmesi:

Özgül ağırlık;

Kompozit bir malzemenin özelliklerini tespit edebilmek için, her bileşenini incelemek gerekir. İlk olarak, özgül ağırlığı hesaplanır.

Özgül ağırlığı tanımlamak için, kompozitte (Δ_c), matrikste (γ_m) ve fiberde (γ_f) simgeleri kullanılmıştır. Bununla birlikte hacim için, matrikste (V_m) ve fiberlerde (V_f) simgeleri tanımlanmıştır. Kompozitin birim hacim ağırlığını hesaplamak için, tabaka kalınlıklarından kompoziti oluşturan keçenin ve tek yönlü (orta) tabakanın kalınlıklarına göre % hacim oranları Tablo 4.20'de bulunmuştur. Bulunan bu (%) hacimler ile keçenin ve tek yönlü (orta) tabakaların birim hacim ağırlıkları çarpılmıştır. Bulunan değerler toplanarak kompozitin birim hacim ağırlığı bulunmuştur.

Tablo 4.20. Tabaka kalınlıkları

	Tek Yönlü (Orta)	Rast. Dağ. (Toplam Keçe)	Toplam
Tabaka Kalınlığı (mm)	2,55	0,95	3,5
Tabaka Kalınlığı (%)	72,89	27,11	100

$$\Delta_c = [\%27,11 \times \Delta_{keçe}] + [\%72,89 \times \Delta_{orta}] \quad (12)$$

$$\Delta_{keçe} = \gamma_m \times V_m + \gamma_f \times V_f$$

$$\Delta_{keçe} = [1,24 \times (1 - 0,2367) + 2,56 \times 0,2367]$$

$$\Delta_{keçe} = 0,946 + 0,606$$

$$\Delta_{keçe} = 1,552 \text{ g / cm}^3$$

$$\Delta_{orta} = \gamma_m \times V_m + \gamma_f \times V_f$$

$$\Delta_{orta} = [1,24 \times (1 - 0,5072) + 2,56 \times 0,5072]$$

$$\Delta_{orta} = 0,611 + 1,298$$

$$\Delta_{orta} = 1,909 \text{ g / cm}^3$$

$$\Delta_c = [0,27,11 \times \Delta_{kece}] + [0,72,89 \times \Delta_{orta}]$$

$$\Delta_c = [0,2711 \times 1,552] + [0,7289 \times 1,909]$$

$$\Delta_c = 0,42 + 1,391$$

$$\Delta_c = 1,811 \text{ g / cm}^3$$

Takviye eksenine paralel yöndeki elastik modülü (Voigt modeli);

Voigt modelinin özelliği, malzemenin paralel bağlı yay cisimleri şeklinde olduğu kabulüdür. Bu modelde, her iki fazın da (fiber ve matriks), gerilme karşısında aynı şekilde elastik deformasyon yaptığı öngörülmektedir.

Bunun sonucu olarak, kompozitin elastik modülüne (E_c) dersek, matriks için (E_m), fiber için (E_f) ve hacim oranları için de fibere (V_f), matriks için ($1-V_f$) kullanılabilir. Bu notasyonlardan hareketle, denklem 13 elde edilir. Bu denklem, Voigt Modeli kullanılarak elde edildiği için, $E_c = E_{11} = E_x$ olarak ta tanımlanabilir. Bu modeli kullanabilmek için, bağlayıcı malzeme olan matriksin elastik modülü, fiberlerin elastik modülünden küçük olması gerekir ($E_m < E_f$).

$$E_x = E_m \times (1 - V_f) + E_f \times V_f \quad (13)$$

$$E_m = 3,5 \text{ kN / mm}^2$$

$$E_f = 72 \text{ kN / mm}^2$$

$$V_m = 0,4928 \quad V_f = 0,5072$$

$$E_x = E_m \times (1 - V_f) + E_f \times V_f$$

$$E_x = 3,5 \times 0,4928 + 72 \times 0,5072$$

$$E_x = 38,2432 \text{ kN / mm}^2$$

Takviye Eksenine Dik Yöndeki Elastik Modülü (Reussel Modeli);

Bu model, kompoziti oluşturan matriks ve fiberlerin, kuvvet altında farklı şekil değiştirmeleri durum göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Bu model, seri bağlı yaylar modeli ile açıklanabilir. Bunun sonucu olarak, kompozitin elastik modülüne (E_c) dersek, matriks için (E_m), fiber için (E_f) ve hacim oranları için de fibere (V_f),

matrikste $(1-V_f)$ kullanılabilir. Bu notasyonlardan hareketle, denklem 14 yazılır. Bu denklem, Reussel Modeli sayesinde elde edildiği için $E_c = E_{22} = E_y$ olarak ta tanımlanabilir.

Bu modeli kullanabilmek için, bağlayıcı malzeme olan matriksin elastik modülü, fiberlerin elastik modülünden küçük olması gerekir ($E_f < E_m$).

$$\frac{1}{E_y} = \frac{1-V_f}{E_m} + \frac{V_f}{E_f} \Rightarrow E_y = \frac{E_f \times E_m}{E_f \times V_m + E_m \times V_f} \quad (14)$$

$$E_y = \frac{E_f \times E_m}{E_f \times V_m + E_m \times V_f}$$

$$E_y = \frac{72 \times 3,5}{72 \times 0,4928 + 3,5 \times 0,5072}$$

$$E_y = 6,764 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

Kesme Modülü ve Poisson Oranı Hesabı;

Malzemenin kesme modülü (G_{xy}) ve poisson oranı (v_{xy}), kompozitteki liflerin ve matriks elemanının hacmi ile doğru orantılıdır. Bu bilgiden yola çıkarak, kesme modülü için denklem 15 ve poisson oranı için de denklem 16 kullanılır.

$$G_{xy} = \frac{G_f \times G_m}{V_f \times G_m + (1-V_f) \times G_f} \quad (15)$$

$$G_f = 29 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$G_m = 1,6 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$G_{xy} = \frac{29 \times 1,6}{0,5072 \times 1,6 + 0,4928 \times 29}$$

$$G_{xy} = 3,072 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$v_{xy} = v_f \times V_f + v_m \times (1-V_f) \quad (16)$$

$$v_f = 0,25$$

$$v_m = 0,35$$

$$v_{xy} = v_f \times V_f + v_m \times (1 - V_f)$$

$$v_{xy} = 0,25 \times 0,5072 + 0,35 \times 0,4928$$

$$v_{xy} = 0,299$$

Dağılık lifli kompozitlerin mekanik özellikleri:

Rast gele dağıtılmış üst keçenin mekanik özellikleri;

Dağılık ve süreksiz liflerle oluşturulmuş kompozitlerin, mekanik özelliklerini bulmak için, tek başlarına Voigt ya da Reussel modeli yeterli değildir. Bunun için, iki model birleştirilerek, denklem 17 ile malzemenin elastik modülü, denklem 18 ile kesme modülü ve denklem 19 ile poisson oranı hesaplanır ($E_x = E_{11}$), ($E_y = E_{22}$).

$$E_x = E_m \times (1 - V_f) + E_f \times V_f$$

$$E_m = 3,5 \text{ kN} / \text{mm}^2 \quad E_f = 72 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$V_m = 0,7633 \quad V_f = 0,2367$$

$$E_x = E_m \times (1 - V_f) + E_f \times V_f$$

$$E_x = 3,5 \times 0,7633 + 72 \times 0,2367$$

$$E_x = 19,71 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$\frac{1}{E_y} = \frac{1 - V_f}{E_m} + \frac{V_f}{E_f} \Rightarrow E_y = \frac{E_f \times E_m}{E_f \times V_m + E_m \times V_f}$$

$$E_y = \frac{72 \times 3,5}{72 \times 0,7633 + 3,5 \times 0,2367}$$

$$E_y = 4,517 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$E_{xy} = \frac{3}{8} E_x + \frac{5}{8} E_y \quad (17)$$

$$E_{xy} = \frac{3}{8}E_x + \frac{5}{8}E_y$$

$$E_{xy} = \frac{3}{8} \times 19,71 + \frac{5}{8} \times 4,517$$

$$E_{xy} = 10,21 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$G_{xy} = \frac{1}{8}E_x + \frac{1}{4}E_y \quad (18)$$

$$G_{xy} = \frac{1}{8}E_x + \frac{1}{4}E_y$$

$$G_{xy} = \frac{1}{8} \times 19,71 + \frac{1}{4} \times 4,517$$

$$G_{xy} = 3,593 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$v_{xy} = \frac{E_{xy}}{2 \times G_{xy}} - 1 \quad (19)$$

$$v_{xy} = \frac{E_{xy}}{2 \times G_{xy}} - 1$$

$$v_{xy} = \frac{10,21}{2 \times 3,593} - 1$$

$$v_{xy} = 0,42$$

Rast gele Dağıtılmış Alt Keçenin Mekanik Özellikleri;

Rast gele dağıtılmış alt tabaka kalınlığı üst tabaka kalınlığına eşit olduğundan dolayı rast gele dağıtılmış üst keçenin mekanik özellikleri ile aynıdır.

$$E_{xy} = 10,21 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$G_{xy} = 3,593 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$v_{xy} = 0,42$$

Makro mekanik analiz:

Makro mekanik, kompozitteki elemanların bir bütün olarak ele alıp tek bir malzemeymiş gibi incelenmesidir. Makro mekanik hesaplarda kullanılan temel veriler, mikro mekanik ile hesaplanan değerlerdir. Fakat mikro mekanik değerlerine ek olarak, malzemelerin her tabakasına ait kalınlıklarında bilinmesi gerekir. Makro mekanik hesaplar, matriks yöntemi ile çözülür.

Bir malzemeye temel olarak, iki çekme ve bir kesme kuvveti etki etmektedir. Bu durumdan dolayı 3×3 'lük bir matriks kullanılmaktadır.

$$\sum Q_{11} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{E_x}{1 - \nu_{xy} \times \nu_{yx}} \right)_k \times t_k \quad (20)$$

$$\sum Q_{11} = 118,92 kN / mm^2$$

$$\sum Q_{22} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{E_y}{1 - \nu_{xy} \times \nu_{yx}} \right)_k \times t_k \quad (21)$$

$$\sum Q_{22} = 30,75 kN / mm^2$$

$$\sum Q_{12} = \sum Q_{21} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{E_y \times \nu_{xy}}{1 - \nu_{xy} \times \nu_{yx}} \right)_k \times t_k \quad (22)$$

$$\sum Q_{12} = \sum Q_{21} = 10,64 kN / mm^2$$

$$\sum Q_{33} = \sum_{k=1}^N (G_{xy})_k \times t_k \quad (23)$$

$$\sum Q_{33} = 11,24 kN / mm^2$$

$$A = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \sum Q_{11} & \sum Q_{12} & 0 \\ \sum Q_{21} & \sum Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sum Q_{33} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \text{ veya } \bar{\sigma} = \bar{Q} \bar{E} \quad (24)$$

Yukarıdaki 21, 22, 23 ve 24 denklemleri kullanılarak bulunan değerler, A matrisinde (denklem 20) yerine konularak denklem 25'deki gibi oluşan matrisin tersi alınmıştır.

$$A = \begin{vmatrix} 118,92 & 10,64 & 0 \\ 10,64 & 30,75 & 0 \\ 0 & 0 & 11,24 \end{vmatrix}$$

$$\bar{A} = \frac{1}{\det A} \times Ek(A) \quad (25)$$

$$\det(A) = 39851,18$$

$$Ek(A) = \begin{vmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{vmatrix}$$

$$A_{11} = 345,837$$

$$A_{12} = -119,717$$

$$A_{13} = 0$$

$$A_{21} = -119,717$$

$$A_{22} = 1337,588$$

$$A_{23} = 0$$

$$A_{31} = 0$$

$$A_{32} = 0$$

$$A_{33} = 3542,884$$

$$Ek(A) = \begin{vmatrix} 345,837 & -119,717 & 0 \\ -119,717 & 1337,588 & 0 \\ 0 & 0 & 3542,884 \end{vmatrix}$$

$$\det(A) = 39851,18$$

$$\frac{1}{\det(A)} = \frac{1}{39851,18}$$

$$\bar{A} = \frac{1}{\det A} \times Ek(A)$$

$$\bar{A} = \begin{vmatrix} \frac{345,837}{39851,18} & -\frac{119,717}{39851,18} & 0 \\ \frac{119,717}{39851,18} & \frac{1337,588}{39851,18} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3542,884}{39851,18} \end{vmatrix}$$

$$\bar{A} = \begin{vmatrix} 0,008678 & -0,003 & 0 \\ -0,003 & 0,033565 & 0 \\ 0 & 0 & 0,088903 \end{vmatrix}$$

$$\bar{A} = S = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,008678 & -0,003 & 0 \\ -0,003 & 0,033565 & 0 \\ 0 & 0 & 0,088903 \end{vmatrix} \quad \text{veya}$$

$$\bar{\varepsilon} = \bar{S} \bar{\sigma}$$

Matriksin tersini alındıktan sonra, bulunan S değerlerinden yararlanarak, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini denklem 26, 27, 28 ve 29 kullanarak hesaplanmıştır.

Boyuna Elastik Modülü (E_x) ;

$$E_x = \frac{1}{S_{11} \times \sum t} \quad (26)$$

$$E_x = \frac{1}{S_{11} \times \sum t}$$

$$E_x = 32,923 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

Enine Elastik Modülü (E_y) ;

$$E_y = \frac{1}{S_{22} \times \sum t} \quad (27)$$

$$E_y = \frac{1}{S_{22} \times \sum t}$$

$$E_y = 8,512kN / mm^2$$

Kayma Modülü (G_{xy}) ;

$$G_{xy} = \frac{1}{S_{33} \times \sum t} \quad (28)$$

$$G_{xy} = 3,213kN / mm^2$$

Poison Oranı (ν) ;

$$\nu = -(S_{12} \times E_x \times \sum t) \quad (29)$$

$$\nu = -(-0,00328 \times 28,66 \times 3,5)$$

$$\nu = 0,346$$

4.3. Reçine Yakma Metodu ve Üretici Firma Verilerine Göre CTP Profillerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Reçine yakma metoduna göre bulunan ve üretici firmadan alınan fiber, matriks hacim yüzdeleri ve tabaka kalınlıklarına göre kıyaslanarak Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21. Reçine yakma metoduna ve üretici firma verilerine göre fiber, matriks hacim yüzdeleri ile tabaka kalınlıkları

	Tek Yönlü Fiber (Orta)		Rast. Dağ. Fiber (Üst)		Rast. Dağ. Fiber (Alt)	
	Reçine Yakma	ESA	Reçine Yakma	ESA	Reçine Yakma	ESA
Fiber Hacim Yüzdesi (%)	50,72	51,8	23,67	17	23,67	17
Matriks Hacim Yüzdesi (%)	49,28	48,2	76,33	83	76,33	83
Tabaka kalınlıkları (cm)	2,55	2,2	0,475	0,65	0,475	0,65

Tablo 4.22’de görüldüğü gibi reçine yakma metodu ile bulunan verilerin üretici firma verilerine göre daha yüksek olması (fiber yüzdesi fazla) ile gerçekte CTP’ nin mekanik özelliklerinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

70×26×3,5 mm CTP kutu profilinin, Tablo 4.21’deki veriler esas alınarak yapılan nümerik analiz sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22. Reçine yakma ve üretici firma verilerine göre CTP mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Reçine Yakma Metoduna Göre	ESA Verilerine Göre
Ex (kN/mm ²)	32,923	28,67
Ey (kN/mm ²)	8,512	7,13
Gxy (kN/mm ²)	3,213	2,76
√xy	0,346	0,33

4.4. Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

Yapılan bu çalışmalarda pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerinin mekanik özellikleri öncelikle 4.1.Deneysel Çalışmalar, kısmında açıklandığı gibi deneysel olarak daha sonra ise 4.2.Mekanik Özelliklerin Teorik Olarak Belirlenmesi, bölümünde belirtildiği gibi nümerik olarak bulunmuştur. Bu bölümde, nümerik hesaplamalar ile deneysel çalışmalar arasında karşılaştırmalar yapılarak deneysel sonuçların nümerik hesaplamalar ile ne kadar yaklaşımla belirlenebileceği incelenmiştir.

Tablo 4.23’de yapılan deneysel ve nümerik çalışmaların karşılaştırma ve yüzde olarak yaklaşım değerleri verilmiştir.

Tablo 4.23. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

	Nümerik Hesap	Deneysel Sonuçlar	Karşılaştırma
			(%)
Birim Ağırlık (Δ) (g/cm ³)	-	1,749	
Özgül Ağırlık (γ) (g/cm ³)	1,811	1,773	97,9
Su Emme (Ağırlıkça) (S_a) (%)	-	0,25	
Elastisite Modülü (E_x) (kN/mm ²)	32,923	29,54	89,72
Elastisite Modülü ($E_{y,z}$) (kN/mm ²)	8,512	7,87	92,46
Poison Oranı ($\nu_{x,y,z}$)	0,346	0,34	98,27
Isı Genleşme Katsayısı (λ) (1/°C)	-		
Kayma Modülü ($G_{x,y,z}$) (kN/mm ²)	3,213	-	
Çekme gerilmesi (σ_x) (kN/mm ²)	-	0,587	
Çekme gerilmesi ($\sigma_{y,z}$) (kN/mm ²)	-	0,032	
Eğilme Gerilmesi (kN/mm ²)	-	0,560	

Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde Özgül ağırlığın nümerik hesap sonucu ile deneysel çalışmalar sonucu arasında %97,90’lık bir uyum vardır. Lif doğrultusuna paralel (E_x) yöndeki elastisite modülünde nümerik hesap ile deneysel çalışmalar

sonucu arasında %89,72'lik, lif doğrultusuna dik ($E_{y,z}$) yöndeki elastisite modülünde ise bu oran %92,46'lık uyum vardır. Poisson oranının belirlenmesinde nümerik hesap ile deneysel sonuç arasında %98,27'lik yakınlık vardır.

Tüm karşılaştırma sonuçları incelendiğinde Özgül ağırlık, lif doğrultusuna paralel (E_x) yöndeki elastisite modülü, lif doğrultusuna dik ($E_{y,z}$) yöndeki elastisite modülü ve poisson oranı verilerinde yüksek oranda yakınlık elde edilmiştir.

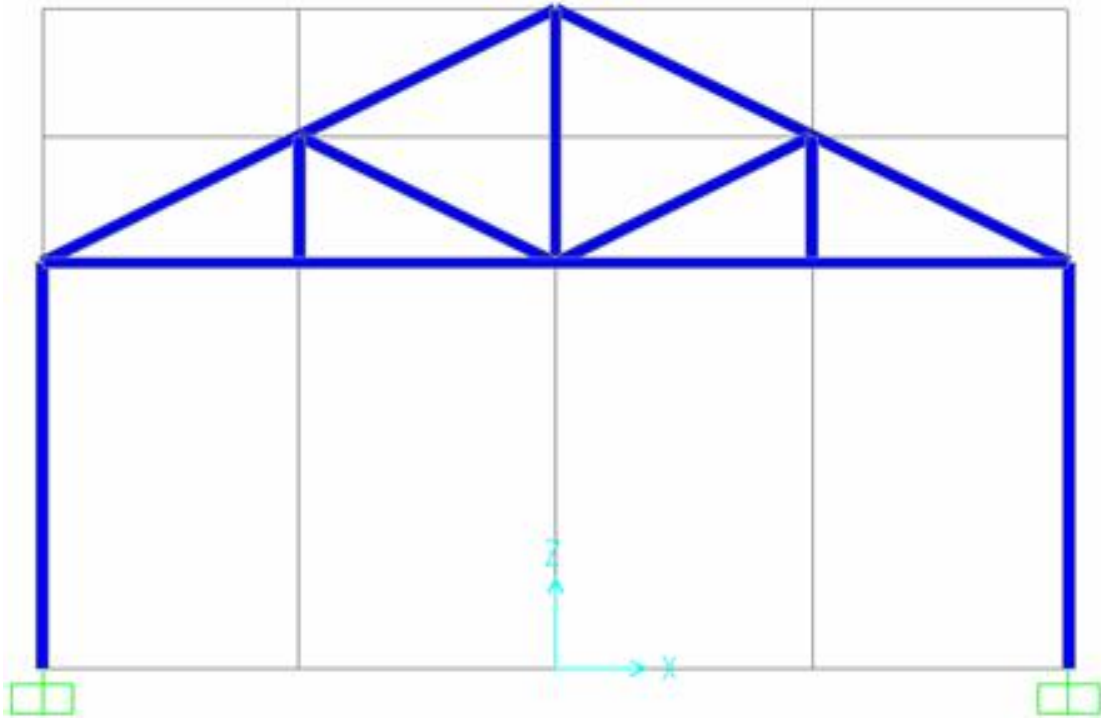
BÖLÜM 5. BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODEL SERANIN TASARIMI

Sera hangi malzeme ile inşaa edilirse edilsin (CTP, çelik, ahşap veya betonarme gibi) genel olarak bütün seralardan beklenenlerin başında, statik ve dinamik (rüzgar ve deprem) yüklere karşı dayanım, hafiflik, yapım süresinin kısalığı ve kullanım amacına uygun olmasıdır.

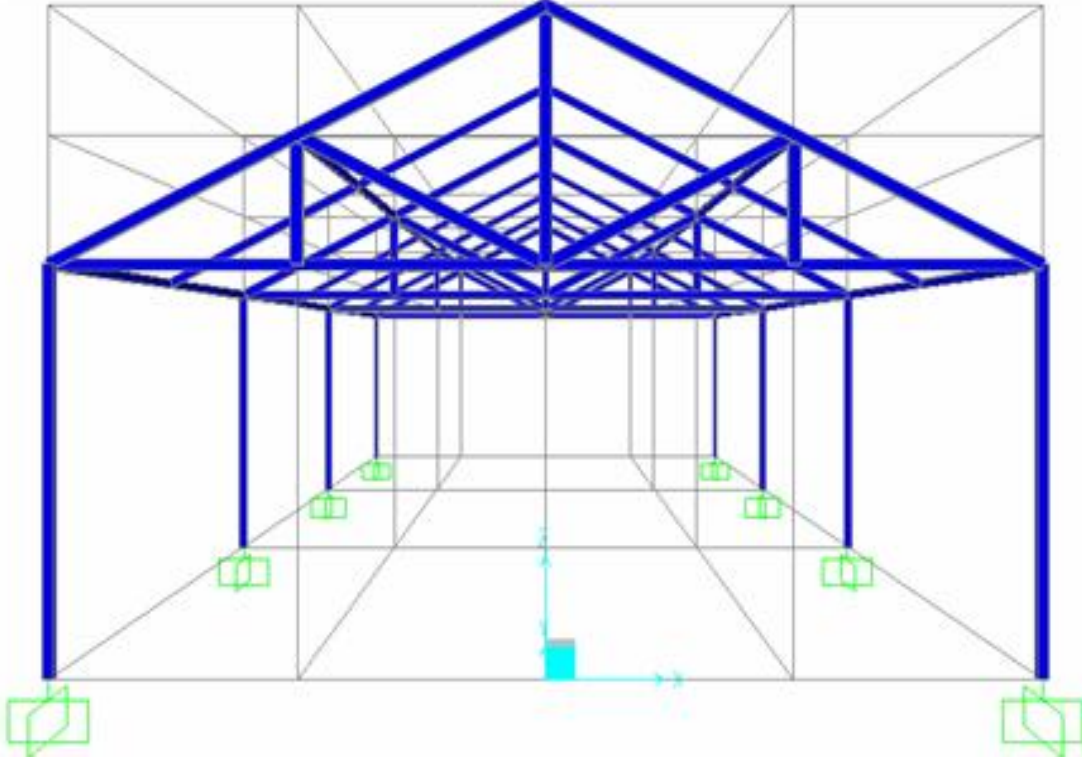
Raporun bu aşamasında, bütün bu nitelikleri içeren bir sera projelendirilmiştir. Projelendirilen sera modelinin özellikleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Tasarlanan seranın (Şekil 5.1), SAP2000 programı kullanılarak bilgisayar ortamında analizleri yapılmıştır.

Tablo 5.1. Tasarlanan sera modelinin özellikleri

Sera İpi	Çatı Makaslı Blok Sera
Sera Yapı Malzemesi	CTP Kutu Profil
Sera Genişliği	6,00m
Sera Uzunluğu	12,00m
Sera Uzunluk Yönündeki Kolonlar Arası Mesafe	4,00m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40m
Sera Çatı Eğim Açısı	26°
Sera Mahya Yüksekliği	3,90m
Su Basman Duvar Yüksekliği	0,20m
Sera Alanı	72,00m ²
Sera modelindeki kolon sayısı	8
Sera Örtü Malzemesi	3,50mm’lik Plastik
Mertek Aralığı	2,00m
Ekleme ve Bağlantılar	Rijit kabul edilmiştir

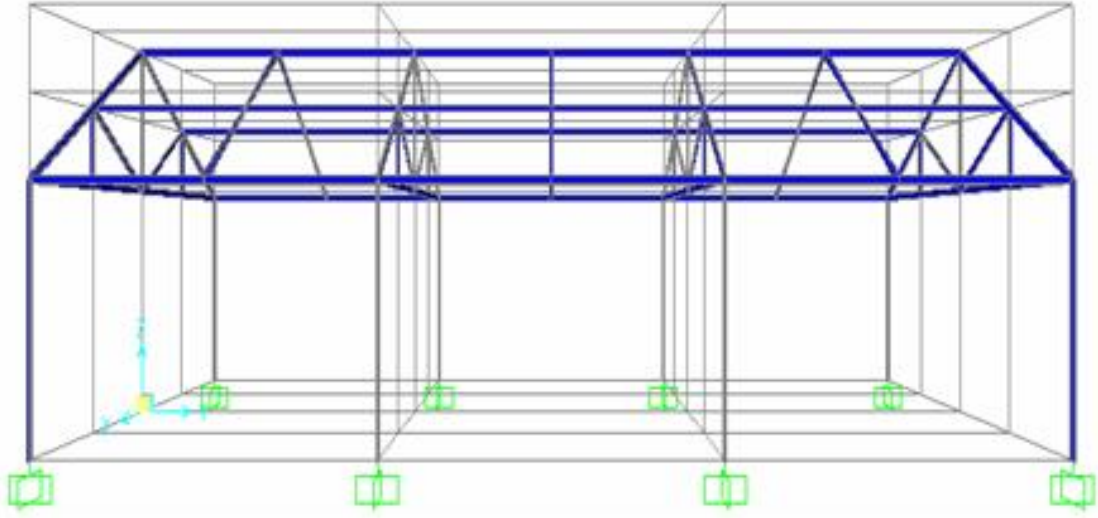


Model sera ön cephe görünüşü

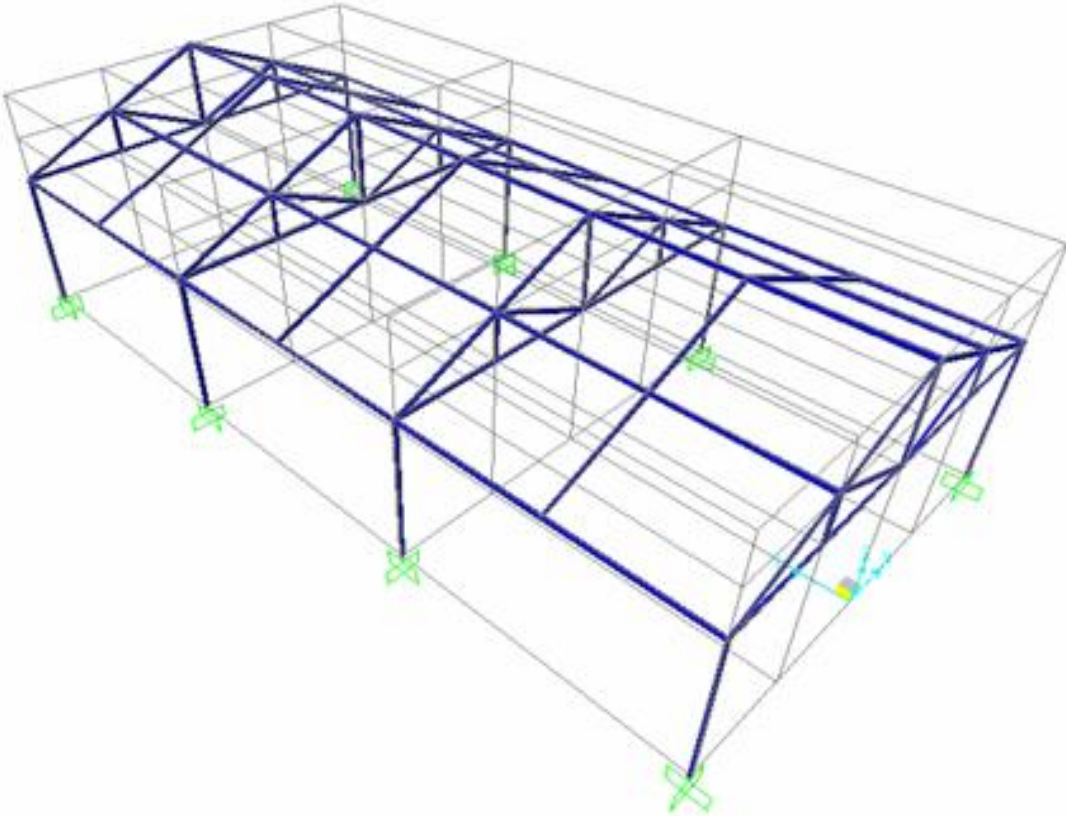


Model sera ön cephe perspektif görünüşü

Şekil 5.1. Model sera perspektif ve görünüşleri

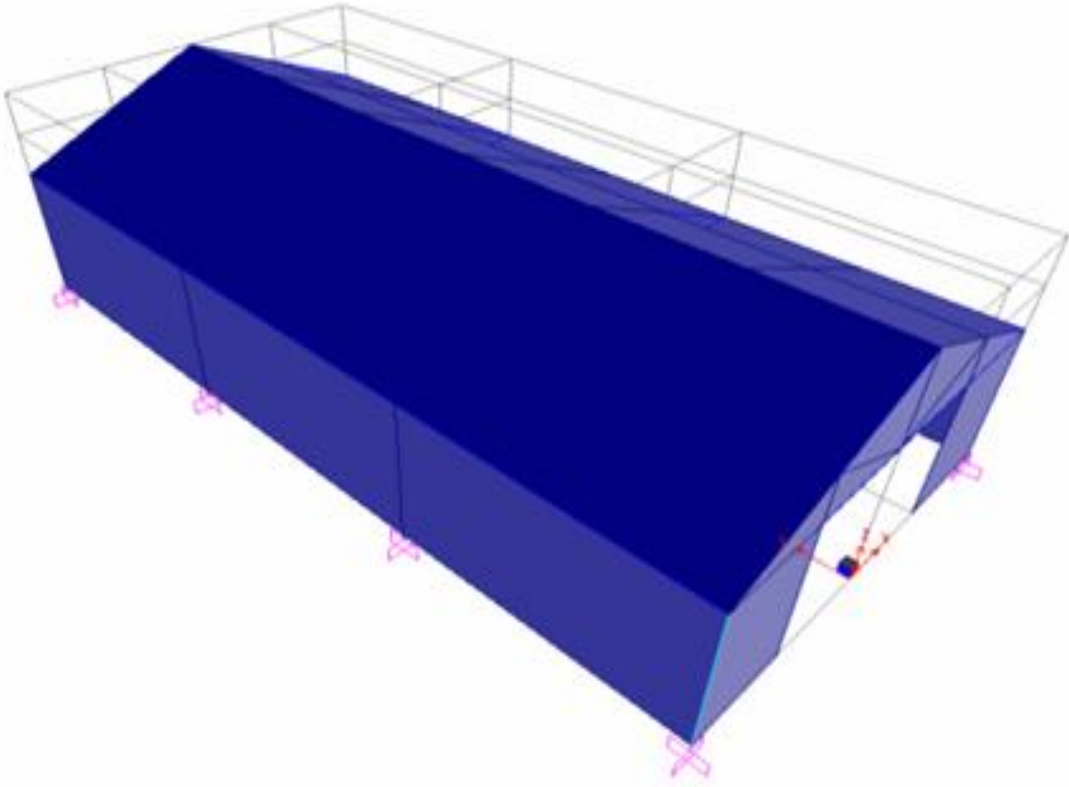


Model sera yan perspektif görünüşü

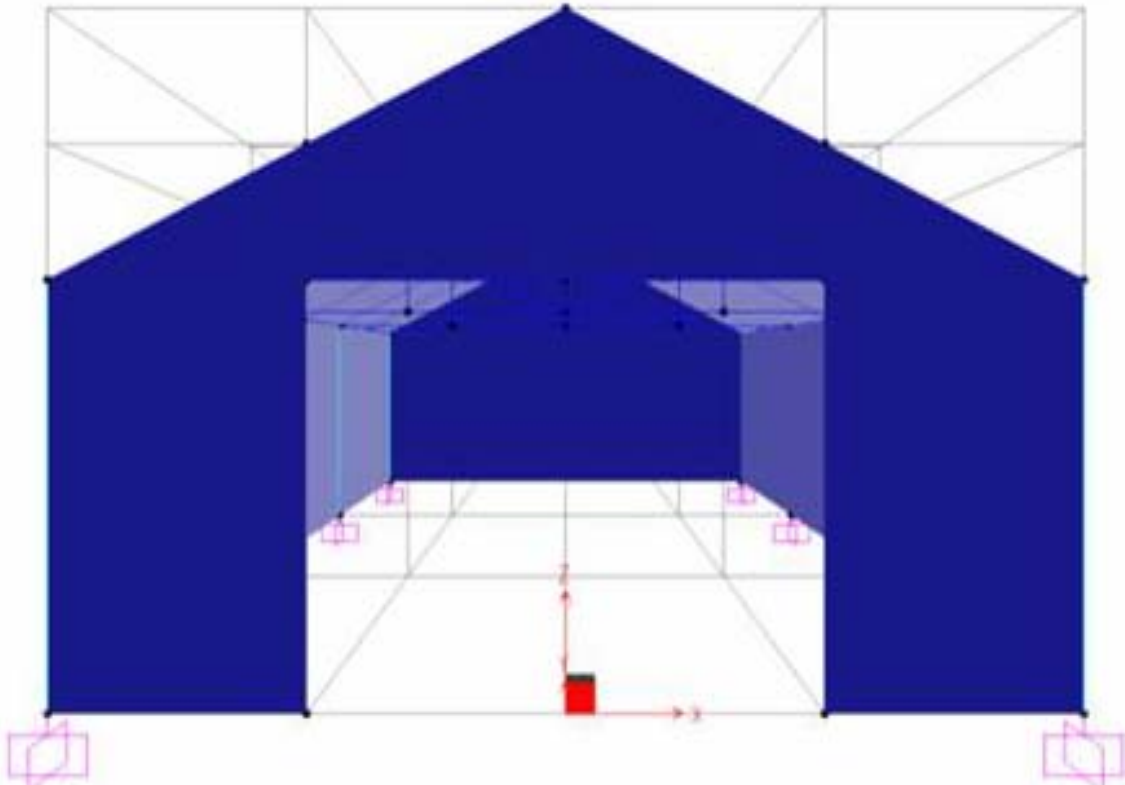


Model sera 3 boyutlu perspektif görünüşü

Şekil 5.1. Devam



Model sera örtülü perspektif görünüşü



Model sera örtülü ön cephe perspektif görünüşü

Şekil 5.1. Devam

5.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

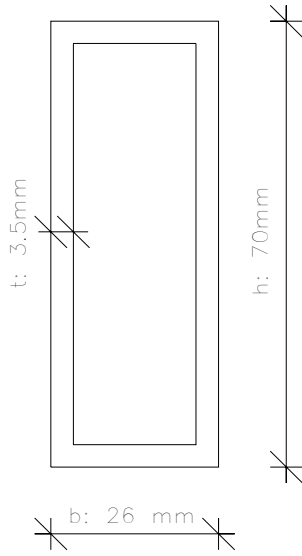
Hesaplarda kullanılan çelik malzemenin kayma gerilmesi TS 648 [40]'den diğer mekanik değerleri [SAP2000] programındaki verilerden yararlanılarak yapılmıştır. Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillere ait kayma emniyet değeri literatürden [41], diğer mekanik özellikler; malzeme üzerinde yapılmış deneysel ve analitik çalışmalardan alınmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 5.2'de özetlenmiştir.

Tablo 5.2. Malzeme mekanik özellikleri

	ÇELİK	CTP
Birim hacim ağırlık (Δ) (g/cm^3)	7,849	1,749
Özgül Ağırlık (γ) (g/cm^3)	7,849	1,773
Su emme Yüzdesi (Ağırlıkça) (S_a) (%)	0	0,25
Elastisite Modülü (E_x) (kN/cm^2)	20594	2954
Elastisite Modülü ($E_{y,z}$) (kN/cm^2)	20594	787
Poison Oranı ($\nu_{x,y,z}$)	0,30	0,34
Isı Gen. Katsayısı ($T_{x,y,z}$) ($1/^\circ C$)	$1,17 \times 10^{-5}$	$5,118 \times 10^{-6}$
Kayma Modülü ($G_{x,y,z}$) (kN/cm^2)	7690,31	321,3
Kayma Gerilmesi (kN/cm^2)	8,153	8,28
Kayma Gerilmesi $\tau_{y,z}$ (kN/cm^2)	8,153	6,44
Çekme Gerilmesi (kN/cm^2)	24,82	54,57
Eğilme Gerilmesi (kN/cm^2)	-	56,06

5.2. Model Sera Hesabı

Model sera, çelik ve CTP malzemeler kullanılarak ayrı ayrı modellenmiş, etkiyen yükler hesaplanmış ve dinamik analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Model seradaki yapı elemanlarının tamamı için (kolonlar, aşıklar, çatı üst başlıkları, çatı alt başlıkları, çatı dikme elemanları ve çatı diyagonal elemanları) 70x26x3,5mm ebatlarında kutu profil seçilmiştir (Şekil 5.2, Tablo 5.3).



Şekil 5.2. Örnek profil kesitinin gösterimi

Tablo 5.3. Kullanılan profile ait kesit özellikleri

Malzeme Adı	F (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	W _x (cm ³)	W _y (cm ³)	i _x (cm)	i _y (cm)
CTP kutu profil (Şekil 5.2)	6,23	34,73	6,65	8,67	4,1	2,36	1,03
F = Alan		I = Atalet Momenti		W = Mukavemet Momenti			
i = Atalet Yarı Çapı							

5.2.1. Zemin değerleri ve hesabı

Model seranın dinamik analizlerinde 1.deprem bölgesi, zemin sınıfı olarak ta Z4 seçilmiştir (Tablo 5.4 ve 5.5). Ayrıca ivme ölçek katsayısı hesaplanmış olup bulunan bütün değerler Tablo 5.6'da özetlenmiştir.

Tablo 5.4. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A₀)

Deprem Bölgesi	A ₀
1	0,4
2	0,3
3	0,2
4	0,1

Tablo 5.5. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Tablo 5.6. Zemin Değerleri

Bölge	1. Deprem Bölgesi: $A_0= 0,4$
İvme Spektral Katsayısı	$0,4 \times 9,81 = 3,924$
Ölçek Katsayısı (Kombinasyon)	$1 / 7 = 0,1429$
Zemin Sınıfı	Z4 $T_A= 0,2$ $T_B= 0,9$

5.2.2. Yük hesabı

Tasarımı yapılan serada yük hesabı, Tablo 5.7’de yük cinslerine göre yük miktarları belirtilerek model sera üzerindeki verilere göre teorik yük hesabı yapılmıştır.

Tablo 5.7. Yük miktarları [1]

Yük Cinsi	Yük Miktarı
Kar Yüğü (Çatı için Hareketli Yüğü)	0,661 kN/m ²
Çatı Kaplaması (Ölü Yüğü)(3,5mm kalınlıkta CTP)	0,061 kN/m ²
Rüzgar	0,40 kN/m ²
Zati	Malzemeye Göre
Deprem	Tablo 5.7 ve Şekil 5.3

5.2.2.1. Kar yüğü hesabı

Aşıklara gelen kar yüğü;

$$W_k = W_s \times \cos \alpha \quad (30)$$

$$W_k = W_s \times \cos \alpha$$

$$W_k = 75 \times 0,899$$

$$W_k = 67,425 \text{ kg} / \text{m}^2$$

$$W_k = 0,661 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$W_k = \text{Karın çatıya yaptığı yük miktarı (kg/m}^2\text{)}$$

$W_s =$ Denizden yüksekliği 1000m'den az olan yerler için 75 kg/m² [1].

$$A = 3,354m \times 2m$$

$$A = 6,708m^2$$

$$Q = \frac{0,661kN / m^2 \times 6,708m^2}{3,354m}$$

$$Q = 1,322kN / m$$

5.2.2.2. Rüzgar yükü

Rüzgar yükü olarak hesap edilecek değer yapının yüksekliğine, yapının bulunduğu coğrafi konuma ve geometrik yapısına göre kategorilere ayrılarak tanımlanmıştır. Buna göre yapıya etkiyen rüzgar yükü çatı ve kolonlar olarak iki kısımda hesaplanacaktır [1].

Çatı makaslarına gelen rüzgar yükü;

Hesaplar, yapının ortasındaki çatı makası için yapılmış, dış taraflarda kalan iki çatı makası için bu yük değerinin yarısı alınmıştır.

$$W_{bas.} = (1,2 \times \sin \alpha - 0,4) \times q \quad (31)$$

$$W_{çek.} = -0,4 \times q \quad (32)$$

$$\alpha = 26^\circ$$

$$W_{bas.} = (1,2 \times \sin 26^\circ - 0,4) \times 0,40m^2$$

$$W_{bas.} = 0,126 \times 0,40 = 0,0504kN / m^2$$

$$W_{çek.} = -0,4 \times 0,40m^2$$

$$W_{çek.} = -0,16kN / m^2$$

$$A = 3,354m \times 4m$$

$$A = 13,416m^2$$

$$W_b = \frac{0,0504kN / m^2 \times 13,416m^2}{3,354m} = 0,2016kN / m$$

$$W_c = \frac{0,16kN / m^2 \times 13,416m^2}{3,354m} = 0,640kN / m$$

Kolonlara gelen rüzgar yükü;

Hesaplar, yapının ortasındaki kolonlar için yapılmış, dış taraflarda kalan iki kolon için bu yük değerinin yarısı alınmıştır.

$$W_b = 0,8 \times q \quad (33)$$

$$W_b = 0,8 \times 0,40kN / m^2 = 0,32kN / m^2$$

$$W_c = -0,4 \times q \quad (34)$$

$$W_c = -0,4 \times 0,40kN / m^2 = -0,16kN / m^2$$

5.2.2.3. Zati yük

Çatı kaplama elemanlarından gelen yükler aşağıdaki gibi hesaplanmış, taşıyıcı elemanların ağırlıkları ise SAP2000 programı tarafından hesaplanmakta ve eklenmektedir.

Aşıklara gelen kaplama yükü;

$$A = 3,354m \times 2m$$

$$A = 6,708m^2$$

$$Q = \frac{0,061kN / m^2 \times 6,708m^2}{3,354m}$$

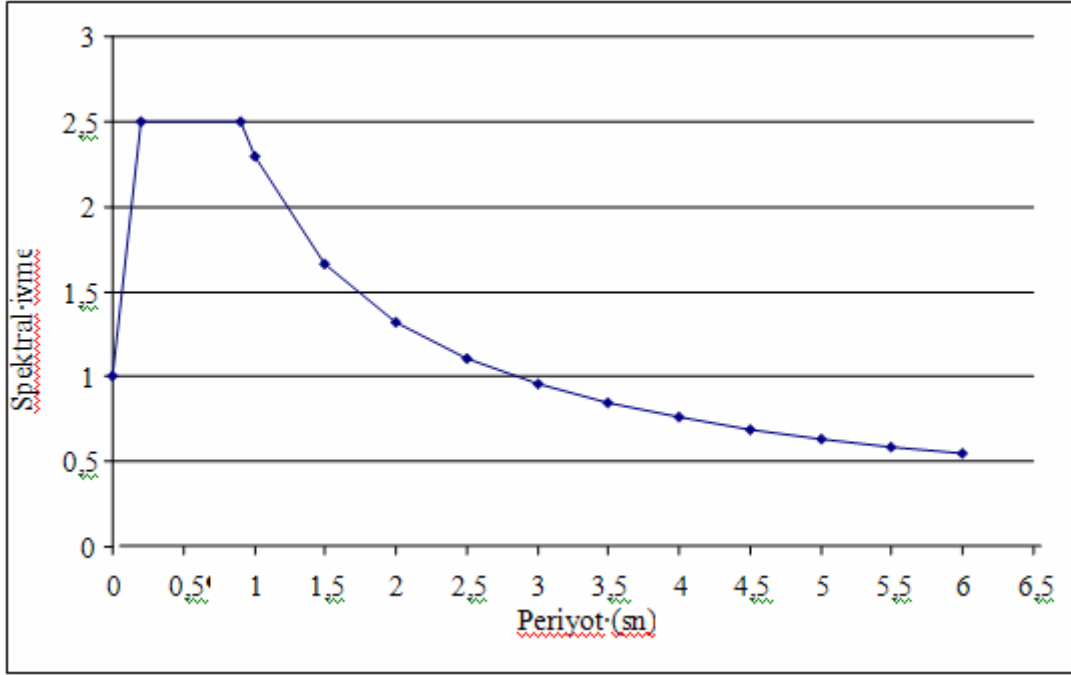
$$Q = 0,122kN / m$$

5.2.2.4. Deprem yükü

Deprem yükü için Spektrum Katsayısı değerleri Tablo 5.8 ve Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. İvme spektrum değerleri

Periyot	0	0,2	0,9	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
İvme	1	2,5	2,5	2,3	1,66	1,32	1,1	0,95	0,84	0,76	0,69	0,63	0,59	0,55



Şekil 5.3. Z4 zemin sınıfının ivme spektrum eğrisi

Yapılan bu hesaplamalar sonucunda bulunan bütün yük değerleri Tablo 5.9'da verilen kombinasyonlar kullanılarak model seraların analizleri yapılmıştır.

Tablo 5.9. Yük kombinasyonları

Kombinasyon Adı	Kombinasyon Şekli
Kombinasyon 1 (K.1)	$[Zati \times 1] + [Kar \times 1]$
Kombinasyon 2 (K.2)	$[Zati \times 1] + [Rüzgar \times 1]$
Kombinasyon 3 (K.3)	$[Zati \times 1] + [Kar \times 1] + [Rüzgar \times 1]$
Kombinasyon 4 (K.4)	$[Zati \times 1] + [Deprem \times \pm 1]$
Kombinasyon 5 (K.5)	$[Zati \times 1] + [Kar \times 1] + [Deprem \times 1]$
Kombinasyon 6 (K.6)	$[Zati \times 1] + [Kar \times 1] + [Rüzgar \times 0,5]$

5.3. Model Seranın Eleman Tahkik Analizleri

Model sera yapıları aynı boyutlarda hem çelik hem de CTP malzemeleri ile modellenmiş ve model yapıların Tablo 5.9'daki yük kombinasyonlarına göre SAP2000 programı ile analizleri yapılmıştır.

Sera için yapılan tahkiklerde, sera taşıyıcı kutu profil elemanlarında maksimum olan iç kuvvet değerleri esas alınarak tahkikler yapılmıştır.

Analizleri yapılan model seraların eleman tahkikleri şu başlıklar altında toplanmaktadır.

1. Çekme – Basma tahkiki
2. Kesme tahkiki
3. Eğilme tahkiki
4. Aşık tahkikleri

1. Çekme – Basma tahkiki;

Bu tahkik, Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemler [42], Design Manuel [43] ve Extern Design Manuel [44]'ten yararlanılarak formül 35 ve 36'ya göre yapılmıştır.

$$\lambda = \frac{S_{kx}}{i_x} \quad (35)$$

$$\sigma = \frac{P \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn} \quad (36)$$

2. Kesme tahkiki;

Bu tahkik, Extern Design Manuel [44] ve Sutruktural Mechanics [45]'dan yararlanılarak formül 37 ve 38'e göre yapılmıştır.

$$\tau = \frac{V_{\max} \times S}{I \times b} \leq \tau_{emn} \quad (37)$$

$$S = b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{4} \quad (\text{Dolu kesit için}) \quad (38)$$

3. Eğilme tahkiki;

Bu tahkik, Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları [46] ve Design Manuel [43]'ten yararlanılarak formül 39'a göre yapılmıştır.

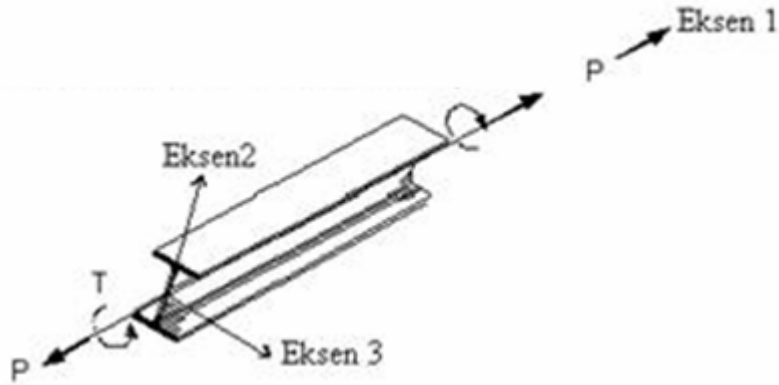
$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq \sigma_{\text{em}} \quad (39)$$

4. Aşık tahkikleri;

Bu tahkik, Çelik Yapılar El Kitabı [47]'den yararlanılarak formül 40'a göre yapılmıştır.

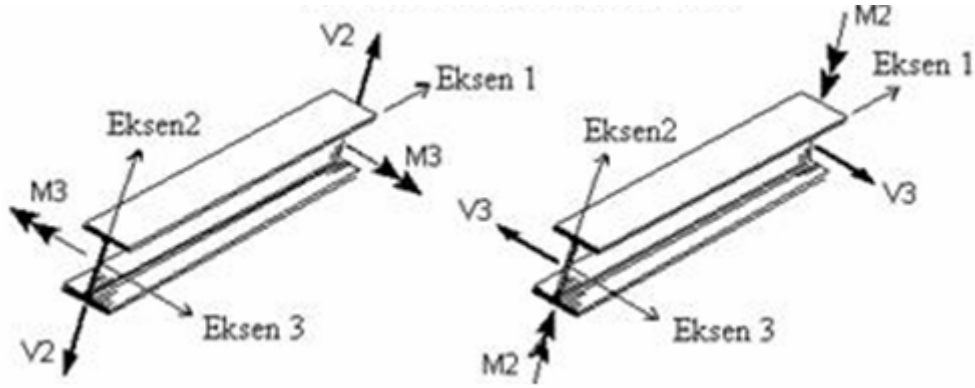
$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{\text{em}} \quad (40)$$

Bu tablolarda yükler için kullanılan eksen takımları ise (P, V2, V3, M2, M3) Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Eksenel kuvvet ve burulma

Şekil 5.4. Yapı elemanlarının pozitif eksen takımları [SAP2000]



Moment ve 1-2 Yön. Kesme

Moment ve 1-3 Yön. Kesme

Şekil 5.4.1 Devam

5.3.1. Kolon tahkiki

Sera modelindeki kolonlar için basma ve kayma tahkiki yapılmıştır (Tablo 5.10).

Tablo 5.10. Sera modelinde kolonlara gelen maksimum yükler

KOLON				
	Yük Miktarları (İç kuvvetler)		Sera Eleman No	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP
P (kN)	-10,616	-8,033	Kolon 6	Kolon 6
V2 (kN)	2,58	2,564	Kolon 3	Kolon 3
V3 (kN)	-0,152	-0,144	Kolon 1	Kolon 1
M2 (kNm)	24,26	23,05	Kolon 1	Kolon 1
M3 (kNm)	192,1	189,32	Kolon 3	Kolon 3

5.3.1.1. Çelik kolon tahkiki:

X - X eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{240}{2,36} = 101,70 \Rightarrow \omega = 2,00$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{10,616 \times 2,00}{6,23} = 3,408 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Y-Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{240}{1,03} = 233 \Rightarrow \omega = 9,43$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{10,616 \times 9,43}{6,23} = 16,07 \text{ kN/cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera kolonlarındaki maksimum basma gerilmesi $16,07 \text{ kN/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $24,82 \text{ kN/cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera kolonlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma gerilmesi tahkiki;

$$S = b \times \frac{h}{b} \times \frac{h}{4}$$

$$S_x = \left(2,6 \times \frac{7}{2} \times \frac{2,6}{4} \right) - \left(1,9 \times \frac{1,9}{2} \times \frac{1,9}{4} \right) = 6,50 \text{ cm}^3$$

$$b = 2,6 - 1,9 = 0,7 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{V_{\max} \times S}{I \times b} \leq \tau_{emn}$$

$$\tau = \frac{2,58 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 3,60 \text{ kN/cm}^2 \leq 8,153 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera kolonlarındaki maksimum kesme gerilmesi $3,60 \text{ kN/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $8,153 \text{ kN/cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera kolonlarının kayma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.1.2. CTP kolon tahkiki:

X - X eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{240}{2,36} = 101,70 \Rightarrow \omega = 2,00$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{8,033 \times 2,00}{6,23} = 2,58 \text{ kN/cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN/cm}^2$$

Y - Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{240}{1,03} = 101,70 \Rightarrow \omega = 9,43$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{8,033 \times 9,43}{6,23} = 12,16 \text{ kN/cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera kolonlarındaki maksimum basma gerilmesi $12,16 \text{ kN/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP sınır emniyet değeri olan $54,57 \text{ kN/cm}^2$ ile karşılaştırıldığında CTP sera kolonlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma gerilmesi tahkiki;

$$S = b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{4}$$

$$S_x = \left(2,6 \times \frac{7}{2} \times \frac{2,6}{4} \right) - \left(1,9 \times \frac{1,9}{2} \times \frac{1,9}{4} \right) = 6,50 \text{ cm}^3$$

$$b = 2,6 - 1,9 = 0,7 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{V_{\max} \times S}{I \times b} \leq \tau_{emn}$$

$$\tau = \frac{2,564 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 3,58 \text{ kN/cm}^2 \leq 8,28 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera kolonlarındaki maksimum kesme gerilmesi $3,58 \text{ kN/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP sınır emniyet değeri olan $8,28 \text{ kN/cm}^2$ ile karşılaştırıldığında CTP sera kolonlarının kayma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5.11).

Tablo 5.11. Kolon tahkiki sonucu

ÇELİK				CTP			
Basma gerilmesi (kN/cm^2)		Kayma gerilmesi (kN/cm^2)		Basma gerilmesi (kN/cm^2)		Kayma gerilmesi (kN/cm^2)	
Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri
3,408	24,82	3,6	8,103	2,58	54,57	3,58	8,28
16,07				12,16			

5.3.2. Aşık tahkiki

Sera modelindeki aşıklar için çekme, kayma, eğilme tahkiki yapılmıştır (Tablo 5.12).

Tablo 5.12. Sera modelinde aşıklara gelen maksimum yükler

AŞIK				
	Yük Miktarları (İç kuvvetler)		Sera Eleman No	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP
P (kN)	2,676	1,99	D A 10	D A 10
V2 (kN)	1,478	1,177	O A 2	O A 2
V3 (kN)	-0,089	-0,068	D A 2	D A 2
M2 (kN.cm)	-9,28	-7,76	D A 2	D A 1
M3 (kN.cm)	-107	-80,06	D A 2	D A 3

5.3.2.1. Çelik aşık tahkiki:

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{200}{2,36} = 84,75 \Rightarrow \omega = 1,68$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{2,676 \times 1,68}{6,23} = 0,72 \text{ kN/cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN/cm}^2$$

Y-Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{240}{1,03} = 194,17 \Rightarrow \omega = 6,54$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{2,676 \times 6,54}{6,23} = 2,81 \text{ kN/cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera aşıklardaki maksimum çekme gerilmesi $2,81 \text{ kN/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $24,82 \text{ kN/cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera aşıklarının çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma gerilmesi tahkiki;

$$S = b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{4}$$

$$S_x = \left(2,6 \times \frac{7}{2} \times \frac{2,6}{4} \right) - \left(1,9 \times \frac{1,9}{2} \times \frac{1,9}{4} \right) = 6,50 \text{ cm}^3$$

$$b = 2,6 - 1,9 = 0,7 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{1,478 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 0,395 \text{ kN/cm}^2 \leq 8,153 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik aşıklarındaki maksimum kesme gerilmesi $0,395 \text{ kN/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çelik sınır emniyet değeri olan $8,153 \text{ kN/cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera aşıklarının kesme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Eğilme gerilmesi tahkiki;

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{107}{8,67} + \frac{9,28}{4,10} = 14,60kN/cm^2 \leq 24,82kN/cm^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik aşıklarındaki maksimum eğilme gerilmesi $14,60kN/cm^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çelik sınır emniyet değeri olan $24,82kN/cm^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera aşıklarının eğilme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.2.2. CTP aşık tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{200}{2,36} = 84,75 \Rightarrow \omega = 1,68$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{1,99 \times 1,68}{6,23} = 0,54kN/cm^2 \leq 54,57kN/cm^2$$

Y-Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{240}{1,03} = 194,17 \Rightarrow \omega = 6,54$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{1,99 \times 6,54}{6,23} = 2,09kN/cm^2 \leq 54,57kN/cm^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera kolonlarındaki maksimum çekme gerilmesi $2,09kN/cm^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan

24,82 kN / cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera aşıklarının çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma gerilmesi tahkiki;

$$S = b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{4}$$

$$S_x = \left(2,6 \times \frac{7}{2} \times \frac{2,6}{4} \right) - \left(1,9 \times \frac{1,9}{2} \times \frac{1,9}{4} \right) = 6,50 \text{ cm}^3$$

$$b = 2,6 - 1,9 = 0,7 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{V_{\max} \times S}{I \times b} \leq \tau_{emn}$$

$$\tau = \frac{1,177 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 0,314 \text{ kN / cm}^2 \leq 8,28 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP aşıklarındaki maksimum kayma gerilmesi 0,314 kN / cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çelik sınır emniyet değeri olan 8,153 kN / cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera aşıklarının kayma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Eğilme gerilmesi tahkiki;

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{80,06}{8,67} + \frac{7,76}{4,10} = 11,13 \text{ kN / cm}^2 \leq 56,06 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP aşıklarındaki maksimum eğilme gerilmesi 11,13 kN / cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP sınır emniyet değeri olan 56,06 kN / cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera aşıklarının eğilme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir (5.13).

Tablo 5.13. Aşık tahkiki sonucu

ÇELİK				CTP			
Kayma gerilmesi (kN/cm ²)		Eğilme gerilmesi (kN/cm ²)		Kayma gerilmesi (kN/cm ²)		Eğilme gerilmesi (kN/cm ²)	
Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri
0,395	8,153	14,6	24,82	0,314	8,28	11,13	56,06

5.3.3. Çatı üst başlığı tahkiki

Sera modelindeki çatı üst başlıkları için basma tahkiki yapılmıştır (Şekil 5.14).

Tablo 5.14. Sera modelinde çatı üst başlıklarına gelen maksimum yükler

ÇATI ÜST BAŞLIĞI				
	Yük Miktarları (İç kuvvetler)		Sera Eleman No	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP
P (kN)	-11,448	-4,58	Ü B9	Ü B9

5.3.3.1. Çelik çatı üst başlığı tahkiki

X - X eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{167,7}{2,36} = 71,06 \Rightarrow \omega = 1,49$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{11,448 \times 1,49}{6,23} = 2,74 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Y-Y eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{167,7}{1,03} = 162,82 \Rightarrow \omega = 4,60$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{11,448 \times 4,60}{6,23} = 8,45 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera üst başlıklarındaki maksimum basma gerilmesi $8,45 \text{ kN / cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $24,82 \text{ kN / cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera üst başlıklarındaki basma tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.3.2. CTP çatı üst başlığı tahkiki

X - X eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{167,7}{2,36} = 71,06 \Rightarrow \omega = 1,49$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{4,58 \times 1,49}{6,23} = 1,10 \text{ kN / cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN / cm}^2$$

Y-Y eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{167,7}{1,03} = 162,82 \Rightarrow \omega = 4,6$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{4,58 \times 4,60}{6,23} = 3,38 \text{ kN / cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera üst başlıklarındaki maksimum basma gerilmesi $3,38 \text{ kN / cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan $54,57 \text{ kN / cm}^2$ ile karşılaştırıldığında CTP sera üst başlıklarındaki basma tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir (5.15).

Tablo 5.15. Çatı üst başlığı tahkiki sonucu

ÇELİK		CTP	
Basma gerilmesi (kN/cm ²)		Basma gerilmesi (kN/cm ²)	
Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri
2,74	24,82	1,1	54,57
8,45		3,38	

5.3.4. Çatı alt başlığı tahkiki

Sera modelindeki çatı üst başlıkları için çekme tahkiki yapılmıştır (Tablo 5.16).

Tablo 5.16. Sera modelinde çatı alt başlıklarına gelen maksimum yükler

ÇATI ALT BAŞLIĞI				
	Yük Miktarları (İç kuvvetler)		Sera Eleman No	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP
P (kN)	14,75	10,615	A B12	A B9

5.3.4.1. Çelik çatı alt başlığı tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{150}{2,36} = 63,56 \Rightarrow \omega = 1,395$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{14,75 \times 1,395}{6,23} = 3,30 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Y-Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{150}{1,03} = 145,63 \Rightarrow \omega = 3,68$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{14,75 \times 3,68}{6,23} = 8,71 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera alt başlıklarındaki maksimum çekme gerilmesi $8,71 \text{ kN / cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $24,82 \text{ kN / cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera alt başlıklarındaki çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.4.2. CTP çatı alt başlığı tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{150}{2,36} = 63,56 \Rightarrow \omega = 1,395$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{10,615 \times 1,395}{6,23} = 2,38 \text{ kN / cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN / cm}^2$$

Y - Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{150}{1,03} = 145,63 \Rightarrow \omega = 3,68$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{10,615 \times 3,68}{6,23} = 6,27 \text{ kN / cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera alt başlıklarındaki maksimum çekme gerilmesi $6,27 \text{ kN / cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan $54,57 \text{ kN / cm}^2$ ile karşılaştırıldığında CTP sera alt başlıklarındaki çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir (5.17).

Tablo 5.17. Çatı alt başlığı tahkiki sonucu

ÇELİK		CTP	
Çekme gerilmesi (kN/cm ²)		Çekme gerilmesi (kN/cm ²)	
Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri
3,30	24,82	2,38	54,57
8,71		6,27	

5.3.5 Çatı dikme elemanı tahkiki

Sera modelindeki çatı dikme elemanları için çekme tahkiki yapılmıştır (Tablo 5.18).

Tablo 5.18. Sera modelinde çatı dikme elemanlarına gelen maksimum yükler

ÇATI DİKME ELEMANI				
	Yük Miktarları (İç kuvvetler)		Sera Eleman No	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP
P (kN)	4,548	4,523	D 7	D 7

5.3.5.1. Çelik çatı dikme elemanı tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{150}{2,36} = 63,56 \Rightarrow \omega = 1,395$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{4,548 \times 1,395}{6,23} = 1,02 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Y - Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{150}{1,03} = 145,63 \Rightarrow \omega = 3,68$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{4,548 \times 3,68}{6,23} = 2,69 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera dikme elemanlarının maksimum çekme gerilmesi $2,69 \text{ kN} / \text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $24,82 \text{ kN} / \text{cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera dikme elemanlarının çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.5.2. CTP çatı dikme elemanı tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{150}{2,36} = 63,56 \Rightarrow \omega = 1,395$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{4,523 \times 1,395}{6,23} = 1,01 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Y - Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{150}{1,03} = 145,63 \Rightarrow \omega = 3,68$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{4,523 \times 3,68}{6,23} = 2,67 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera dikme elemanlarının maksimum çekme gerilmesi $2,67 \text{ kN} / \text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan $54,57 \text{ kN} / \text{cm}^2$ ile karşılaştırıldığında CTP sera dikme elemanlarının çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir (5.19).

Tablo 5.19. Çatı dikme elemanı tahkiki sonucu

ÇELİK		CTP	
Çekme gerilmesi (kN/cm ²)		Çekme gerilmesi (kN/cm ²)	
Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri
1,02	24,82	1,01	54,57
2,69		2,67	

5.3.6. Çatı diyagonal elemanı tahkiki

Sera modelindeki çatı dikme elemanları için basma tahkiki yapılmıştır (Tablo 5.20).

Tablo 5.20. Sera modelinde diyagonal elemanlarına gelen maksimum yükler

ÇATI DİYAGONAL ELEMANI				
	Yük Miktarları (İç kuvvetler)		Sera Eleman No	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP
P (kN)	-5,633	-5,751	Diy. 3	Diy. 3

5.3.6.1. Çelik çatı diyagonal elemanı tahkiki

X - X eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{167,7}{2,36} = 71,06 \Rightarrow \omega = 1,49$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{em}$$

$$\sigma = \frac{5,633 \times 1,49}{6,23} = 1,35 \text{ kN / cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN / cm}^2$$

Y - Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{167,7}{1,03} = 162,82 \Rightarrow \omega = 4,60$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{em}$$

$$\sigma = \frac{5,633 \times 4,60}{6,23} = 4,16 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera diyagonal elemanlarının maksimum basma gerilmesi $4,16 \text{ kN} / \text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan $24,82 \text{ kN} / \text{cm}^2$ ile karşılaştırıldığında çelik sera diyagonal elemanlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.6.2. CTP çatı diyagonal elemanı tahkiki

X - X eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{167,7}{2,36} = 71,06 \Rightarrow \omega = 1,49$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{5,751 \times 1,49}{6,23} = 1,38 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Y - Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

$$\lambda = \frac{s_{ky}}{i_y} = \frac{167,7}{1,03} = 162,82 \Rightarrow \omega = 4,60$$

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn}$$

$$\sigma = \frac{5,751 \times 4,60}{6,23} = 4,25 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera diyagonal elemanlarının maksimum basma gerilmesi $4,25 \text{ kN} / \text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP'nin sınır emniyet değeri olan $54,57 \text{ kN} / \text{cm}^2$ ile karşılaştırıldığında CTP sera diyagonal elemanlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir (5.21).

Tablo 5.21. Çatı diyagonal elemanı tahkiki sonucu

ÇELİK		CTP	
Basma gerilmesi (kN/cm ²)		Basma gerilmesi (kN/cm ²)	
Hesap sonucu	Emniyet Değeri	Hesap sonucu	Emniyet Değeri
1,35	24,82	1,38	54,57
4,16		4,25	

5.4. Model Sera Tahkik Sonuçları

Çelik ve CTP model serada malzemede meydana gelen basma, çekme, kesme, eğilme gerilmeleri Tablo 5.22’de gösterilmiştir.

Tablo 5.22. Sera modelinde yük değerlerine göre tahkik sonucu

	Çekme –Basma Gerilmesi (kN/cm ²)		Kayma Gerilmesi (kN/cm ²)		Eğilme Gerilmesi (kN/cm ²)	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP	Çelik	CTP
Kolon	16,07	12,16	3,60	3,58		
Aşık	-2,81	-2,09	0,395	0,314	14,60	11,13
Çatı Üst Baş.	-8,45	-3,38				
Çatı Alt Baş.	8,71	6,27				
Çatı Dik. El.	2,69	2,67				
Çatı Diy. El.	-4,16	-4,25				

Çelik ve CTP Sera modeli için Tablo 5.22’de gösterilen malzeme mekanik özelliklerine göre Tablo 5.23’de sera modelinin sınır emniyet değerlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 5.23. Sera modelinin emniyet değerlerine göre tahkik sonucu

	Çekme –Basma Gerilmesi		Kayma Gerilmesi		Eğilme Gerilmesi	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP	Çelik	CTP
Kolon	OK	OK	OK	OK		
Aşık	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Çatı Üst Başlığı	OK	OK				
Çatı Alt Başlığı	OK	OK				
Çatı Dikme Elemanı	OK	OK				
Çatı Diyag. Elemanı	OK	OK				

OK: Belirtilen elemanın, ilgili güvenlik tahkikinden sorunsuz olarak geçtiğini belirtir.

FA: İlgili, elemanın güvenlik tahkikinde sorunla karşılaştığını belirtir.

Seranın hafif malzemeden imal edilmesi ile zati ağırlığının düşmesi sonucunda en önemli taşıyıcı eleman olan kolonlara, dinamik yükler altında gelen kesme kuvvetinin azaldığı Tablo 5.10’da görülmektedir. Bu yüzden sera yapımında dinamik yüklere karşı yeterli stabilite sağlandıktan sonra hafif yapı malzemelerinin kullanımı avantaj sağlayacaktır.

Seralarda bitkilerin ekonomik olarak yetiştirilmesi ve en iyi şekilde gelişmesi için uygun ısı, nem, hava ve ışık gibi etmenler, en az yatırım ve işgücü ile sağlanabilmelidir.

Seranın yapım malzemesi seçilirken de göz önüne alınması gereken etmenler vardır.

Bunlar;

1. Sera yapı malzemesi ucuz, sağlam ve hafif olmalı,
2. Seri üretime uygun olmalı,
3. Enerji tasarrufunu sağlamalı,
4. Kuruluş ve tamiri kolay olmalı,
5. Hava koşullarından etkilenmemeli,
6. Sera içinde yeterli iklim ayarlaması yapılabilmelidir.

Günümüzde bu özellikleri sağlayan, çeliğe göre daha uygun olan kompozit malzemeler (CTP) giderek önem kazanmakta ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çünkü CTP malzemesinin üstün mekanik dayanımının yanısıra, 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 nedeni ile radyo ve mikro dalga frekanslarını etkilememesi v.b. özellikleri ile sera sektöründe kullanılan birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemesini sağlamaktadır.

Tablo 5.23’de görüldüğü gibi çalışmanın sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak model sera için yapılan çözümler özetlenmiş ve eleman bazında, CTP malzemesinin özelliklerine uygun sera tasarlanması ile güvenli bir sistem oluşturulduğu gösterilmiştir.

5.4. Model Sera Maliyet Analizi

Bilgisayar ortamında modellenen CTP ve çelik seraların maliyet analizleri belirlenerek ekonomik açıdan karşılaştırmaları yapılmıştır. Çelik profillerin fiyatları piyasada malzeme satış yerlerinden, CTP malzemeye ait fiyatlar ise üretici firmadan alınmıştır. Tablo 5.24’te çelik malzeme ile modellenen seranın Tablo 5.25’de CTP ile modellenen seranın maliyet analizleri verilmiştir.

Maliyet analizlerinde sadece taşıyıcı elemanlara ait analizler yapılmıştır. Her iki serada da ortak olan (kaplama, işçilik vb.) kalemler dikkate alınmamıştır. Yapılan maliyet analizi sonucunda çelik profillerle üretilen seranın maliyeti yaklaşık 1208 YTL, CTP profillerle üretilen seranın maliyeti ise yaklaşık 1373 YTL olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.24. Çelik sera maliyet analizi

Sera Taşıyıcı Elamanları	Ağırlık (kg/m)	Boy (m)	Miktarı (Adet)	Miktarı	Birimi	Birim Fiy. (YTL)	Yekün Fiy. (YTL)
Kolon	4,89	2,4	8	93,89	kg	1,17	109,57
Damlalık Aşığı	4,89	4	6	117,4	kg	1,17	136,96
Orta Aşık	4,89	4	6	117,4	kg	1,17	136,96
Mahya	4,89	3,35	6	98,29	kg	1,17	114,7
Tepe Mahya	4,89	4	3	58,68	kg	1,17	68,48
Çatı Üst Başlığı	4,89	3,35	8	131,1	kg	1,17	152,94
Çatı Alt Başlığı	4,89	6	4	117,4	kg	1,17	136,96
Çatı Orta Dikme	4,89	1,5	4	29,34	kg	1,17	34,24
Çatı Yan Dikme	4,89	0,75	8	29,34	kg	1,17	34,24
Çatı Diyagonalı	4,89	1,68	8	65,6	kg	1,17	76,56
Yağlı Boya Yap.				33,7	m ²	6,14	206,92
Genel Toplam							1208,51

Tablo 5.25. CTP sera maliyet analizi

Sera Taşıyıcı Elamanları	Ağırlık (kg/m)	Boy (m)	Miktarı (Adet)	Ağırlık (kg)	Birim Fiy. (YTL)	Yekün Fiy. (YTL)
Kolon	1,10	2,4	8	21,21	7,08	150,15
Damlalık Aşığı	1,10	4,00	6	26,51	7,08	187,69
Orta Aşık	1,10	4,00	6	26,51	7,08	187,69
Mahya	1,10	3,35	6	22,20	7,08	157,19
Tepe Mahya	1,10	4,00	3	13,25	7,08	93,85
Çatı Üst Başlığı	1,10	3,35	8	29,60	7,08	209,59
Çatı Alt Başlığı	1,10	6,00	4	26,51	7,08	187,69
Çatı Orta Dikme	1,10	1,50	4	6,63	7,08	46,92
Çatı Yan Dikme	1,10	0,75	8	6,63	7,08	46,92
Çatı Diyagonalı	1,10	1,68	8	14,82	7,08	104,92
Genel Toplam				193,90		1372,61

CTP profillerle tasarlanan sera modeli proje bazında değerlendirildiğinde diğer geleneksel malzemelerden olan çelik profiller ile tasarlanan sera modelinden yaklaşık %13,66 daha pahalıya mal olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak CTP profillerin boya gerektirmemesi, rutubete dayanıklı olması, hafif olmaları nedeniyle sağladığı düşük işçilik avantajı, yüksek fayda/maliyet oranı sayesinde kalıcı seracılıkta kullanılması birçok avantaj sağlayacaktır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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; son yıllarda artmakta olan sera ihtiyacına cevap verebilecek hafif, güvenilir, sağlam ve hızlı yapım olanağı bulunan malzemelerden biri olan pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerinin mekanik özellikleri belirlenerek alternatif bir çözüm olabilme durumu incelenmiştir.

Bu çalışmada;

Nümerik modellemelerde ve hesaplamalarda kullanılmak üzere CTP profillere ait mekanik özellikler ulusal ve uluslararası kabul edilen standartlar kullanılarak belirlenmiştir.

Reçine yakma metoduna göre orta bölgede fiber hacim %'si 50,72, matriks %'si 49,28 ve keçe bölgesindeki fiber hacim %'si 23,67, matriks %'si 76,33 olarak bulunmuştur.

Reçine yakma metoduna göre bulunan fiber, matriks hacim yüzdesi ve tabaka kalınlıklarına göre; life paralel yöndeki elastisite modülü $32,923\text{kN/mm}^2$, life dik yöndeki elastisite modülü $8,512\text{kN/mm}^2$, kayma modülü $3,213\text{kN/mm}^2$ ve poisson oranı 0,346 olarak bulunmuştur.

Lif doğrultusuna paralel Elastisite Modülü (E_x) nümerik hesapta $32,923\text{kN/mm}^2$, deneysel çalışmalarda ise $29,54\text{kN/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Elastisite Modülünün nümerik hesabı ile deneysel çalışma sonucun arasında % 89,72'lik bir uyum vardır.

Lif doğrultusuna dik Elastisite Modülü ($E_{y,z}$) değeri nümerik hesaplamada $8,512\text{kN/mm}^2$, deneysel olarak ise $7,87\text{kN/mm}^2$ bulunmuş ve karşılaştırma sonucunda % 92,46'lik uyum vardır.

Poison oranı nümerik hesapta 0,346 deneysel çalışmalarda ise 0,34 olarak bulunmuştur. Poison oranının nümerik hesabı ile deneysel çalışma sonucunda % 98,27'lik bir uyum vardır.

Eğilme Gerilmesi, kutu profilde yapılan deneysel çalışma sonucunda lokal kırılmalar meydana gelmesinden dolayı $39,04\text{N/mm}^2$ olarak bulunmuş, ancak deney sırasında malzemede lokal kırılmaların oluşmaması için aynı profillerden kesilen dolu kesitli numuneler üzerinde yapılan deney sonucunda Eğilme Gerilmesi $560,59\text{N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

Isı Genleşme Katsayısı (λ), deneysel çalışma sonucunda $5,118 \times 10^{-6}$ ($\text{mm/mm} \cdot ^\circ\text{C}$) bulunmuştur.

CTP malzemesinin birim hacim ağırlık değeri, deneysel çalışmalar sonucunda $1,749\text{g/cm}^3$ bulunmuştur. Özgül ağırlık değeri nümerik hesap ile $1,712\text{g/cm}^3$, deneysel çalışmalar sonucunda ise $1,773\text{g/cm}^3$ bulunmuştur. Özgül ağırlığın nümerik hesap değeri ile deneysel çalışma sonucu arasında % 97,90'lik bir uyum vardır.

CTP malzemesinin Ağırlıkça su emme yüzdesi (%) 0,25 olarak bulunmuştur.

Bilgisayar ortamında aynı model üzerinde çalışılan Çelik ve CTP sera, yapılan tahkikler sonucunda taşıyıcı elamanları emniyetli çıkmıştır.

CTP profillerle tasarlanan sera modeli proje bazında değerlendirildiğinde diğer geleneksel malzemelerden olan çelik profiller ile tasarlanan sera modelinden yaklaşık %13,66 daha pahalıya mal olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak CTP profillerin boya gerektirmemesi, rutubete dayanıklı olması, hafif olmaları nedeniyle sağladığı düşük işçilik avantajı, yüksek fayda/maliyet oranı sayesinde kalıcı seracılıkta kullanılması birçok avantaj sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] NEDİM, A.E., Sera Yapım Tekniği, Hasad Yayıncılık Reklamcılık Tarım San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 2004
- [2] <http://www.teknoser.web.tr/> (01.05.2007)
- [3] www.esa.com.tr/yapiprofil/ (01.05.2007)
- [4] <http://www.tarimsal.com/sera.htm> (01.05.2007)
- [5] <http://www.troser.com.tr/tr/urun2.htm> (01.05.2007)
- [6] <http://www.ceylanlar.com.tr/> (01.05.2007)
- [7] HOLMES, M. and Just, D.J., GRP in Sutruktural Engineering, Applied Science Publishers Ltd., New York, 1983
- [8] ERKAN, M., Çelik Yapılar Ders Notları, Düzce, 2000
- [9] www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html (02.05.2007)
- [10] ŞAHİN, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000
- [11] 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
- [12] MALLİK, P.K., Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker, NewYork, 1997
- [13] EUROCOMP, Structural Design of Polymer Composites – EUROCOMP Design Code and Handbook, Edited by Clarke, J. L., Chapman and Hall, London, 1996
- [14] www.fiberline.com (03.05.2007)
- [15] SONG H.W and DU X.W., Off-axis crushing of GFRP Tubes, Composites science and Tecnology,62,2065-2073,2002
- [16] PHİLİPPİDİS T.P. and VASSİLOPOULOS A.P., Complex State Effect on Fatigue Life of GRP Laminates Part 1 Theoretical Experimental,

- International Journal of Fatigue, 24, 813-823, 2002
- [17] PHILIPPIDIS T.P. and VASSILOPOULOS A.P., Complex State Effect on Fatigue Life of GRP Laminates Part 2 Theoretical Formulation, International Journal of Fatigue, 24, 825-830, 2002
- [18] OCHOLA R.O., Marcus K., Nurick G.N., Franz. T., Mechanical Behaviour of Glass and Carbon Fibre Reinforced Composites at Varying Strain Rates, Composite Structures, 2003
- [19] SARIBIYIK M., Use of Analytical Method Determination of Material properties of Pultruded GRP Box Section, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5/1, 85-88, 2001
- [20] SPAGNOLI A., ELGHAZOULI A.Y., and CHRYSSANTHOPOULOS M.K., Numerical Simulation of Glass-reinforced Plastic Cylinders Under Axial Compression, Marine Structures, 14, 353-374, 2001
- [21] CALLISTER, W.D., “ Materials Science and Engineering ”, Second edition, John Wiley ve Sons Inc., Singapore, 1990
- [22] ARAN, A., “ Elyaf takviyeli Karma Malzemeler”, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990
- [23] JUDGE, J.F., “ The Coming Revolution ”, Airline Management and Marketing, September, 1996
- [24] BROUTMAN, L.J., Krock, R.H., “ Modern Compozite Materials ”, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- [25] REINHART, T.J. nad Clements L.L., “ Introduction to Composites, 27-34, (Dostal C.A., Composites, engineered Materials Handbook, Vol.1,8),1989
- [26] AKINCI, A., “ Polimer Matriksli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere Etkisi ”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2004
- [27] YÜCEL, M., Plastik ve Plastik Esaslı Kompozitlerin İnşaat Sektöründe Kullanımı, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya, 2004
- [28] www.sisecam.com (05.05.2007)
- [29] www.acmenet.org (05.05.2007)
- [30] www.fibersource.com (05.05.2007)
- [31] www.strongwell.com (05.05.2007)

- [32] www.pultrusiondynamics.com (05.05.2007)
- [33] TS 3860 “Plastikler Cam Lifle Pekiştirilmiş Malzemelerde Çekme Özelliklerinin Tayini”, Ankara, 1982.
- [34] TS 1398-4 “Plastikler-Çekme Özelliklerinin Tayini-Bölüm 4: İzotropik ve Ortotropik Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler İçin Deney Şartları”, Ankara, 1997.
- [35] TS 1398-5 “Plastikler - Çekme Özelliklerinin Tayini Bölüm 5: Tek Yönlü Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler İçin Deney Şartları”, Ankara, 1997.
- [36] ASTM 3039 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, 2006.
- [37] TS 4650-2, “Plastikler - Cam Elyaf Takviyeli - Fitle Takviye Edilmiş Reçine Çubukların Mekanik Özelliklerinin Tayini – Bölüm 2: Eğilme Mukavemetinin Tayini”, Ankara,1997.
- [38] TS 985 “Plâstikler - Eğilme Özelliklerinin Tayini” Ankara, 2000.
- [39] ASTM D 790 “Standart Test Methods For Flexural Properties Of Unreinforced Plastics and Electrical Insulating Materials” 1992.
- [40] TS 648, Çelik Yapılar Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1982
- [41] JAVED M. A., stability analysis of G.R.P. box sections, PHD Thesis, University of Newcastle, 2003
- [42] ERŞEN, N., Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998
- [43] Fiberline Composites A/S., Design Manuel, Kolding, Denmark, 2003
- [44] Extern Design Manuel., Copyright 1998 by Strongwell Corporation, Bristol Virginia, USA.
- [45] HUSLE, R. and Cain, J., Sutruktural Mechanics, College Work Out Series, Mac Millan, London, 1991.
- [46] ODABAŞI, Y., Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1997.
- [47] UZAKGÖREN, N., Tunçağ, M., Kardeş, K. ve Vergin, T., Çelik Yapılar El Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No:3.

ÖZGEÇMİŞ

Alper Cumhur, 16.08.1981 de Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı' nda tamamladı. 1997 yılında Adapazarı Mithatpaşa Lisesi, Fen Bilimleri Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında SAÜ İnşaat bölümünü kazandı. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonra Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesine yatay geçiş yapmak zorunda kaldı. 2000 yılında İnşaat bölümünü, bölüm ve okul birincisi olarak bitirdi. 2001 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği bölümünü kazandı. Bitirme projesi olarak, üç katlı örnek bir modelin betonarme hesabını nümerik ve bilgisayar ortamında İde Statik programını kullanarak çözümlendi. 2005 yılında yapı eğitimi bölümünü birincilikle bitirerek mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde yüksek lisansa başladı. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde, "Sera Tasarımında Pultruzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması" başlıklı ve 104M395 numaralı Tübitak projesinde 8 ay süreli (01.02.2007-01.10.2007) yardımcı personel olarak çalıştı. Halen özel bir inşaat şirketinde yönetici olarak çalışmaktadır.