

Proje No: 104M395

**SERA TASARIMINDA PULTRUZYON METODUYLA
ÜRETİLEN CAM FİBER TAKVİYELİ PLASTİKLERİN
KULLANILMASI**

Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Prof. Dr. Muzaffer ELMAS

Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR

Doç. Dr. Hüseyin UNAL

Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Arş Gör. Ferhat AYDIN

ŞUBAT 2008

SAKARYA

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. Seranın Önemi ve Tanımı	1
1.2. Dünyada Seracılık	2
1.3. Ülkemizde Seracılık	3
1.4. Sera Yapı Malzemeleri	4
BÖLÜM 2	5
KOMPOZİT MALZEMELER	5
2.1. Tarihsel Gelişim	5
2.2. Kompozit Çeşitleri	9
2.2.1. Parçacık Takviyeli Kompozitler	9
2.2.2. Lamine (Tabakalı) Kompozitler	9
2.2.3. Fiber Takviyeli Kompozitler	9
2.3. Kompozit Malzemeleri Oluşturan Bileşenler	9
2.3.1. Matris Elemanları	9
2.3.1.1. Termoplastikler	10
2.3.1.2. Termoset Plastikler	11
2.3.2. Takviye Elemanları	12
2.3.2.1. Cam Elyaf	13
2.3.2.2. Aramid Elyafı	16
2.3.2.3. Boron Elyafı	16
2.3.2.4. Karbon / Grafit Elyafı	16
2.3.2.5. Diğer Organik Lifler	17
BÖLÜM 3	18
CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	18
3.1. Elle Yatırma (Hand Lay-Up)	18
3.2. Püskürtme (Spray-Up)	19
3.3. reçine Transfer Kalıplama (Rtm) / reçine Enjeksiyonu	20
3.4. Hazır Kalıplama (Compression Molding)	21
3.5. Islak Sistem Pres Kalıplama	21

3.6. Vakum Bonding (Vakum Bagging).....	22
3.7. Otoklav (Autoclave Bonding)	22
3.8. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (Gmt).....	23
3.9. Elyaf Sarma (Filament Winding).....	23
3.10. Profil Çekme (Pultruzyon) Metodu	24
3.10.1. CTP Profil Çeşitleri.....	29
3.10.2. CTP Profillerin Yapıda Kullanılması.....	30
BÖLÜM 4.....	34
MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	34
4.1. Deneysel Çalışmalar	34
4.1.1. Çekme Deneyi	35
4.1.1.1. Liflere Paralel ve Dik Çekme Deneyleri	35
4.1.1.2. Lif Doğrultusuna Paralel Çekme Deneyi Sonuçları	38
4.1.1.3. Lif Doğrultusuna Dik Çekme Deneyi Sonuçları	41
4.1.1.4. Poisson Oranı Deneyi	42
4.1.2. Eğilme Deneyi.....	43
4.1.3. Isıl Genleşme Deneyi	47
4.1.4. Özgül Ağırlık Deneyi.....	48
4.2. Teorik Hesaplar	48
4.2.1. CTP Profillerin Fiber ve Matriks Oranlarının Belirlenmesi	48
4.2.2. Reçine Yakma Metoduna Göre Ağırlık ve Hacim Analizlerinin Yapılması ..	54
4.2.3. Mikro ve Makro Mekanik Analiz	55
4.2.3.1. Mikro Mekanik Analiz	56
A. Tek Yönlü Lifli Kompozitlerin Özelliklerin Belirlenmesi	56
4.2.3.2. Makro Mekanik Analiz.....	58
4.3. Deneysel ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması.....	61
BÖLÜM 5.....	62
BİLGİSAYARDA MODEL SERA TASARIMI.....	62
5.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri	66
5.2. Model Sera Hesabı.....	67
5.2.1. Zemin Değerleri ve Hesabı	67
5.2.2. Yük Hesabı.....	68
5.2.2.1. Kar Yüğü Hesabı	68
5.2.2.2. Rüzgar Yüğü	68
5.2.2.3. Zati Yüğü	69
5.2.2.4. Deprem Yüğü.....	70
5.3. Model Seranın Eleman Tahkik Analizleri.....	71
5.3.1. Kolon Tahkiki	72
5.3.1.1. Çelik Kolon Tahkiki	72
5.3.1.2. CTP Kolon Tahkiki.....	73

5.3.2. Aşık Tahkiki.....	74
5.3.2.1. Çelik Aşık Tahkiki.....	74
5.3.2.2. CTP Aşık Tahkiki.....	75
5.3.3. Çatı Üst Başlığı Tahkiki.....	76
5.3.3.1. Çelik Çatı Üst Başlığı Tahkiki.....	77
5.3.3.2. CTP Çatı Üst Başlığı Tahkiki.....	77
5.3.4. Çatı Alt Başlığı Tahkiki.....	78
5.3.4.1. Çelik Çatı Alt Başlığı Tahkiki.....	78
5.3.4.2. CTP Çatı Alt Başlığı Tahkiki.....	78
5.3.5. Çatı Dikme Elemanı Tahkiki.....	79
5.3.5.1. Çelik Çatı Dikme Elemanı Tahkiki.....	79
5.3.5.2. CTP Çatı Dikme Elemanı Tahkiki.....	80
5.3.6. Çatı Diyagonal Elemanı Tahkiki.....	80
5.3.6.1. Çelik Çatı Diyagonal Elemanı Tahkiki.....	80
5.3.6.2. CTP Çatı Diyagonal Elemanı Tahkiki.....	81
5.4. Model Sera Tahkik Sonuçları.....	82
BÖLÜM 6.....	83
ALTERNATİF SERA MODELLERİNİN TASARIMI.....	83
6.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	83
6.2. Tasarımda Kullanılan Profiller.....	84
6.3. Alternatif CTP Sera Tasarımı.....	84
6.3.1. Payandaların Kaldırılması.....	85
6.3.2. İç Kolon ve Orta Aşıkların Kaldırılması.....	87
6.3.3. Kolon Aralıklarının ve Çatı Gergi Kirişlerinin Azaltılması.....	89
6.3.4. Kaplama Montaj Kolaylığı İçin Kolon Aralıklarının Azaltılması.....	91
6.4. CTP Sera Uygulama Projesi.....	93
6.4.1. Model sera analizi.....	96
6.4.2. Model Sera Temel Hesabı.....	97
6.4.2.1. Zemin Taşıma Gücü Tahkiki.....	97
6.4.2.2. Devrilme Tahkiki.....	98
6.5. CTP Birleştirme Detay Çalışmaları.....	103
6.5.1. Sera birleştirme elamanlarının CTP ile tasarımı.....	105
6.5.2. Sera Birleştirme Elamanlarının Çelik Profillerle Tasarımı.....	107
BÖLÜM 7.....	111
SERA UYGULAMASI.....	111
7.1. Yer Seçimi.....	111
7.2. Temel İnşaatı.....	112
7.2.1. Kazı Çalışması.....	112
7.2.2. Temel Kalıbının Hazırlanması.....	113
7.2.3. Birleştirme Profillerinin Temel Donatısına Ankrajı.....	113

7.2.4. Temel Betonunun Dökümü	115
7.3 Model Sera İnşası.....	116
7.3.1. Köşe Birleştirme Elemanlarının CTP profiller ile Birleştirilmesi.....	117
7.3.2.CTP Kolonların Temele Montajı	118
7.3.3. CTP Sera Makaslarının Montajı.....	119
7.4. Model Sera Maliyet Analizi	125
7.5. Model Sera Kaplaması	126
7.6. Model Sera Havalandırma Sistemi	126
BÖLÜM 8	128
SONUÇ VE ÖNERİLER	128
KAYNAKLAR	130

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kalıcı sera örnekleri	1
Şekil 2. Elyaf çeşitleri	14
Şekil 3. Kumaş çeşitleri.....	15
Şekil 4. Keçe (Mat) çeşitleri.....	15
Şekil 5. Kesikli cam elyaf takviyeleri.....	16
Şekil 6. Karbon elyafı.....	17
Şekil 7. El yatırması yönteminin genel görünümü	18
Şekil 8. Püskürtme yönteminin genel gösterimi.....	19
Şekil 9. Püskürtme Yöntemi.....	19
Şekil 10. RTM yönteminin genel gösterimi	20
Şekil 11. Vakum bagging malzemeleri	22
Şekil 12. Elyaf sarma yöntemi.....	23
Şekil 13. Profil çekme yöntemi konfigürasyonu	24
Şekil 14. Profil çekme makinesi	24
Şekil 15. Fitil sehpaları (Elyaf bobinleri)	25
Şekil 16. Örnek profil detayı	25
Şekil 17. Kontrol ünitesi.....	26
Şekil 18. Örnek kalıp şekli	26
Şekil 19. Paletler	27
Şekil 20. Bıçaklar	27
Şekil 21. Pultrüzyonla üretilmiş CTP profil örnekleri.....	29
Şekil 22. CTP vapur iskelesi	30
Şekil 23. CTP metro istasyonu	30
Şekil 24. CTP yaya ve hafif araç köprüsü	31
Şekil 25. Basel gözlem evi	31
Şekil 26. CTP evler	32
Şekil 27. Pultrüzyonla üretilmiş CTP kullanılarak yapılmış prototip yapı.....	32
Şekil 28. Pultrüzyonla üretilmiş CTP'lerin Türkiye'de uygulama örnekleri	33
Şekil 29. Esa Kimya tarafından üretilen CTP profil örnekleri	35
Şekil 30. Metal başlık yapıştırılmış çekme test numuneler.....	36
Şekil 31. Çekme deneyi düzeneği	37
Şekil 32. Çekme testi sonucunda kopmuş deney numuneleri	37
Şekil 33. Lif doğrultusuna paralel numuneye ait çekme deneyi grafiği örneği.....	39
Şekil 34. Lif doğrultusuna dik gerilme-şekil değiştirme grafiği örneği	41
Şekil 35. Poisson Oranı deneyi grafiği örneği.....	42
Şekil 36. Kutu profil eğilme deneyi ve lokal kırılma	43
Şekil 37. Kutu profile ait yük-sehim grafiği örneği	44
Şekil 38. Eğilme deney numuneleri.....	44
Şekil 39. Eğilme deneyi yüklemesi	45
Şekil 40. Eğilme deneyinde kırılmış numune örneği	45
Şekil 41. Eğilme numunesine ait gerilme-sehim grafiği örneği	46
Şekil 42. Isı genleşme deyinde numune boylarının ölçülmesi	47
Şekil 43. Tabakadaki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler.....	49
Şekil 44. Orta bölgedeki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler	52
Şekil 45. 600 °C'lik ısıtma işlem sonucu fırından çıkarılan orta bölgedeki boyuna fiberler	52
Şekil 46. Model sera perspektif ve görünüşleri	63
Şekil 47. Z4 zemin sınıfının ivme spektrum eğrisi.....	70
Şekil 48. Yapı elemanlarının pozitif eksen takımları	72

Şekil 49. Alternatif tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü	85
Şekil 50. İç kolon ve orta aşıkların kaldırılması şeklinde tasarlanan CTP sera modeli	87
Şekil 51. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tasarlanan CTP sera modeli ...	89
Şekil 52. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü	91
Şekil 53. Uygulamada kullanılacak CTP profil şekli ve ebatları	93
Şekil 54. CTP Sera Planı	94
Şekil 55. CTP Sera A-A Kesiti.....	95
Şekil 56. CTP sera modeli perspektif görünüşü	95
Şekil 57. Hesaplama için kullanılacak temel boyutları	97
Şekil 58. Devrilme tahkiki için kuvvetler ve kuvvetlerin uygulanma noktaları.....	100
Şekil 59. CTP birleştirme detay gelişimleri	103
Şekil 60. Paketlenmiş şekilde tasarlanmış birleştirme detayları	103
Şekil 61. CTP birleştirme detay uygulamaları	104
Şekil 62. Yapıştırma-geçmeli birleştirmelerde kullanılan CTP birleştirme elemanı	105
Şekil 63. CTP kutu profili için yapıştırma geçmeli CTP birleştirme modeli çalışmaları	106
Şekil 64. Kutu profile uygun çelik bağlantı elemanı ve birleştirmesi	107
Şekil 65. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme detay dizaynı.....	108
Şekil 66. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme elemanı	108
Şekil 67. Sera CTP profillerle çatı birleştirme detay dizaynı	109
Şekil 68. Sera CTP profillerle çatı birleştirme elemanı.....	109
Şekil 69. Şekil CTP sera kolon-temel birleştirme detayı	110
Şekil 70. CTP sera kolon-temel birleştirme	110
Şekil 71. SAÜ Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesi sera temel kazısı	112
Şekil 72. Sera temel kalıbı hazırlanması ve demir donatının bağlanması.....	113
Şekil 73. Çelik kutu profillerin temele ankrajı	114
Şekil 74. Çelik kutu profillerin donatıya ankrajı.....	114
Şekil 75. Sera temel betonun dökümü.....	115
Şekil 76. Sera temel sıkıştırılması ve tesviye edilmesi.....	115
Şekil 77. Kalıbı sökülmüş temel betonu.....	115
Şekil 78. Birleştirmede kullanılan çift karışımli reçine.....	116
Şekil 79. CTP profillerin kolon-çatı birleştirme elemanlarına montajı	117
Şekil 80. CTP profillerin mahya birleştirme elemanlarına montajı.....	117
Şekil 81. Çelik profil yüzeylerine çift karışımli epoksi reçine sürülmesi	118
Şekil 82. Kolonların temele montajının yapılması	118
Şekil 83. CTP seranın çerçeve sistemlerinin oluşturulması	119
Şekil 84. CTP çerçeve sistemlerin taşınması ve kolonların temele montajı.....	120
Şekil 85. CTP sistemlerinin taşınması ve kolonların temele montajı.....	121
Şekil 86. Çerçeve aralarında kalan damlalık aşığı ve mahyaların montajı.....	122
Şekil 87. Taşıyıcı kısmı tamamlanmış seranın yan görünüşü	123
Şekil 88. Taşıyıcı kısmı tamamlanan CTP seranın ön görünüşü.....	124
Şekil 89. Sera CTP kaplama ve havalandırma sisteminin perspektif görünüşleri.....	127

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi sonuçları	40
Tablo 2. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları	41
Tablo 3. Eğilme deneyi sonuçları.....	46
Tablo 4. Numunelere ait sıcaklığa bağlı boy uzama değerleri	47
Tablo 5. Isıl Genleşme katsayısı.....	48
Tablo 6. CTP profile ait tüm tabakadaki ağırlıkça fiber ve matris oranları.....	50
Tablo 7. CTP profile ait tüm tabakadaki hacimce fiber ve matris oranları	51
Tablo 8. Orta bölgede ağırlıkça fiber ve matris oranları	53
Tablo 9. Orta bölgede hacimce fiber ve matris oranları.....	54
Tablo 10. Reçine yakma metodlarına göre genel ağırlık ve hacim oranları.....	55
Tablo 11. Fiber ve matris hacim yüzdeleri	55
Tablo 12. Profil birleşim özellikleri	55
Tablo 13. Profil bileşenlerine ait özellikler	55
Tablo 14. Tabaka Kalınlıkları.....	56
Tablo 15. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	61
Tablo 16. Tasarlanan sera modelinin özellikleri	62
Tablo 17. Malzeme mekanik özellikleri.....	66
Tablo 18. Kullanılan profile ait kesit özellikleri	67
Tablo 19. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	67
Tablo 20. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)	67
Tablo 21. Zemin Değerleri	67
Tablo 22. Yük miktarları.....	68
Tablo 23. İvme spektrum değerleri	70
Tablo 24. Yük kombinasyonları.....	70
Tablo 25. Sera modelinde kolonlarda oluşan maksimum kuvvetler	72
Tablo 26. Kolon tahkiki sonucu	74
Tablo 27. Sera modelinde aşıklara gelen maksimum kuvvetler.....	74
Tablo 28. Aşık tahkiki sonucu.....	76
Tablo 29. Sera modelinde çatı üst başlıklarına gelen maksimum kuvvetler	77
Tablo 30. Çatı üst başlığı tahkiki sonucu	78
Tablo 31. Sera modelinde çatı alt başlıklarına gelen maksimum kuvvetler.....	78
Tablo 32. Çatı alt başlığı tahkiki sonucu	79
Tablo 33. Sera modelinde çatı dikme elemanlarına gelen maksimum kuvvetler.....	79
Tablo 34. Çatı dikme elemanı tahkiki sonucu	80
Tablo 35. Sera modelinde diyagonal elemanlarına gelen maksimum kuvvetler.....	80
Tablo 36. Çatı diyagonal elemanı tahkiki sonucu	81
Tablo 37. Model sera tahkik sonuçları	82
Tablo 38. Model sera tahkik sonuçlarının değerlendirilmesi	82
Tablo 39. Malzeme özellikleri.....	83
Tablo 40. Alternatif sera modeli için kullanılan CTP kutu profil çeşitleri ve özellikleri.....	84
Tablo 41. Tasarlanan sera modelinin özellikleri	85
Tablo 42. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	86
Tablo 43. Tasarlanan sera modelinin özellikleri (iç kolon ve orta aşıkların kaldırılması).....	87
Tablo 44. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	88
Tablo 45. Sera modeli özellikleri (Kolon Aralıkları ve Çatı Gergi Kirişlerinin Azaltılması)...	89
Tablo 46. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	90
Tablo 47. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan sera modelinin özellikleri.....	91

Tablo 48. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	92
Tablo 49. CTP sera projesinin özellikleri.....	93
Tablo 50. Uygulamaya yönelik sera modeli tahkik sonuçları	96
Tablo 51. Uygulamaya yönelik sera modeli tahkik sonuçlarının değerlendirilmesi	96
Tablo 52. CTP Profil Miktarlarına ait bilgiler.....	98
Tablo 53. CTP kaplama malzemesine ait bilgiler	98
Tablo 54. Çelik Birleştirme elemanlarına ait bilgiler	99
Tablo 55. CTP sera profillerinin uzunluk ve miktarları	116
Tablo 56. Çelik sera maliyet analizi.....	125

SERA TASARIMINDA PULTRUZYON METODUYLA ÜRETİLEN CAM FİBER TAKVİYELİ PLASTİKLERİN KULLANILMASI

ÖZET

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

Bu projede; pultruzyon metodu ile üretilen CTP profiller kullanılarak model bir sera inşa edilmiş ve imal edilen bu seranın yükler etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. İnşa edilen serada kullanılan CTP profillerin mekanik özellikleri, ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak belirlenmiş ve modern sera tasarımı için gerekli iyileştirmeler araştırılmıştır. Belirlenen mekanik özellikler kullanılarak sera sistemleri bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu ile modellenerek statik ve dinamik yükler altındaki davranışları tespit edilmiştir. Nümerik modeli tamamlanan sera modelinin projesine ait plan, kesit ve görünüşler çizilmiştir. Ayrıca detay çalışmalar çerçevesinde uygulanabilirliğe yönelik profil çeşidi, sera elemanlarının birleştirme detayları ve profillerin temele ankrajlarına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalara bağlı olarak profil ebatları ve üç farklı bağlantı noktası için detaylar geliştirilmiştir. Ortaya çıkan nümerik çalışmalar ışığında sera modelinin arazide uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu proje TÜBİTAK tarafından “Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı” kapsamında desteklenmiştir. Verdiği destek için TÜBİTAK’a teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca projeye yaptığı katkılardan dolayı ESA Kimya Metal San. ve Tic. Ltd. Şirketine teşekkür ederiz.

Anahtar Sözcükler

Pultruzyon metodu, Cam Elyaf Takviyeli Plastik, Sera Tasarımı

USE OF THE PULTRUDED GLASS REINFORCED PLASTIK IN THE MODELLING OF GREENHOUSE

ABSTRACT

The investigations have been continuous on the development of new methodology and greenhouse structural materials following to the technological development in the world. One of the new technological materials is the Glass fibre reinforced plastic (GRP) materials.

Glass fibre reinforced plastic materials are basically constituted of resin and continuous or chopped fibre and are manufactured using various manufacturing methods. The pultrusion process is a proven manufacturing method for obtaining lengths of high quality GRP. The pultrusion process became a competitive alternative to traditional structural materials. Factors in choosing GRP materials for structural engineering applications are: lightweight, non-corrosive, chemically resistant, possess good fatigue strength, non-magnetic, and, subject to the materials selected, provide electrical and flame resistance. Having resolved fundamental manufacturing constraints through the development of the pultrusion process, the mass adoption of GRP sections as secondary and primary load bearing elements has been applied in limited construction.

In this project; the structural behaviour of the model greenhouse structure, which constructed using pultruded GRP structural element, has been investigated. The mechanical properties of the pultruded GRP sections have been investigated using national and international standards and the material characteristics were developed to use as greenhouse structural materials. Than the model structures have been modelled in computer using well known finite element programs to investigate the structural behaviour under the static and dynamic loads. The new models have been developed and the application plans were drawn. In addition; the pultruded GRP box section and three different connection details have been developed. The numerical outcomes of the greenhouse structure model have been constructed in the field.

This project was funded by the TUBITAK “Scientific and Technological Research Project Supporting Program”. I am pleased to acknowledge the TUBITAK for providing financial support. I would also like to thank to ESA Chemical and Metal Company for their supports.

Keywords:

Pultrusion methods, Glass Fibre Reinforced Plastic, Modelling of greenhouse structure

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. Ayrıca taze sebze ve çiçek, tarlada ve bahçede yılın her mevsiminde yetiştirilemez. İnsan sağlığı yönünden sebzelerin her mevsimde taze olarak yenilmesi gerekmektedir. Sebzelerin insan sağlığı yönünden önemi, içinde bulunan vitaminler, hormonlar, bazlar, mineral ve biyokimyasal maddelerden dolayıdır. Sebzelerin çeşitli şekillerde saklanarak yetiştirme mevsiminin dışında tüketilmesi sorununa bir ölçüde çözüm olabilirse de, derin dondurulan soğuk hava depolarında, konserve yapılan veya kurutulan sebzeler, tazesine göre birçok özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır. Bunun yanında bazı sebzelerin 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 çiçeklerin yetiştirme, gelişme ve büyümeleri için çevre koşullarının uygun olmadığı mevsimlerde, taze sebze ve çiçek yetiştiriciliği ancak bu bitkilerin en iyi şekilde gelişmesi için uygun koşulların yaratıldığı sera olarak tanımlanan özel tesisleri (Şekil 1) 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.



Şekil 1. Kalıcı sera örnekleri

1.2. Dünyada Seracılık

İtalya'da Romalılar devrinde güneye bakan kuytu yamaçlarda açılan çukurların üzerinin şeffaf malzemeyle kapatılarak sebze yetiştirilmesinden başlayan, örtü altında bitki yetiştiriciliği, daha sonra Avrupa'da evlerin güneye bakan yönlerinin camla örtülmesiyle gelişmeyi sürdürmüştür. 16. ve 17. yüzyıllarda yapılan, bu yapılar seracılığın ilk başlangıcı sayılabilir. 18. asırda bu yapılarda ışık miktarının az olduğu belirlenerek, yapı içine giren ışık miktarını arttırmak amacıyla pencere alanı fazlalaştırılmış 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 seracılığı inceleyecek olursak 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 serin, ılıman ve iki iklimli olarak sınıflandırmamız mümkündür.

Serin iklim kuşağında yer alan başlıca Avrupa ülkelerinden Hollanda, İngiltere, Danimarka, B. Almanya, Romanya, Bulgaristan ve Sovyetler Birliğidir. Hollanda bu ülkeler içinde 10.000 ha 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.

- Üretim masraflarının yüksek olması,
- Enerji giderinin fazla olması,
- Ürün çeşidinin arttırılmamasıdır.

İlman iklim kuşağında 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 ürünlerin verim ve kalitesi daha düşüktür.

İki iklimin egemen olduğu 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 çıktığında ısıtma masrafları yükselmektedir.

1.3. Ülkemizde Seracılık

Ülkemizde sera sebzeçiliği başlangıcı son 50-55 yıl kadar öncesine dayanır. 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 klima 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 klima özelliğindeki ekolojik uygunluğu, zengin jeotermal kaynakların toprağın kolay ısınmasına etkisi, İzmir gibi büyük bir pazara yakınlığı bölgede seracılığın gelişmesindeki önemli etmenlerdir. Seralarda en çok salatalık yetiştirilmekte ve daha sonra ilkbaharda semizotu, sonbaharda marul gelmektedir. Son zamanlarda süs bitkileri yetiştiriciliğine önem verilmektedir.

Seraların bulunduğu alanların yoğun yerleşim merkezleri olması nedeniyle, İzmir dolayında seracılık alanı yönünden doyum noktasında bulunmakta ve bu alanların yoğun bir şekilde artması beklenmemektedir. Sera alanlarının son zamanlarda hızla arttığı il Muğla'dır. Ekolojik koşulların uygun olması ve yeni sera 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, salatalık 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 salatalık yer almaktadır. Bölgenin ekolojik koşullarının uygun olmasına karşılık, üretim tekniğinin iyi olmaması nedeniyle, niteliği düşük ürünler elde edilmektedir.

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; yüzeysele örtüler, alçak tüneller, yüksek tüneller ve seralar olmak üzere dört ayrı sınıfta incelenmektedir.

Sera 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 yapıım 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 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. Bu tür malzemelerin sera yapıımı sektöründe kullanımını artırmak ve bu malzemelerin statik ve dinamik yük etkileri altındaki davranışlarını incelemek gerekmektedir. Bu nedenle kompozit malzemelerden yaygın olarak kullanılan pultrüzyon metodu ile üretilen CTP kullanılarak model bir sera yapılmış ve imal edilen bu seranın yükler etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. CTP ile yapılan serada kullanılan profillerin mekanik özellikleri, ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak belirlenmiş ve modern sera tasarımı için gerekli iyileştirmeler araştırılmıştır. Belirlenen mekanik özellikler kullanılarak sera sistemleri bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu ile modellenerek statik ve dinamik yükler altındaki davranışları tespit edilmiştir. Nümerik modeli tamamlanan sera modelinin projesine ait kesit ve görünüşler çizilmiştir. Ayrıca detay çalışmalar çerçevesinde uygulanabilirliğe yönelik profil çeşidi, sera elemanlarının birleştirme detayları ve profillerin zemine ankrajlarına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalara bağlı olarak profil ebatları ve üç farklı bağlantı noktası için detaylar geliştirilmiştir. Ortaya çıkan nümerik çalışmalar ışığında sera modelinin arazide uygulaması gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Tarihsel Gelişim

Yapılarda kullanılan malzemeler, sağlamlık (strength) 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 özelliğidir. Malzemeye çeşitli yükler uygulandığında malzeme mutlaka karşı direnç göstermeli ve deformasyona izin vermemeli yada deformasyon oluyorsa bile çok küçük boyutlarda kalmalıdır[HOLMES, 1983]. 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, yüklenme durumunda gözlenen deformasyon ortadan kalkıyorsa bu tip malzemeler de kullanılabilir. Böyle bir özelliğe sahip malzemeler, genel olarak elastik yapılu malzeme olarak tanımlanırlar. Elastik malzemedeki, yüklenme durumunda yük ile deformasyon arasında eğer sabit bir oran varsa, bu tip malzemeye lineer elastik malzeme denir.

Yapıda kullanılacak malzeme için sağlamlık ve mukavemetlik iki temel gereksinim olmakla birlikte malzeme, sünme yapmamalıdır. Eğer yapıda kullanılan bir malzemenin sünme özelliği varsa ne kadar sağlam ve mukavim olursa olsun en kısa zamanda yük ve ısı sayesinde şekil değiştirir, bu durum istenmeyen olaylar ile sonuçlanabilir. Ayrıca, malzeme hafif yani, yoğunluğu düşük olmalıdır. Hafif malzemeler yapıya büyük avantaj getirmektedir. Çünkü yoğunluğu fazla olan yapı malzemelerine, hareketli yükler (rüzgar, deprem, v.b.) karşısında, yoğunluğu az olan malzemelere göre, daha fazla kuvvet gelmektedir. Bunlara ek olarak, yapıda kullanılacak malzemeler sağlıklı ve güvenli olmalıdırlar. Güvenli olma kriteri ise herhangi bir zorlanma veya aşırı yük karşısında deformasyonu belli bir seviyeye çıkabilir fakat ani kırılma, kopma veya yıkılma yapmamasıdır. Ayrıca, yangın anında ani alev almamalı, ısı karşısında ani deformasyona uğramamalı, erimemeli ve bu esnada zehirli gaz çıkarmamalıdır.

Konstrüksiyonda kullanılacak malzeme belirlendikten sonra, yapının şekli de kullanılacak 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, yüklenme 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[HOLMES, 1983]. 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[HOLMES, 1983]. Yaklaşık 3000 yıldır kullanılmakta olan demir, 19. yy'ın başlarındaki endüstri devriminden sonra yapılarda kullanılan temel malzeme olarak yerini almıştır. Endüstri devriminin ardından ortaya çıkan buhar makineleri sayesinde, demirin işlenmesi için gerekli olan ısı ve diğer ihtiyaçlar sağlanmış oldu. Bu sayede, ucuz ürün elde edilmeye başlandı. Bütün bu gelişmeler doğrudan mühendisliğe yansdı ve elde edilen gelişmeler büyük bir hızla yayılmaya başladı. İlk yapı malzemeleri olan ham demiri, patlamalı fırınlarda işleyerek dökme demir ve dövme demir elde edildi. Dökme demir ucuz üretim yöntemi sayesinde, 19.yy'da geniş bir kullanım alanı buldu. Hatta dünyanın ilk demir köprüsü 1778 de İngiltere'de Coalbrookdale Kasabası civarında, Severn Nehri üzerindeki 31m açıklığa sahip köprüdür[ERKAN, 2000]. Yapı malzemesi olarak kullanılan dökme demirin en büyük sorunu, düşük çekme mukavemeti ve kırılğan doğasıydı. En büyük avantajı ise, isminden de anlaşılacağı gibi döküm yöntemi ile üretildiği için istenilen her şekle sokulabilmesiydi. Ancak, böyle bir işlemi yapabilmek için yüksek ısıya, uygun kalıba ve doğal olarak yetişmiş kalifiye bir elemana ihtiyaç vardı. Diğer taraftan dökme demirin tersine, dövme demir daha esnek, daha yüksek çekme mukavemetine sahip fakat şekil verilmesi zor bir malzemeydi. Bu yüzden dökme ve dövme demir, yapı mühendisliğinde yok denecek kadar az yer almıştır. Fakat, Bessemer ve Siemens dövme ve dökme demir yerine, korozyona nispeten daha dayanıklı olan çeliği keşfettiler[HOLMES, 1983]. 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 uğramıştır. Daha önce hayal bile edilemeyen, geniş açıklıklara sahip yapıları üretmek mümkün kılmıştır. Bu başarıyı, günümüzde de çok büyük açıklıklı köprüler ve çatı makasları gibi yerlerde görmekteyiz. Bununla beraber, yaygın olarak kullanılan çeliğin, aşınmaya eğilimli olduğu ve çeliğin özelliklerinin korunabilmesi için alınacak önlemlerin maliyet açısından büyük yükler getirdiği fark edildi. Ayrıca, çeliğin yoğunluğunun fazla olması da diğer bir dezavantajıydı. Örneğin; yeni tür malzemeler sayesinde 20.yy'da geliştirilmeye başlanan uçakların, sadece yüksek kuvvetlere dayanmayıp, aynı zamanda hafifliklerine de şahit olunmuştur. Buradan çıkarılacak sonuç, yapılarda da kullanılacak 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.

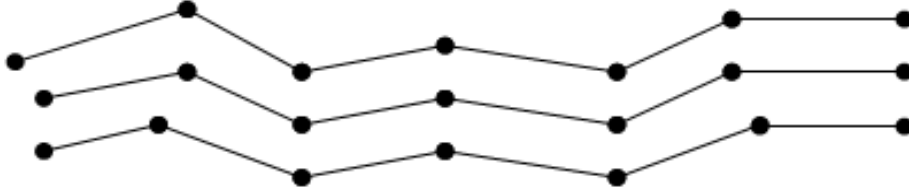
Temel olarak, bir yapıda kullanılacak malzemelerin gereksinimlerini demir ve çelik karşılamasına rağmen; bu malzemelerin dezavantajları arasında yer alan unsurlar yeni nesil malzemeler olan kompozit malzemeler geliştirilmektedir. Kompozit, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılması ile oluşan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip, yeni bir malzeme olarak tanımlanır[WEB 1]. 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[ŞAHİN, 2000]. Bulunan bu yapıdırıcı malzeme, yavaş donması, malzemeleri daha sağlam bir hale getirmesi ve düşük sıcaklıkta kolay şekil verilebilmesi nedeni ile hala en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu tip bağlayıcı karışımlar, yapı malzemelerinin mukavemetini ve dayanımını artırdığı için sürekli araştırma konusu olmuştur. Jhon Smeaton 1756 yılında içerisinde kireç, kalsiyum oksit, alüminat ve silikat bulunan bir karışımı Eddystone Fenerinin yapımında kullanmış ve bu gelişmeden kısa bir süre sonra, 1796'da James Paker kil ve kireç taşının karışımı ile elde edilen Roma Çimentosunun patentini almıştır[HOLMES, 1983]. Böylece 19.yy'ın sonlarına doğru çok büyük bir icat olan çimento keşfedilmiş oldu. Joseph Aspdin 1824 yılında, günümüzde de yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli çimento yapımının ilk adımını atmıştır. Aspdin'in çimentosu, kireç ocağında yakılmış kil ve tebeşirin toz haline getirilmesi ile oluşmaktaydı. Aspdin'in kullandığı temel malzemeleri çok daha yüksek sıcaklıklara kadar yakan Isaac Jhonson, 1845 yılında yeni bulduğu üretim yöntemi ile daha yüksek mukavemete sahip çimentoyu keşfetmiş oldu. Bu yeni üretim yöntemini Portland şehri yakınlarında bulduğu için, bu yeni ürüne 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 kütleli olarak kullanılabilen, 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 anlamıyla bir kompozit malzemedir.

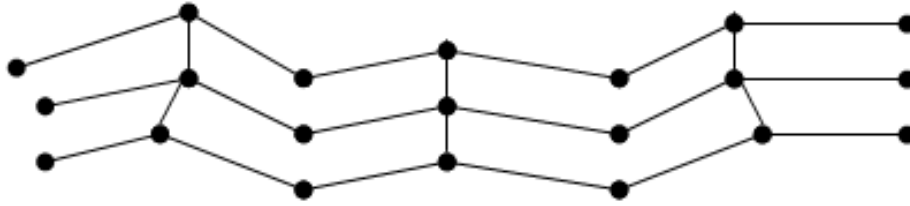
Bu yüzyılın başından itibaren, hem homojen hem de kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmakta ve yapılan bu araştırmalar genellikle organik

maddeler olan ve yaygın olarak plastik diye tanımlanan süper polimerler üzerine kaymıştır. Bu malzemeler özellikle 2. Dünya Savaşından sonra hızlı bir yükseliş içerisinde olmuştur[HOLMES, 1983]. Süper polimerlerin kimyasal yapısının temeli monomerlerden oluşmaktadır. Monomerler, C_2H_4 atomundan oluşmakta ve bunların birleşmesi ile polimerler oluşmaktadır. Bu kimyasal olay, polimerizasyon olarak bilinmekte ve temel olarak polimer zincirlerinin oluşması olarak tanımlanmaktadır. Süper polimerler (plastikler) iki temel yapı içerisinde olabilmektedirler. Bunlardan ilki, ısı ile tekrar tekrar şekil verilebilen basit polimer zincirlerinden oluşan ve yapısal olarak Şekil 2’de de gösterilen Termoplastiklerdir[HOLMES, 1983].



Şekil 2. Termoplastik polimer zinciri

Diğer süper plastik ise, polimer zincirleri arasında Şekil 3’te de görüldüğü gibi, oluşan bağ zincirleri sayesinde, bir kere üretildikten sonra bir daha şekilsel olarak üzerinde ısı veya başka bir yöntem ile tekrar değişiklik yapılamayan malzeme, Termoset Plastik olarak tanımlanır[HOLMES, 1983].



Şekil 3. Termoset plastik polimer zinciri

İlk termoset plastik, fenol ve formaldehit karışımı olan bakalittir. 1907 yılında Belçikalı kimyager olan Leo Beakeland tarafından üretilmiştir. Silikon, epoksi ve polyester bu grupta yer almaktadır. Bu grupta yer alan ve yapı malzemelerinde en çok kullanılan süper plastik (reçine) ise polyesterdir. Fakat tek başına yapı elemanı olarak kullanılamaz. Çünkü, yük altında kullanım için yapı malzemelerinde aranan dayanım ve mukavemet değerleri nispeten düşüktür ve buna ek olarak da malzeme gözlene sünme ise ihmal edilemeyecek düzeyde yüksektir. Betonda olduğu gibi, bu malzemenin üzerinde de çekme mukavemetini arttırmak ve yapıda taşıyıcı eleman olarak kullanabilmek için cam liflerinin de arasında bulunduğu birçok malzemeyle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, Polyester reçinesinin cam elyafı ile birleşmesinde gösterdiği uyum, bu ikilinin en çok tercih edilen malzemeler arasında yer almasını sağlamıştır. Takviye malzemesi olarak karbon ve boron elyafı gibi çeşitli elyaf cinsleri de denenmiş fakat ekonomik olarak en uygun olanın cam elyafı olduğu tespit edilmiştir. Bu geliştirilen teknolojik yapı malzemesi, yeni yapı tasarımlarında süratle kendisine yer edinmektedir. Örneğin, Londra’daki Merpoth okulunun ve Dubai Havaalanının çatı sistemleri CTP malzemedan yapılmıştır[HOLMES, 1983]. 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[ARIKAN, 2004].

2.2. Kompozit Çeşitleri

2.2.1. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Kompozitte kullanılan takviye elemanının her doğrultusundaki (x,y,z) boyutu hemen hemen aynı ise, bu malzemelere parçacık takviyeli kompozitler denir [ERSOY, 2001]. Parçacık takviyeli kompozitlerde, taşıyıcı eleman olarak genellikle küre, pul veya kısa çubuk gibi malzemeler kullanılır. Polimer matriksli kompozitlerin dışında da bu tip kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitlerde kullanılan parçacık elemanları genellikle taşıyıcı değil, boşluk doldurmak ve maliyet düşürmek amacı ile kullanılır. Buna örnek olarak betondaki kum ve çakılı verebiliriz. Betondaki kum ve çakıl takviyeden çok dolgu görevi görmektedir.

2.2.2. Lamine (Tabakalı) Kompozitler

Bu tip kompozitler, farklı mukavemetlere sahip iki veya daha fazla katmandan oluşan levha şeklindeki malzemelerdir. Diğer bir deyişle, aynı cins veya başka cinsten parçaların lehim, tutkal gibi yapıştırıcı kullanarak birbirine eklenmesiyle istenilen şekil veya boyutlarda elde edilen yeni malzemelerdir [YÜCEL, 2004]. Genel olarak tabakalı kompozitler, bölme amaçlı kullanılır; ayrıca, ısı ve ses yalıtımı istenen yerler için ideal bir yapıya sahiptirler.

2.2.3. Fiber Takviyeli Kompozitler

Fiberler, boylarına nispetle çapları çok küçük olan malzemelerdir. Bunları dilimizde "lif" çoğul olduğunda "elyaf" diye adlandırırız. Elyaf takviyeli kompozitler, kendi kesit alanlarından çok daha uzun yapıya sahip lifleri bünyesinde ihtiva eden malzemelerdir[ERSOY, 2001]. Diğer bir deyişle, malzemenin mekanik mukavemetini arttırmak ve gevrek kırılmasını önlemek için asıl malzeme olan matrikse (reçineye) çubuk şeklinde donatılar veya lifler ilave edilerek oluşturulan sistemlere, lifli kompozitler denir. Betonarme, kerpiç ve fiber malzemelerle güçlendirilmiş polimerler matriksli kompozitler örnek olarak verilebilir. Elyaf takviyeli kompozitler, kullanılan elyafın cinsine göre (karbon, aramid, organik, boron, sürekli silikon carbide v.b. gibi) çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar.

2.3. Kompozit Malzemeleri Oluşturan Bileşenler

Kompozit malzemeler, reçine (Matriks) ve elyaf (Takviye, Reinforcement) bileşenlerinden oluşur. Bu bileşenler birbirleri içinde çözülmezler veya karışmazlar. Genel olarak kompozit malzemelerde elyaflar sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri; plastik reçine (matriks) ise elyafların birbirine bağlanmasını, yükün elyaflar arasında dağılmasını ve elyafların kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar.

2.3.1. Matriks Elemanları

Kompozit malzemelerde kullanılan reçineler temel olarak metal, seramik ve polimer (plastik) esaslı olmak üzere üç gruba ayrılır. Metal matriksler, büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için pahalı ve çalışmaları zordur. Seramik matriksler ise yüksek oranda kırılma olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip değildir. Bu nedenle seramik matrikslerin kullanım alanları, yüksek ısı ile çalışan yerlerle sınırlıdır[YÜCEL, 2004]. Bu gibi zorlukların olmasından dolayı kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrikslerle üretilmektedir.

Matriks malzemeleri çoğunlukla plastik esaslı olduklarından, kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Bu yüzden diğer tüm matriksler arasında, ekonomik olarak en uygun olanı plastik matrikslerdir. Plastik matrikslerin arasında ise en çok kullanılanları termoset esaslı olan polyester ve epoksi reçinelerdir.

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 (ültraviyole, ısı, v.b.) ve mekanik (çarpma gibi) hasarlardan korumaktır.

Bu bölüm, kompozit malzemelerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan ve bu çalışmada kullanılan malzemeye ait matriks elemanı olması nedeni ile polimer matriksler hakkında bilgileri kapsamaktadır.

Polimerler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen, zincirler şeklinde bir yapıya sahip olan sentetik malzemelerdir[ŞAHİN, 2000]. 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.

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 yönelirler. Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Kompozitlerde, matriks malzemesi olarak genellikle plastikler kullanılır. Plastikler de kendi içinde “Termo plastikler” ve “Termoset” plastikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

2.3.1.1. Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı termoplastikler, rijit bir yapıya sahip değildirler. Isı ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirdiğinde yapısal değişikliğe uğramayan plastiklerdir[ARIKAN, 2004]. 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[ŞAHİN, 2000]. 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.

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[YÜCEL, 2004]. 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[ARIKAN, 2004].

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[YÜCEL, 2004].

2.3.1.2. 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 kademe 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[ŞAHİN, 2000]. Bu yüzden tekrar ısı işlem ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler; epoksiler, polyesterler ve fenoliklerdir. Ayrıca bunların dışında, silikon, polymide, bismaleimide ve aminolar kullanılmaktadır.

A. Epoksi

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 ısı 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 transistör ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

B. Polyester

Polyester kelimesi birleşik bir kelime olup, çok anlamındaki “poly” ve organik tuzu ifade eden terim olan “ester” den oluşur. Polyester kelimesi çok sayıda organik tuz olarak ifade edilebilir. Ayrıca ester molekül zincirlerini de Polimer olarak tanımlayabiliriz.

Doymamış polyester reçinelerin ilk pratik uygulama örneği, II. 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 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[WEB 2].

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[ARIKAN, 2004].

C. 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. Fenolikler toplam reçine kullanımının %10'unu kapsar. Bu reçineler genellikle ahşap yapıştırıcısı, baskı devre plakaları ve fren balatası yapımında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

D. Silikon

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.

E. 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[ARIKAN, 2004].

F. Bismaleimide (BMI)

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

G. Amino Reçineler

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

2.3.2. Takviye Elamanları

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 formu malzemeler kullanıldığı zaman optimum özellikler elde edilebilmektedir. Fakat bunlar ekonomik olarak pahalıdır.

Kompozit malzemelerde en yaygın olarak cam, karbon ve aramid elyafları kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilmektedir.

2.3.2.1. 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[WEB 2]. 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 ocakta, elektrik enerjisi ile $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyet ile 1250°C de ısıtılır ve üzerinde 1-2 mm çapında çok sayıda delik bulunan kovan denilen eleklerden geçirilir[WEB 2]. 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;

- A Cam - Pencere ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitler de çok fazla kullanılmaz.
- C Cam - Yüksek kimyasal direnç gösterir. Bu özelliği nedeni ile depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.
- E Cam - Takviye elyaflarının üretiminde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir.
- 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.

Malzeme elyaf haline geldiğinde, reçine ile arasındaki aderansı sağlamak amacıyla, kovan deliklerinden geçen sıvı malzeme üzerine, hava ile birlikte kaydırıcı (Lubricant) ve bağlayıcı (Coupling Agent) püskürtülür; böylece malzeme yarı katı hale getirilir. Yarı katı haldeki eriyik malzeme, "kek" adı verilen silindir üzerine 50-70 m/s gibi yüksek bir hızla, cam lifi demetleri olarak sarılır. Sarım hızına bağlı olarak, 6-20 μ çapında değişen cam elyafı elde edilir[ARIKAN, 2004].

Elyaf takviyeli organik bağlayıcı kompozitlerin ilk uygulamaları, cam elyaflar ile yapılmıştır. Hem sürekli hem de süreksiz cam elyaf takviyeli kompozitler, uçak kontrol panelleri gibi yapısal olmayan kullanımlardan, roket motoru parçaları, yüksek basınç kabinleri gibi yüksek yapısal dayanım gerektirmeyen uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede uygulama imkanı bulunmaktadır. Cam elyafı, birçok çeşidi olmasından dolayı, çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca, cam elyaf takviyeli kompozitlerin geçmişten günümüze kadar birçok kullanım alanı bulmasının ana sebebi; düşük maliyeti, kolay elde edilebilirliği, üretim kolaylığı ve yüksek mukavemeti olarak gösterilmektedir.

Takviye için kullanılan cam elyafları, biçimlerine temel olarak Devamlı Cam Elyafı Takviye (fital, iplik ve keçe) ve Kesikli Cam Elyafı Takviye elemanları olarak sınıflara ayrılırlar.

A. Fital

Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile üretilir[ŞAHİN, 2000]. Fital ürünleri 10-24 mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000 metre uzunluğunda ve 600 gr, 1200 gr, 2400 gr ve 4800 gr ağırlığında olacak şekilde üretilir. Kullanım yeri ve prosesine bağlı olarak, sertlik, lifler arasında eş gerilim, kayganlık ve kolay kırılabilme gibi farklı özellikler fitillere kazandırılabilir. Özel olarak üretilen ve “Spun roving” adı verilen düğümlü fitilde ana doğrultuya dik yönde takviye sağlayan ilmekler bulunmaktadır. Bunun amacı; tek yönde takviye edilmiş pultrüzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanal mukavemeti arttırmaktır.

B. İplik

İplik; cam elyaf liflerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen lif çeşididir. Şekil 2’de fital ile ipliğin farkı görülmektedir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.



a) Fital



b) İplik

Şekil 2. Elyaf çeşitleri [WEB 2]

C. 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 gr/m²) ve enlerde (125-300 cm) üretilen kumaşlar, cam tülü veya keçe ile dikilerek kombine ürün haline getirilerek de kullanılmaktadır (Şekil 3).



a) Dokunmuş Fitilleb)



Dokunmuş Cam Kumaş



c) Dikilmiş Kumaşlar

Şekil 3. Kumaş çeşitleri[WEB 2]

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 Fitil 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 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), 50 mm uzunluğunda kırpılmış cam elyafı demetlerinin, bağlayıcı ile bir arada tutulmasıyla oluşur (Şekil 4). 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 4. Keçe (Mat) çeşitleri

D. Kesikli Cam Elyafı

Kesikli cam elyafı takviyeleri Şekil 5'te de gösterildiği gibi, boylarına göre iki çeşittir. Bunlardan ilki, 3-12 mm uzunluğundadır ve kırpılmış elyaf olarak adlandırılır[WEB 2]. İkincisi ise, öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları, 0.1 -0.2 mm'ye düşürülmüş olan cam elyafı takviye malzemesidir. Bu liflerin çapları 10-17 mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı, termoplastik ve poliüretan reçinelerin takviyeleridir.



a) Kırılmış Elyaf



b) Öğütülmüş Elyaf

Şekil 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 $7000-8000 \text{ kN/cm}^2$ değerinden daha yüksek elastik modül değerlerine ihtiyaç duyulur. Bu yüksek modül değerlerini karşılayabilmek üzere, daha yeni ve yüksek teknolojik ürünler geliştirilmektedir.

2.3.2.2. 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 345 kN/cm^2 mukavemet ve 13200 kN/cm^2 elastik modülüne kadar ulaşabilmektedir. Aramid elyafı, sahip olduğu mekanik özelliklerinden dolayı, yüksek dayanım istenen kompozitlerin yapımında kullanılır ve en çok bilineni Kevlar 49'dur[ARIKAN, 2004].

1980'den beri, yüksek teknoloji ürünleri olarak bilinen aramid elyafı, önemli bir mesafe kat etmiş olup; uzay, denizcilik, spor ürünleri, eğlence, otomotiv ve silah endüstrisi gibi klasik kompozit pazarlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu elyaf, düşük yoğunluk ile yüksek elastik modül ve ayrıca iyi düzeyde yapışma özelliği ile yüksek mukavemet/ağırlık oranını bir araya getirmektedir. Mukavemet ve modül değerleri yanı sıra, liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi ve darbeye karşı dayanım özelliklerinden dolayı, yaygın olarak kullanılan reçinelerin çoğunluğu ile kullanılabilir. Aramid elyafının negatif ısıl genleşme katsayısından dolayı, ısı iletiminin önem taşıdığı ortamlarda yaygın olarak kullanılır. Aramid ürünleri iplik, fitil, kırılmış elyaf şeklindedir. Ayrıca, aramid elyafı fiyat/performans değerlerini sağlamak üzere tasarlanmış olan aramid, cam ve karbon elyafının kombinasyonu şeklinde hibrid ürünler halinde de üretilmektedir[WEB 2].

2.3.2.3. 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 savaş uçaklarında halen kullanılmaktadır.

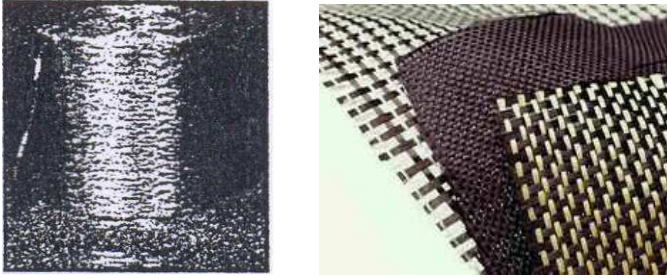
2.3.2.4. Karbon / Grafit Elyafı

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 tabii 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 6’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[ŞAHİN, 2000].



Şekil 6. Karbon elyafı

2.3.2.5. 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.

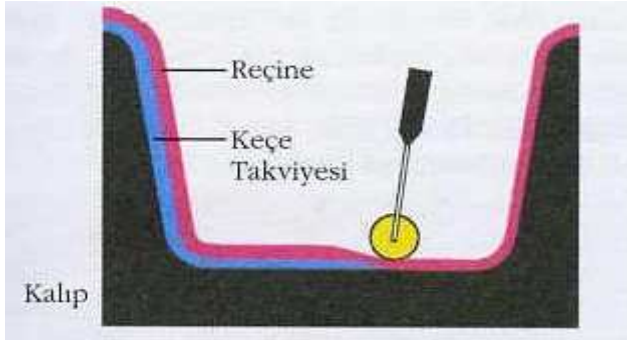
BÖLÜM 3

CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

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

3.1. Elle Yatırma (Hand Lay-Up)

Düşük üretim düzeylerinde yaygın olarak kullanılan bir kalıplama metodudur. İlk zamanlardan gelişime açık olan ve üzerinde çalışılan üretim yöntemlerinden biri olmuştur. Bu yöntemin birçok uygulama alanı vardır ve özellikle yüksek mukavemet gerektiren oldukça büyük parçaların üretiminde rahatlıkla kullanılabilir. Kompozit endüstrisinde kalıplama yöntemleri arasında temel ve en uygulanabilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu proses (Şekil 7) sıvı reçine ve takviye malzemesi ile (genellikle keçe veya dokuma) birlikte açık kalıba yerleştirilir ve rulo ile uygulama yapılır. Reçinede meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, malzemeyi yüksek dayanımlı ve hafif ürünler elde edilecek şekilde sertleştirir. Beton matriks, içindeki çelik çubukların takviyesini üstlendiği gibi, reçinede elyaf takviyeleri için matriks görevi görmektedir.



Şekil 7. El yatırması yönteminin genel görünümü

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

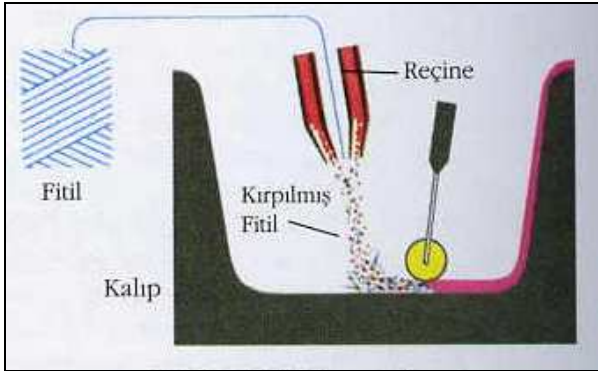
Takviye malzemesinin çeşidi ve kalınlığı için tasarım aşamasında bir takım hesaplamalar yapılır. Ayrıca katalizörler, hızlandırıcılar ve yapılacak olan parçanın kullanımı için gerekli olan malzemeler reçineye ilave edilebilir. Böylece kompozit laminatlar, dışarıdan ısı kaynağına ihtiyaç duymadan, oda sıcaklığında sertleşirler. Birçok el yatırması uygulamasında reçine olarak, genel amaçlı DCDP polyester ağırlık kazanmıştır. Ayrıca; izoftalik polyesterler, vinil esterler ve epoksi reçineler gibi diğer termoset esaslı reçineler de kullanılmaktadır. Bununla beraber, bu kalıplama yönteminin bir çok uygulamasında, takviye elemanı olarak kompozit

malzemenin ağırlıkça %25-35'ini oluşturacak şekilde, keçe kullanılmaktadır. Dokuma, daha yüksek oranda bir takviye yüklemesi ve bunun sonucunda daha yüksek mukavemet değerleri elde etmek amacı ile kullanılır ve bazı uygulamalarda CTP laminatın %50'sini oluşturur.

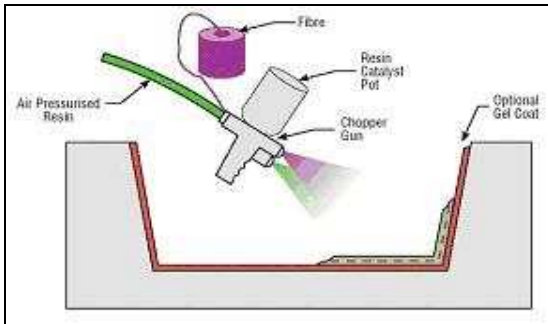
El yatırması yöntemiyle üretilen parçaların tipik son ürün uygulamaları, tekne gövdeleri, otomobil ve kamyon gövde panelleri, yüzme havuzları, depolama tankları, korozyona dayanıklı ürünler, elektrikli ev aletleri, havalandırma kanalları, mobilya ve aksesuarları gibi ürünleri içerir. Ayrıca, CTP kompozit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

3.2. Püskürtme (Spray-Up)

Püskürtme yöntemi, bir çok yönden el yatırması yöntemiyle benzerlik gösterir. Püskürtme, düşük ve orta üretim düzeylerindeki CTP ürünlerinin imalatı için kullanılmaktadır. Bu yöntemde, cam elyafı takviye malzemeleri ile kataliz eklenmiş reçineler Şekil 8'de gösterilen özel bir püskürtme tabancasıyla kalıp yüzeyine uygulanır. Bu tabanca, uygun uzunluklarda sürekli elyaf liflerini kırpmakta ve aynı zamanda elyafları reçineyle karıştırarak yüzeye püskürtmektedir. Malzeme, kalıp yüzeyine püskürtüldükten sonra, laminatın tamamen ıslanabilmesi ve reçinede kalan hava kabarcıklarının çıkartılabilmesi için Şekil 9'da gösterildiği gibi rulolama işlemi yapılmalıdır. Kırpılmış cam elyafı tabakalarının yanı sıra, gerektiğinde dokuma veya kumaş gibi takviye malzemeleri de kullanılmaktadır. Ayrıca, püskürtme reçinesine, üründen beklenen özellikleri geliştirmek, maliyeti düşürmek ve yangın/duman performansını arttırmak amacıyla kalsiyum karbonat ve alüminyum trihidrat gibi dolgu malzemeleri de ilave edilebilmektedir.



Şekil 8. Püskürtme yönteminin genel gösterimi



(a) Püskürtme Yöntemi



(b) Püskürtme Tabancası

Şekil 9. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yönteminde, matriks malzemesi olarak genel amaçlı reçineler ya da DCDP polyester reçineler kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilmiş parçalar genellikle oda sıcaklığında sertleştirilir. Buna rağmen bazı durumlarda, hafif derecede dışarıdan ısıtma, sertleşme sürecini hızlandırmak amacıyla kullanılır. Püskürtme yönteminde takviye malzemesi olarak, genelde 1,3 ile 2,5 cm. uzunluğunda kırılmış cam elyafı kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi kullanılmamış sistemlerde cam elyafı takviyesi ağırlıkça %20-35 arasındadır.

Dolgu malzemesi kullanılmış sistemlerde ise, dolgu malzemesi kısmen takviye malzemelerinin yerini alır ve böylece son üründe kullanılan elyaf takviye miktarının ağırlıkça oranı %10-20 arasında değişir. Ayrıca, uygulama yerindeki beklentilerine göre farklı takviye malzemeleri kullanılabilir. Başlıca kullanılan takviye malzemeleri keçe, fitil dokuma, şerit, kumaş ve elle yerleştirilebilen diğer malzemelerdir. Bunlara ek olarak, el yatırmasına benzer şekilde PVC ya da poliüretan köpük, kontrplak ve oluklu paneller gibi ara malzemeler kullanılarak konstrüksiyonlu laminatların üretimi de mümkündür.

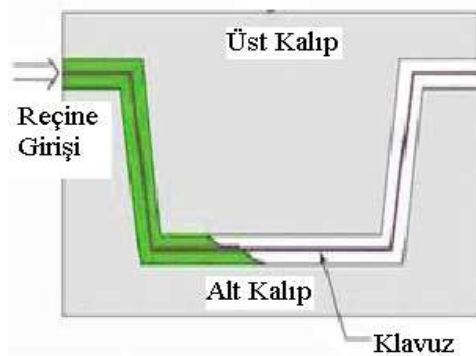
Bu yöntemle üretilen tipik ürünler tekne gövdeleri, otomobil ve kamyon gövde panelleri, yüzme havuzları, korozyon dayanımlı ürünler elektrikli ev aletleri, havalandırma kanallarıdır.

3.3. Reçine Transfer Kalıplama (Rtm) / Reçine Enjeksiyonu

Bu kompozit üretim yöntemiyle, El Yatırma ve Püskürtme metodundan daha hızlı üretim ve uzun ömürlü malzeme imal edilmektedir. Fakat bu sistemde iki parçalı kalıp kullanılmaktadır. RTM yöntemi, her iki yüzeyinde düzgün olması istenen parçalar için kullanılan bir yöntemdir.

Bu sistemde takviye malzemesi olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılırken; bunlara ek olarak jelkotlu veya jelkotsuz uygulamaların yapılması da mümkündür. RTM'da ilk olarak takviye malzemesi (kuru olmalıdır) önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve Şekil 10'da gösterildiği gibi elyafların basınç altında kaymaması için, elyafların ortasına, hem tutucu hem de ısıtıcı olarak görev yapan klavuz elemanı konularak kalıp kapatılır. Ardından, reçine enjeksiyon yardımıyla soğuk, ılık veya en çok 80 °C' ye kadar ısıtılmış kalıba basınçlı olarak pompalanır. Bu ikinci süreç birincisinden daha fazla zaman alır. Ayrıca, içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyice işlemesi için vakum da kullanılabilir.

Başlıca RTM uygulamaları; kamyon gövde parçaları, otomobil gövde panelleri, otobüs panelleri, spoiler, gösterge panelleri, tıbbi cihazlar, depolama tankları, araç koltukları, kimyasal pompalar, küçük tekneler gibi denizcilik parçaları ile rüzgar enerjisi tribün kanatları, uçak parçaları ve bisiklet gövdeleridir.



Şekil 10. RTM yönteminin genel gösterimi

3.4. Hazır Kalıplama (Compression Molding)

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

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

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

Hazır Kalıplamada kullanılan diğer malzeme BMC, takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamurdur. BMC malzemesi, RTM' ye benzer bir yöntem ile kullanılır. İki yöntem arasındaki fark ise BMC' de reçine ve elyafın kalıp dışarısında karıştırılıp, basınç altında boş kalıp içine enjekte edilmesidir. BMC' de sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler kullanılabilir.

3.5. Islak Sistem Pres Kalıplama

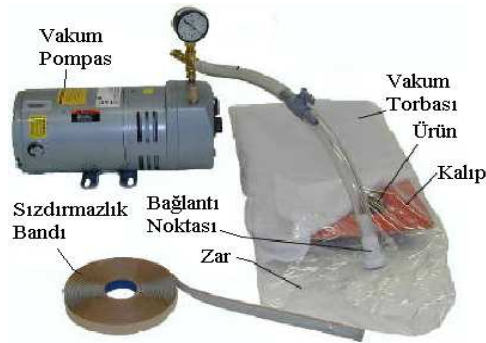
Islak sistem ile kalıplama yöntemi 1940'ların başlarında keşfedilen ve kullanılmaya başlanan ilk basınçlı kalıplama yöntemidir. Bu yöntem, prese bağlanmış ve 96-177°C arasında ısıtılmış uygun metal kalıplar içine kuru takviye malzemesi yerleştirilir. Ardından takviye malzemesinin üzerine sıvı reçine dökülür. Kalıplara 17-70 barlık hidrolik basınç uygulanması ile, reçine hem takviye malzemelerine emdirilir hem de sertleşme tamamlanana kadar malzemenin kalıp içinde sabit tutulmasını sağlar. Sertleşme tamamlandığında proseste sona erer.

Islak Sistem Pres Kalıplama reçineleri genellikle termoset polyesterlerdir. Bununla birlikte vinil ester, epoksi ve diğer reçineler de kullanılabilir. Ayrıca, çeşitli pigmentler ve katalizörler kullanılmasının yanı sıra kil, kalsiyum karbonat ve alümina gibi malzemeler de reçine içerisinde kullanılan dolgu malzemeleridir. Fakat reçine, dolgu malzemeleri ve katalizörler, sıcak kalıbın tamamına yayılmadan sertleşmeyecek özellikte olmalıdır. En yaygın kullanılan reçineler düşük çekme oranına sahip olanlardır. Buna rağmen reçineler aşınmaya dayanıklılık, yüksek elektriksel yalıtıcılık, alev dayanımı, yüksek fiziksel dayanım veya tüm bu özelliklerin kombinasyonuna sahip parçalar üretmek amacıyla modifiye edilebilirler. Islak Sistem Kalıplamanın avantajları; kalıp yüzey görünümünü aynen aktarabilme özellikleriyle SMC ve

BMC kalıplama yöntemlerinin sağladığı bir çok avantaja sahip olması ve takviye oranının artırılabilme olanağı ile elyaf boyunun daha uzun tutulabilmesi sayesinde daha yüksek mekanik mukavemet değerleri sağlanabilmektedir. Islak Sistem Kalıplamanın dezavantaj ise; parçalarda farklı kalınlıkların yapılamaması, Islak Sistem Kalıplama SMC-BMC yöntemlerine kıyasla daha fazla emek gerektirmesi ve SMC-BMC yöntemlerine kıyasla ürün firesinin daha yüksek olmasıdır. Islak Sistem ile ev aletleri ve ekipmanları, elektrik, tarım, eğlence malları, korozyona dayanıklı ürünler, otomotiv ve inşaat gibi sektörlerde kullanılan mamuller yapılmaktadır.

3.6. Vakum Bonding (Vakum Bagging)

Bu kalıplamada diğer yöntemlerden farklı olarak kullanılan ekipmanlar Şekil 11’de de gösterildiği gibi vakum pompası, vakum torbası ve sızdırmazlık bandıdır. Bu yöntemle üretilen kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba konur, ardından bir vakum torbası, en üst katman olarak yerleştirilir. Vakum torbası, içerideki havanın emilmesiyle yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygular. Ardından, tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kurlenmesi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla Elyaf Sarma ve El Yatırma teknikleri ile birlikte olarak uygulanır. Vakum Bagging Yöntemi özellikle kompozit malzemelerin tamir işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 11. Vakum bagging malzemeleri

3.7. Otoklav (Autoclave Bonding)

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

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

3.8. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (Gmt)

GMT, keçe türünde elyaf takviyesi içeren ve termoplastik reçineyle yapılmış plaka şeklinde, preslenebilir ve kalıplamaya hazır özel amaçlı takviye çeşididir. GMT'nin hazırlanması SMC'ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen termoplastik levha üzerine, yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Ardından, bu katmanların üzerine, GTM yumuşakken, bir diğer termoplastik levha yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Son olarak, sertleşen plakalar kesilerek preslenir ve proses tamamlanmış olur.

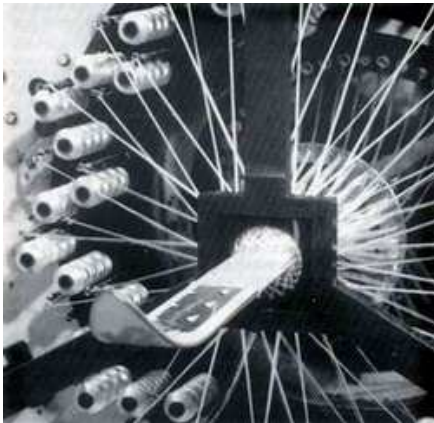
Bu yöntemde, reçine olarak öncelikle polipropilen kullanılmakla birlikte, polyester, polybütilen ve polikarbonat gibi termoplastik reçine türleri de kullanılmaktadır. Termoplastik reçine kullanılarak üretilen kompozit levha ürünleri %22-50 arasında cam elyafı içeren geniş bir çeşitlilik arz etmektedir. Takviye türleri kırpılmış cam lifleri, iğnelenmiş sürekli keçeler ve tek yönlü keçelerdir. Bu yöntemde, kırpılmış elyaflar karmaşık şekilli parçaların üretiminde, sürekli keçeler ise yüksek mukavemet gerektiren ürünlerde kullanılmaktadır. Ayrıca çok yüksek eğilme modülü veya sertlik istenirse tek yönlü takviyeler de kullanılmaktadır.

Bu yöntemin uygulama alanlarının başında, tampon bağlantıları, araç panel taşıyıcıları, koltuk şaseleri, motor gürültü kalkanları, pil yatakları, ön modüller, büyük hacimli malzeme taşıyan gemi konteynirleri, römork hatları, havalandırma şaseleri, iç kapı panelleri ve tavan kaplamaları gelmektedir.

3.9. Elyaf Sarma (Filament Winding)

Elyaf Sarma Yöntemi, spesifik şekillere sahip ürünlerin seri üretimine uygun bir yöntemdir. Bu yöntem, Şekil 12'de gösterildiği gibi sürekli elyaf liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra, bir makaradan çekilerek döner bir kalıp üzerine sarılması ile yapılır. Sürekli liflerin, değişik açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katının sarılmasından sonra ürün sertleşir, ardından malzeme döner kalıptan ayrılır.

Bu yöntemle elde edilen ürünler, bütün büyük sektörlerde kullanılabilir. Başlıca uygulama alanları; petrol veya gaz için tank ve boru ürünleri, kimyasal üretim tesisleri için su/atık su arıtmasında kullanılan boru ve tanklar, çeşitli tank ve borular için parçalar, hava veya gaz basınç hatları, uçak yakıt tankları, roket motorları ve kovan kaplamaları, silah ve top namluları, gemi/yat direkleri, tenis raketi çerçeveleri ve tren vagonlarıdır.

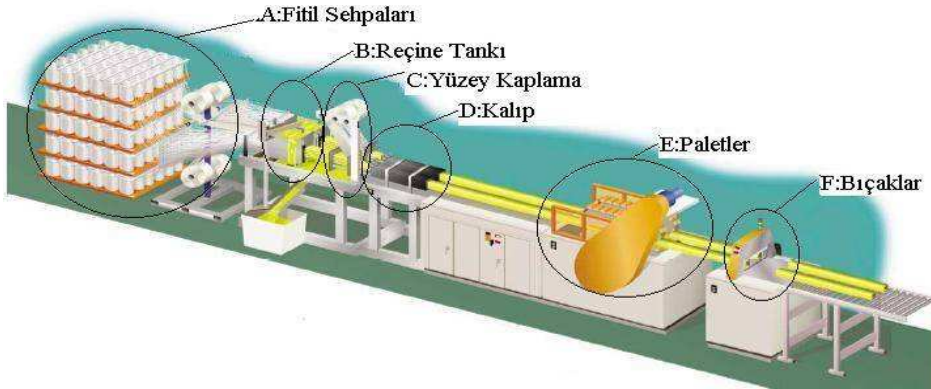


Şekil 12. Elyaf sarma yöntemi

3.10. Profil Çekme (Pultrüzyon) Metodu

Bu bölüme kadar değinilen 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 profil tipindeki malzemeleri ekonomik bir şekilde üretmek için Profil Çekme (Pultrüzyon) yöntemi geliştirilmiştir.

1940'ların sonundan itibaren "Pultrüzyon" başlıca iki tür ürün elde etmek üzere kullanılmıştır. Bunlar; rijit çubuk, lamalar ve boru, kiriş gibi endüstriyel profil şekilleridir. Pultrüzyon makinesinin taslağı Şekil 13'te ve örnek makine Şekil 14'te gösterilmiştir. Pultrüzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi dışında, alüminyum ve termoplastikler için kullanılmakta olan ekstrüzyon prosesine benzemektedir. Ayrıca üretim sisteminin tamamı sırasıyla aşağıda açıklanmıştır. Pultrüzyon yönteminde, cam elyaf takviyesi olarak kullanılan devamlı elyaflara ek olarak dokunmuş fitil, keçe ya da bunların kombinasyonlarının bir veya birkaçı birlikte kullanılır. Fitil sehpaları elyaf, fitil ve keçelerin sarılı olduğu bobinlerin bulunduğu yerdir. Burası Şekil 15'te de görüldüğü gibi, makine üzerinde olmayıp makineden ayrı bir bölümdür. Buradaki elyaf bobinlerinin sayısı, önceden mekanik özelliklerini belirlediğimiz ve üretmek istediğimiz malzemeye göre değişiklik gösterir. Elyaf/hacim oranları %50 ile %80 arasında değişiklik gösterebilir.



Şekil 13. Profil çekme yöntemi konfigürasyonu [WEB 3].



Şekil 14. Profil çekme makinesi [WEB 4].



Şekil 17. Kontrol ünitesi

Pultruzyon metodunda, çelikten yapılmış kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp malzemesi olarak kullanılan çeliğin cinsi, kalıp giriş bölgesinde uygulanacak sertleştirme işleminin derecesi, kalıpta kullanılacak ısıtma yöntemi v.b. etmenler kalıbın tasarım kriterlerini oluşturur. Pultruzyon metodunda kullanılan kalıplar, yüksek karbonlu çelikten üretilmeli ve yaklaşık 25 mikron kalınlığında krom ile kaplanmalıdır. Kalıbın giriş radyusu (köşe açısı), malzeme cinsine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu açı, 6-6,5 mm ile 20 mm'ye kadar değişiklik gösterebilmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Örnek kalıp şekli [WEB 3]

Ayrıca, kalıbın boyu birçok faktöre bağlı olmakla beraber, en önemli faktör kesit alanındaki cidar kalınlığıdır. Kalıp uzunluğu genellikle 90-110 cm arasında değişmektedir. Fakat kalıp boyu, küçük çaplı çubuk gibi basit profiller için 60 cm; hassas boyutlu karmaşık şekiller için 150 cm ye kadar uzatılabilir.

Bu üretim sistemine ismini veren Paletler veya Çeneler, makine üzerindeki son kısımlardan biridir ve kalıptan çıkan profillerin, bu bölümdeki aparatlar ile çekilmesiyle sistem sürekliliği sağlanır (Şekil 19). Paletlerin çekim hızı genel olarak 0.6-1.2m/dak olup, çekilen parçanın uygun yapıya sahip olması halinde 3m/dak. hıza kadar artabilir. Bu yüzden pultruzyon, otomatik bir proses olarak tanımlanır.



Şekil 19. Paletler [WEB 5]

Bıçaklar Şekil 20’de gösterildiği gibi makinenin en sonunda yer alan elemanlardır. İstenen uzunluğa gelen profil, bıçaklar vasıtası ile kesilir ve proses tamamlanmış olur.

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



Şekil 20. Bıçaklar [WEB 3]

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:

Maliyeti düşürmek için, 3-6 mikron boyutunda kalsiyum karbonat (kalsit), alev dayanımı istendiğinde, alüminyum hidroksit, korozyon dayanımı istendiğinde kil, elektriksel izolasyon istendiğinde, alüminyum trihidrat vb. çeşitli dolgu maddeleri eklenebilir. Fakat, her dolgu maddesinin, viskoziteyi farklı etkileme ve süspansiyon oluşturma özelliği de dikkate alınmalıdır.

Pultruzyon yönteminin avantajları:

- Üretim, düşük iş gücü ile yapılabilir,
- Karmaşık geometriye sahip şekiller bile, kolaylıkla üretilebilir,
- Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
- Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
- Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
- 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,
- Ekonomik olması ve bir çok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
- 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,
- Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
- İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,
- Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
- Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için Pultruzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

Pultruzyon yönteminin dezavantajları:

- Pultruzyon prosesinde, elyafın büyük bölümü çekme dayanımı sağlayacak yönde yerleştirildiğinden, genellikle çapraz yönlerdeki mukavemetin düşüklüğü,
- Genel olarak çapraz yönlerde elde edilen özellikler, gerçek çekme dayanımının %10-25 olması,
- Pultruzyon ürünleri genellikle rekabet halinde oldukları malzemelerle aynı rijitlik değerlerine sahip olmaması,
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özelliklerde olmaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımı bulunmakta,
- Malzemenin kalitesi, üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Fakat bu yöntemde standartlaşmış bir kalitenin olmaması,
- Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler yaratabilmektedir.

Pultruzyon ile üretilen malzemeler, önceleri elektrik sektörlerinde kullanılmaya başlanmasına rağmen korozyon dayanımının tespit edilmesiyle inşaat, otomotiv ve havacılık pazarlarında da kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Ayrıca alt yapı uygulamalarında da kullanımı artmaktadır. En hızlı gelişim gösteren pazarlardan bir tanesi korozyona dayanıklı malzeme üretimi ve bunların uygulamalarıdır. Bu profiller, hafif ve kimyasallara karşı dayanım gibi özellikleri nedeniyle su ve atık su temizleme tesislerinde, kimyasal üretim ve diğer bazı endüstriyel tesislerde sık sık kullanılmaktadır. Ayrıca tasarım mühendisleri, 100'ün üstünde standart yapısal şekil

kullanarak, örneğin köprü, bina, kule, merdiven, tırabzan, parmaklık, kablo döşeme sistemleri ile geleneksel malzemelerden yapılan diğer profillerden esinlenerek bu kalıplama yöntemi ile üretilmiş profilleri tasarlayabilmektedirler.

Bunların dışında, kapı ve pencerelerin pultrüzyon yöntemiyle üretilmesi inşaat pazarına hareketlilik getirmiş, ayrıca mükemmel ısı yalıtımı, hava ve su sızdırmazlığıyla ahşap malzemeye kıyaslandığında yüksek bir performans göstermektedir. Ahşabın, kullanım maliyetinin bu açıdan yüksek olması nedeniyle pultrüzyonla 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 pultrüzyon ile üretilmiş malzemelerin tercih edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, yaya üstgeçitlerinde ve taşıt köprü platformlarında da sağladığı avantajlar nedeniyle ürün tasarımlarında pultrüzyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunların dışında, altyapı sektöründe de pultrüzyon yöntemiyle üretilen profiller için, her geçen gün daha çok kullanım alanı keşfedilmektedir. Pultrüzyon yöntemi altyapı onarımındaki artan ihtiyaca paralel olarak, bazı yüksek hacimli uygulamalar için teknolojinin ilerlemesiyle daha uygun bir kalıplama yöntemi haline gelecektir.

3.10.1. CTP Profil Çeşitleri

Pultrüzyon metodu, CTP kalıplamasında, özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profil türündeki ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Profil çekme metodu ile üretilen kutu, boru, 'I', 'T', 'L', ve 'U' profillerinin yanı sıra sabit şekle sahip olmayan profillerin de üretimi yapılabilmektedir (Şekil 21).



Şekil 21. Pultrüzyonla üretilmiş CTP profil örnekleri

3.10.2. CTP Profillerin Yapıda Kullanılması

Plastiğin yükselmesindeki önemli özellikler; kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanıklı olmasıdır. Birçok üstün özelliğinin yanısıra, 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 [MALLICK, 1997 - EUROCOMP, 1996].

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 22'de de gösterildiği gibi fazla yüke maruz kalmayan küçük iskelelerdir.



Şekil 22. CTP vapur iskelesi

CTP'ler üzerinde yapılan çalışmaların sonucunda malzeme daha iyi tanınmaya başlanmış ve Copenhagen'de bulunan Lindevang Metro İstasyonu, 60 m uzunluğunda ve 7,5 m genişliğinde, Şekil 23'teki gibi CTP malzemesi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 23. CTP metro istasyonu

Bunun bir aşama daha üstü olarak; asma köprüler yapılmaya başlanmıştır. Bu tip yapılara örnek olarak Şekil 24'te da gösterilen, 18 Haziran 1997 yılında Danimarka'nın Kolding şehrinde, tren yolunun üzerine yapılan 40m açıklığa ve 18,5 m yüksekliğe sahip kulesi ile toplam 12 ton ağırlığındaki CTP köprüdür. Bu köprü, 5 tona kadar araç ve 500 kg/m² yayılı yük taşıma kapasitesine sahip olup, 18,5 m yüksekliğindeki kulesi ile hava sıcaklığını, rüzgarın yönünü ve şiddetini ölçen bir hava gözlem kulesi işlevi de görmektedir. En önemli özelliklerinden bir tanesi de, bu ebatlarda bir yapının CTP kullanılması durumunda, yerine montajının tamamen bitirilip kullanıma açılması, tren yolu trafiğinin az olduğu 3 hafta sonu (cumartesi ve pazar) gecesi yani sadece toplam 9 gece sürmüştür. Yapım hızı ve uygun maliyeti gibi özelliklerinden dolayı CTP ile imal edilen köprü 1997 yılında Alman Plastik Birliği'nden (German Reinforced Plastic Association) icatlar ödülü ve 1998 yılında da Danimarka Endüstri Birliğinden ürün ödülü almıştır[WEB 5].

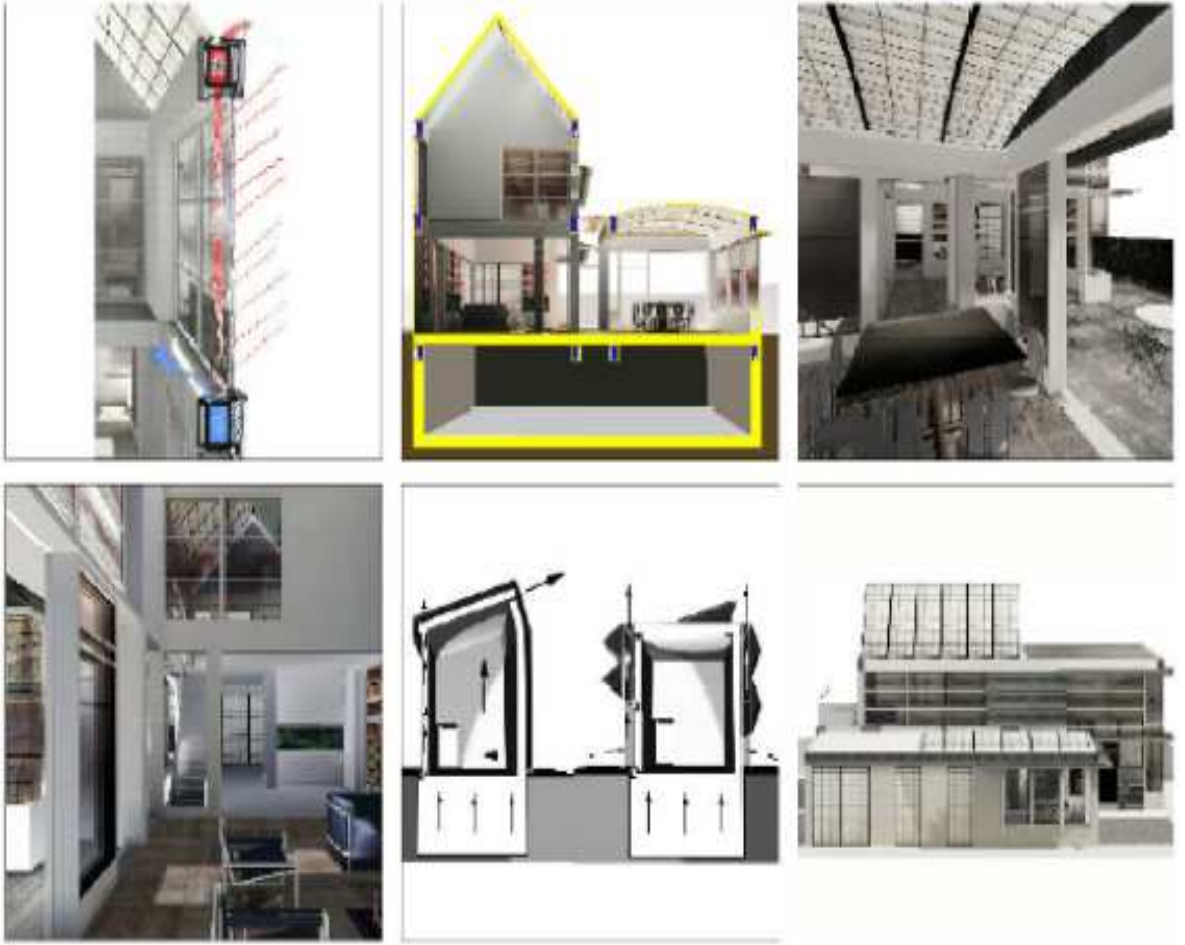


Şekil 24. CTP yaya ve hafif araç köprüsü

CTP malzemesinin hafif, dayanıklı ve sağlamlık gibi özelliklerinin olması, yapılarda kullanımı için çalışmalara temel teşkil etmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak Şekil 25'te de görüldüğü gibi 5 katlı, 15 m yüksekliğinde ve 10x12 m taban alanına sahip gözlem evi, İsviçre'nin Basel şehrinde yapılmıştır. Ayrıca, 2001 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından Home of The Future projesi kapsamında Pultruzyon ile üretilmiş CTP malzemesini baz alarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Şekiller 26-27).



Şekil 25. Basel gözlem evi



Şekil 26. CTP evler



Şekil 27. Pultrüzyonla üretilmiş CTP kullanılarak yapılmış prototip yapı

CTP malzemelerin üstün özelliklerini dikkate alan yerli üreticiler tarafından Türkiye’de balkon çıkıntıları, korkuluklar, çardaklar gibi küçük çaplı birtakım uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. Pultrüzyonla üretilmiş CTP’lerin Türkiye’de uygulama örnekleri

BÖLÜM 4

MALZEME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Seraya etki eden kar, rüzgar, deprem kuvvetleri ile sera elemanlarının ağırlıkları ve hareketli yükler sera elemanlarında çeşitli gerilmeler oluşturmaktadır. Bu nedenle bir sera tasarlanırken serayı oluşturan taşıyıcı elemanlarının bu etkilere karşı yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olması beklenir. Bu nedenle kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin bilinmesi gereklidir.

Pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP malzemelerin sera modellemesinde kullanılması için malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla profiller üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca deneysel olarak elde edilen fiber matris oranları kullanılarak nümerik hesaplamalar yapılarak deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Böylece yapılan çalışmalar deneysel ve nümerik olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

4.1. Deneysel Çalışmalar

Uygulanan dış yüklerle 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. Mekanik özelliklerin temeli, atomlar arası bağ kuvvetleri olmasına rağmen iç yapıya ve çevre şartlarına büyük oranda bağlıdır. Kompozit malzemelerin bazı malzemeler gibi homojen olmadığının 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:

- Takviye elemanı türü ve özelliği
- Takviye elemanın hacim oranı
- Elyaf geometrisi ve doğrultusu
- Matris türü ve özelliği
- Matris hacim oranı
- 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, eğilme, ısınma, genleşme, özgül ağırlık, birim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır.

4.1.1. Çekme Deneyi

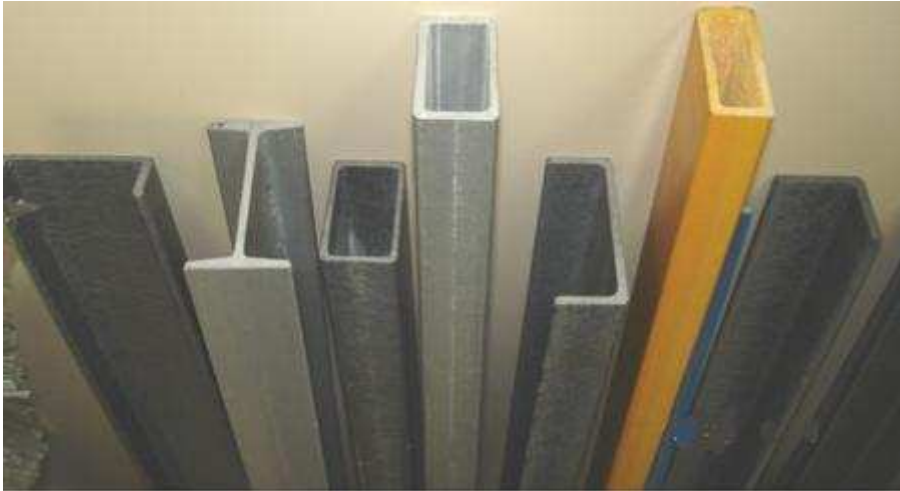
Kalıcı sera tasarımında kullanılacak CTP malzemesinin, Elastisite modülü, Poisson oranı ve kopma dayanımlarını belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Öncelikle ülkemizde üretim yapan fabrikalardan temin edilen farklı boyutlardaki CTP profillerinden, ilgili standartlar [TS 3860, 1982. -TS 1398-4,1997. - TS 1398-5, 1997]

ve deney şartlarına uygun şekilde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere çekme makinesinde belirli hızlarda çekme kuvveti uygulanmıştır. Gerekli veriler kaydedilerek CTP malzemesinin çekme özellikleri, Elastisite modülü, Poisson oranı ve kopma dayanımları istatistiksel 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. Liflere Paralel ve Dik Çekme Deneyleri

Çekme deneyinde kullanılacak numuneleri elde etmek için ülkemizde kompozit malzeme üretimi yapan Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasından çeşitli boy ve ebatlarda CTP profilleri temin edilmiştir (Şekil 29). Mevcut seralar ve tecrübelerden yararlanılarak çeşitli kesit ve elyaf/hacim özelliklerine sahip CTP profillerden sera tasarımında kullanıma uygun olan profil üzerinde deneyler yapılmıştır.

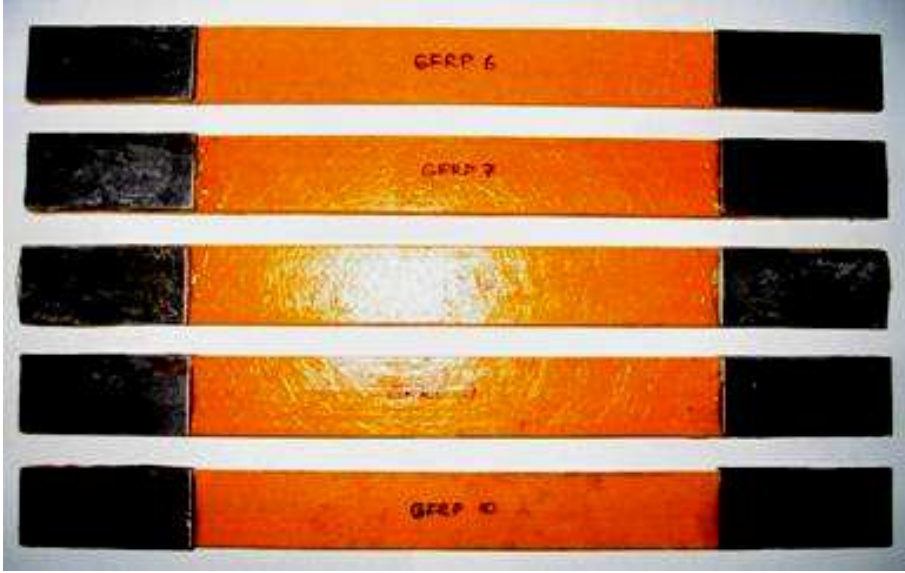


Şekil 29. Esa Kimya tarafından üretilen CTP profil örnekleri

Laboratuar ortamında muhafaza edilen CTP profillerinden standartlara uygun şekilde 25x250x3,5 mm boyutlarında parçalar kesilerek numuneler hazırlanmıştır (Şekil 30). Numunelerin lifli yapıya sahip olduğundan matris 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 ince zımpara ile gerekli düzeltme işlemleri yapılmıştır.

Çekme deneyi esnasında deney numunelerini tutan makine çeneleri numune uçlarına basınç uygulamaktadır. Bu basınçtan dolayı deney numuneleri ezilebilmekte ve çene yüzeyine yapışmaktadır. Bu ve benzeri lokal hasarları önleyebilmek için kesilen numunelerin uçlarına

başlık yapıştırma işlemi yapılmıştır. Numune başlıkları numune boyutlarına uygun olarak çelik levhalardan 25x50x1 mm boyutlarında imal edilmiştir. Metal başlıklar ile CTP numuneleri arasında tam yapışmanın sağlanması ve sıyrılmaması 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 zımparalar ile pürüzlü hale getirilmiştir. Çekme deneyi yapılacak her numunenin iki ucuna toplam 4 adet metal başlık yapıştırılmıştır (Şekil 30).



Şekil 30. Metal başlık yapıştırılmış çekme test 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.

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 2 mm/dak olacak şekilde yapılmıştır. Deney numuneleri iki çene arasına yerleştirilerek numunelerin çenelere tam dik olmalarına dikkat edilerek gerekli düzenleme yapılmıştır (Şekil 31).

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 Extansometre, deney numunesinin orta bölgesine takılıp, sabitleme pimi çıkartılarak yüklemeye hazır hale getirilmiştir. Çeneler arasına sıkıştırılan deney numunelerinin bir tarafına Ekstansometre diğer tarafına ise poisson oranını belirlemek için komparatör saati takılmıştır (Şekil 31). Gerekli diğer veriler de bilgisayara kaydedildikten sonra deney yükleme aşamasına hazır hale getirilmiştir.



Şekil 31. 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 yardımı ile çizilmiştir. Çekme deneyi sonrası numunelerin kopma şekilleri Şekil 32’de gösterilmiştir.



Şekil 32. Çekme testi sonucunda kopmuş deney numuneleri

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.

4.1.1.2. Lif Doğrultusuna Paralel Çekme Deneyi Sonuçları

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi için toplam 30 adet numune 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 1-3 kullanılarak Elastisite Modülleri, Çekme Gerilmeleri ve Şekil Değişirme oranları 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)

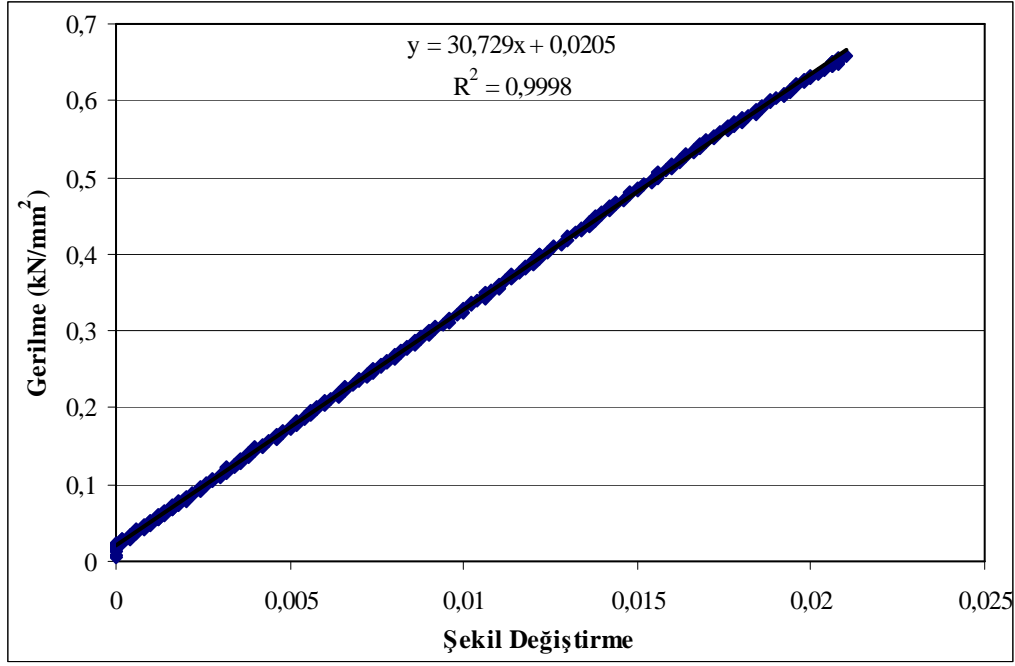
A = Kesit Alanı (mm²)

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 örnek grafik Şekil 33'te gösterilmiştir.

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyinden elde edilen sonuçlar tablo halinde ifade edilmiştir. Tablo 1'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 1'de belirtilmiştir. Ayrıca sonuçların varyasyon katsayıları ASTM 3039' a [ASTM 3039 , 2006] göre verilmiştir.



Şekil 33. Lif doğrultusuna paralel numuneye ait çekme deneyi grafiği örneği

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

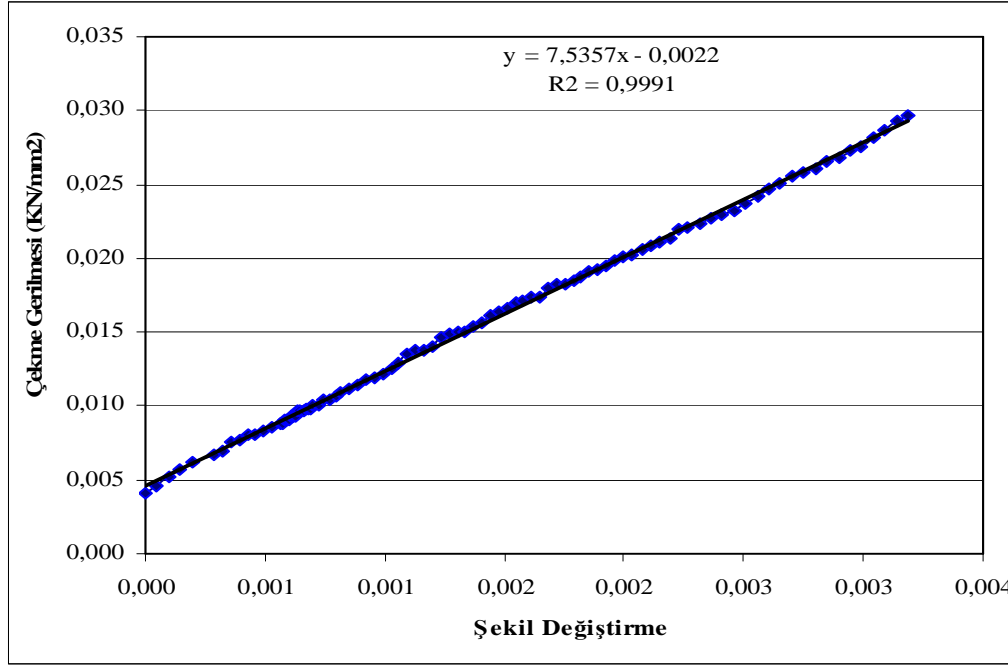
Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında lif doğrultusuna paralel numunelerin Elastisite modülü (E) 29537 N/mm² ve Yüzde Uzama değeri 2,01 olarak bulunmuştur. Çekme gerilmesi ortalaması ise 586,46 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 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. (kN/mm ²)	R2
1	93,37	50	51,05	1,05	2,10	60223,59	645,00	30,729	0,99
2	86,80	50	50,88	0,88	1,76	48147,48	554,69	30,879	0,99
3	89,61	50	50,97	0,97	1,94	52561,98	586,56	30,933	0,99
4	89,57	50	51,08	1,08	2,16	57427,74	641,15	30,199	0,99
5	88,85	50	50,86	0,86	1,72	44027,28	495,52	29,078	0,99
6	88,18	50	50,92	0,92	1,84	49972,14	566,71	30,321	0,99
7	95,82	50	50,88	0,88	1,76	49324,68	514,76	28,947	0,99
8	89,57	50	51,05	1,05	2,10	54347,40	606,76	29,309	0,99
9	100,78	50	50,94	0,94	1,88	58075,20	576,26	30,583	0,99
10	89,63	50	51,11	1,11	2,22	56780,28	633,50	28,962	0,99
11	91,31	50	50,95	0,95	1,90	51826,23	567,59	29,464	0,99
12	96,09	50	50,99	0,99	1,98	52385,40	545,17	27,248	0,99
13	87,68	50	50,95	0,95	1,90	47941,47	546,78	28,653	0,99
14	93,21	50	50,99	0,99	1,98	52640,46	564,75	30,147	0,99
15	94,49	50	51,09	1,09	2,18	57005,91	603,30	28,028	0,99
16	97,34	50	50,92	0,92	1,84	55897,38	574,25	30,835	0,99
17	87,19	50	51,00	1,00	2,00	49677,84	569,77	29,403	0,99
18	85,68	50	51,09	1,09	2,18	55691,37	650,00	29,961	0,99
19	99,18	50	51,08	1,08	2,16	63784,62	643,12	30,224	0,99
20	87,34	50	50,96	0,96	1,92	50040,81	572,94	29,748	0,99
21	88,04	50	51,08	1,08	2,16	53493,93	607,61	28,236	0,99
22	99,13	50	51,08	1,08	2,16	63411,84	639,68	29,769	0,99
23	87,61	50	51,02	1,02	2,04	53768,61	613,73	29,810	0,99
24	91,20	50	51,12	1,12	2,24	55642,32	610,11	28,282	0,99
25	96,23	50	51,15	1,15	2,30	59576,13	619,10	31,463	0,99
26	92,54	50	50,98	0,98	1,96	54111,96	584,74	29,992	0,99
27	92,09	50	50,91	0,91	1,82	46322,82	503,02	27,085	0,99
28	93,06	50	51,07	1,07	2,14	56780,28	610,15	28,394	0,99
29	94,60	50	50,95	0,95	1,90	55730,61	589,12	30,832	0,99
30	96,89	50	51,02	1,02	2,04	56662,56	584,81	28,604	0,99
Ort.	92,10	50,00	51,00	1,00	2,01	54109,34	587,36	29,537,27	0,99
Std.	4,13	0,00	0,08	0,08	0,16	4616,51	40,57	1103,21	0,00
Var. %	4,49	0,00	0,15	7,80	7,80	8,53	6,91	3,73	0,00

4.1.1.3. Lif Doğrultusuna Dik Çekme Deneyi Sonuçları

Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi yapıldıktan sonra benzer şekilde lif doğrultusuna dik çekme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. 70x26x3,5 mm'lik kutu profilden 3,5x25 mm kesitindeki numuneler üzerinde lif doğrultusuna dik çekme deneyi yapılmış ve deney sonuçları Tablo 2 ve örnek numuneye ait grafik Şekil 34'te gösterilmiştir.



Şekil 34. 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 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Lif doğrultusuna dik çekme deneyi sonuçları

Numune No	Kesit Alanı	Uzama miktarı	Yüzde Uzama	Max, Çekme Kuvveti	Çekme Gerilmesi	Elastik Modül	R ²
	(mm ²)	(mm)	(%)	(kN)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	
1	91,28	0,06	0,30	311	0,034	8,8406	0,99
2	91,28	0,06	0,30	301	0,0344	7,5357	0,99
3	91,25	0,09	0,45	259	0,0287	7,2387	0,99
Ort,	91,27	0,07	0,35	290,33	0,0324	7,8717	0,99
Std,	0,02	0,02	0,07	22,53	0,00	0,70	
Var, %			20,20	7,76	8,02	8,84	

Yapılan deneylerin ortalama sonuçlarına bakıldığında lif doğrultusuna dik yönde numunelerin Elastisite modülü 7,8717 kN/mm², maksimum çekme gerilmesi 0,0324 kN/mm² 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.

4.1.1.4. Poisson Oranı Deneyi

Poisson oranlarının belirlenmesinde lif doğrultusuna paralel çekme deneyinde kullanılan numuneler üzerinde ölçüm yapılmıştır. Çekme deneyi için düzener hazırlanırken aynı zamanda Poisson oranı deneyinde kullanılacak düzenerde hazırlanarak çekme ve Poisson oranı deneyleri birlikte yapılmıştır. Poisson oranının belirlenmesi deneyindeki temel amaç, çekme deneyi yapılırken malzemenin yanal boy değişiminin boydaki şekil değişimine oranlanmasıdır. Bu amaçla uygun düzener hazırlanarak deneyler yapılmıştır.

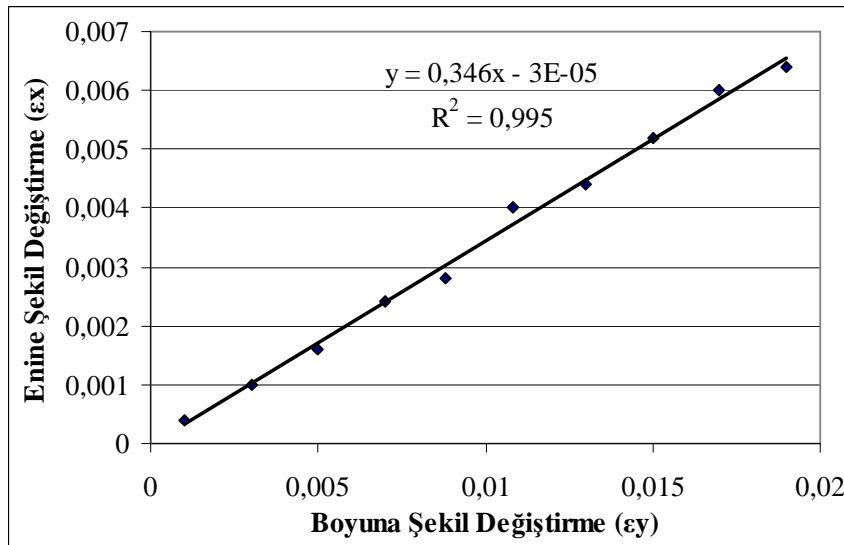
Çekme deneyi başlatıldıktan sonra numune boyundaki uzama ve enindeki daralma ölçülmüştür. Yükleme başlaması ile birlikte her 500 kgf çekme kuvvetinde veriler kopma gerçekleşinceye kadar kayıt edilmiştir. Kaydedilen bu verilerle yanal boy değişimi formül (4) kullanılarak, eksenel boy değişimi formül (5) kullanılarak bulunmuştur. Poisson Oranı, hesaplanan yanal şekil değiştirme (ϵ_x) ve eksenel şekil değiştirme (ϵ_y) formül (6)'da yerine konularak bulunmuştur.

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

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

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

Grafik olarak Şekil 35'de ifade edilen oranlamada y denklemindeki 0,346'lık kısım o numuneye ait Poisson oranını ifade etmektedir. R^2 değeri ise deney esnasındaki okumaların birbirine uyumunu ifade etmekte ve deney güvenilirliği açısından önemlidir.



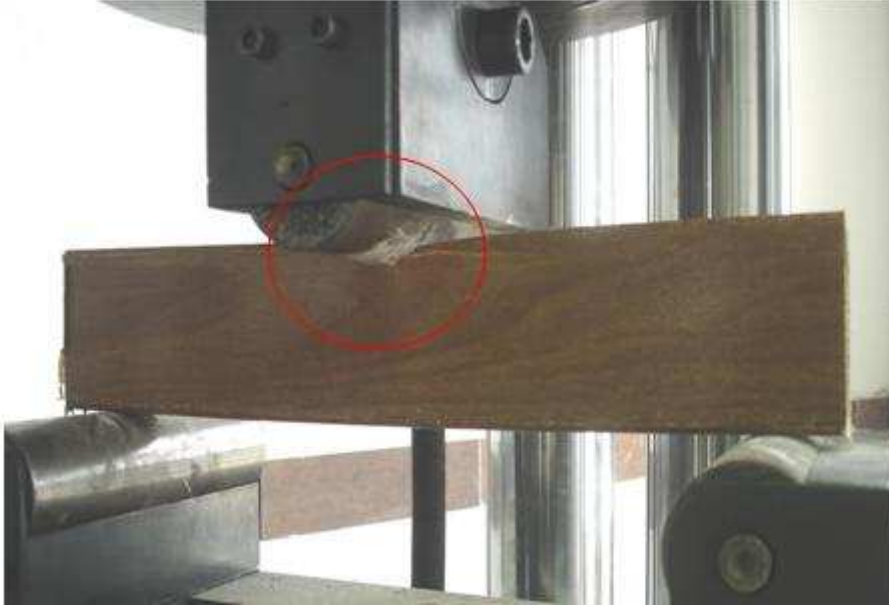
Şekil 35. Poisson Oranı deneyi grafiği örneği

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.

4.1.2. Eğilme Deneyi

Malzemede dış kuvvetler arasında belirli bir mesafenin varlığı etkiyen kuvvetten çok daha yüksek bir değere sahip moment kuvveti oluşturmaktadır. Eğilme kuvvetleri karşısında çubukta meydana gelen tarafsız eksenin üstünde basınç altında çekme gerilmeleri oluşur. Kesitin çeşitli noktalarında meydana gelen kısalma ve uzamalar bu noktaların tarafsız eksene olan mesafeleri ile doğru orantılıdır. Malzemede eğilme halinde kuvvetin artması ile önce bir çökme görülecek daha sonra maksimum kesme ve moment diyagramlarının etkili olduğu noktalarda bir kırılma meydana gelecektir.

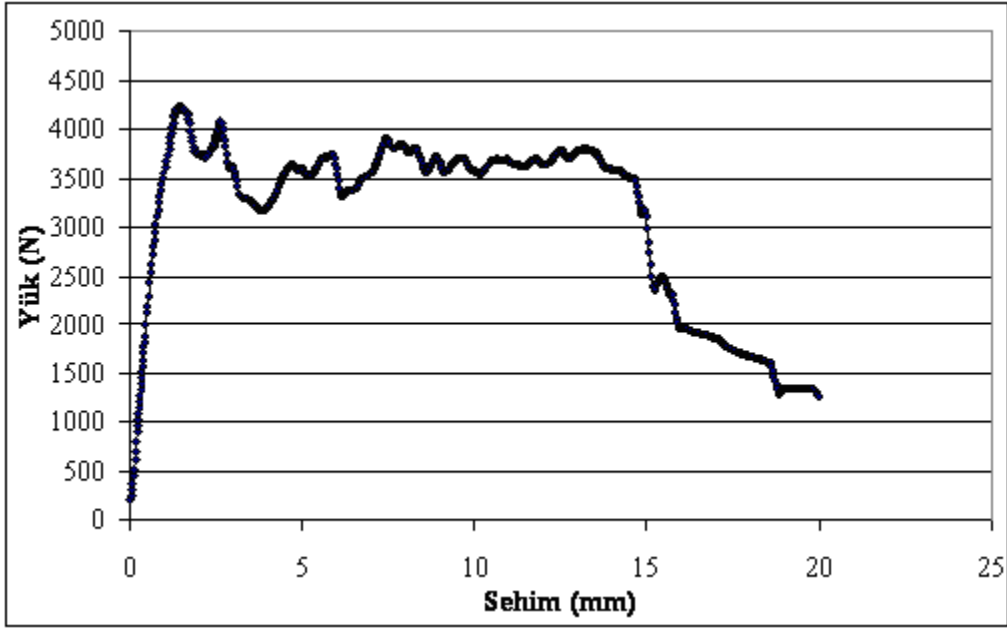
CTP malzemesinin eğilme özelliklerinin belirlenmesi için kutu profiller üzerinde eğilme testleri yapılmıştır. Eğilme deneyini gerçekleştirebilmek için çekme makinesi üst kısmına eğilme platformu monte edilmiştir. Silindirik şeklinde ve hareketli mesnetlere sahip olan eğilme platformu tek noktadan yükleme yapabilmektedir. Mesnet açıklıkları istenilen açıklıkta ve hassasiyette ayarlanabilmektedir. Profiller üzerinde yapılan eğilme deneyi esnasında lokal kırılmalar meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 36).



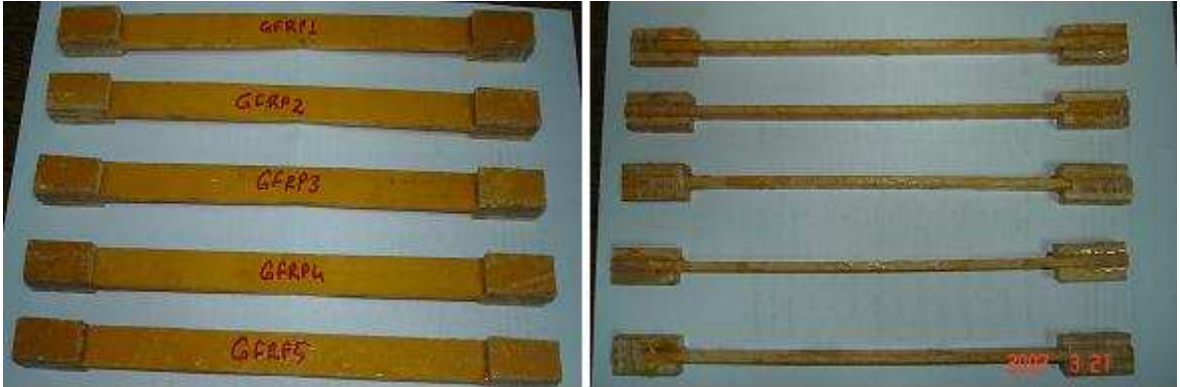
Şekil 36. Kutu profil eğilme deneyi ve lokal kırılma

Kutu profiller üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonrasında elde edilen veriler kayıt edilip, Excel programında işlenerek her bir deney için yük-sehim grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik örneği Şekil 37’de gösterilmiştir. Ancak kutu profillerde lokal kırılmalar oluşmuştur.

Lokal kırılmaların oluşmaması için ilgili standartlara uygun [TS 4650-2, 1997 - TS 985, 2000 - ASTM D 790, 1992] eğilme deney numuneleri hazırlanmıştır. 70 x 26 x 3,5 mm’lik kutu profillerden kesilerek; 5 adet 250 mm boyunda, 11,5 mm genişliğinde, 3,5 mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 38’de gösterilmiştir. Eğilme deney numunelerine ait diğer özellikler Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 37. Kutu profile ait yük-sehim grafiği örneği



Şekil 38. Eğilme deney numuneleri

Eğilme deneyinde mesnetler arası mesafe 200 mm 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 [TS 985, 2000].

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 39).



Şekil 39. Eğilme deneyi yüklemesi

Eğilme deneyi sonrasında deforme olup kırılan numune örneği Şekil 40'ta gösterilmiştir.



Şekil 40. Eğilme deneyinde kırılmış numune örneği

Eğilme deneyi yapıldıktan sonraki text uzantısı verileri Excel formatında işlenerek numunelere ait gerilme değerleri formül 7 ile hesaplanarak Tablo 3'te gösterilmiştir. Eğilme gerilmesi ile ilgili oluşturulan örnek grafik Şekil 41'de gösterilmiştir.

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

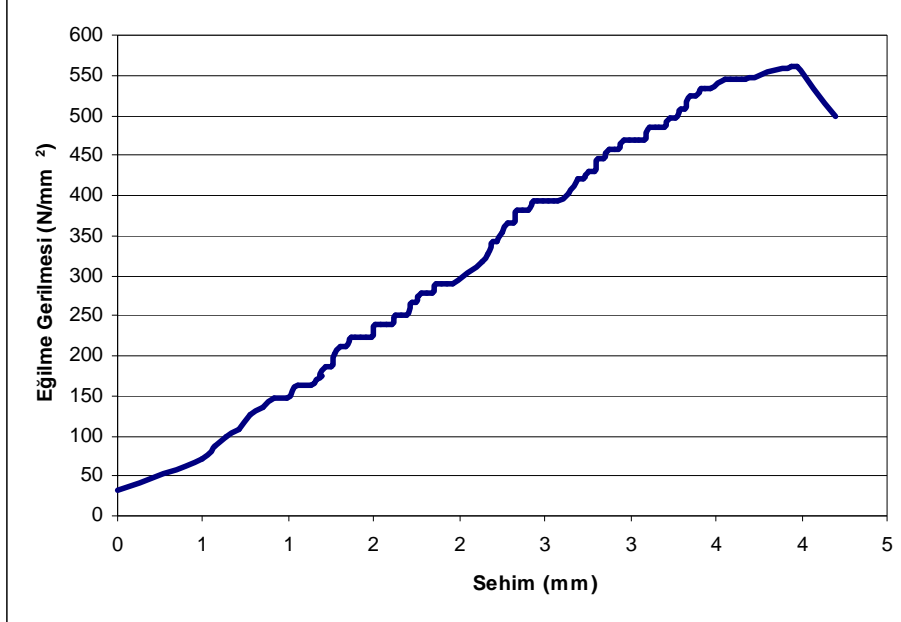
Burada;

- 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)

Tablo 3. Eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Malzeme Kesiti (mm)		Mesnet Açıklığı (mm)	Muk. Momenti (mm ³)	Max. Yük (N)	Moment (N.mm)	Eğilme Gerilmesi (N/mm ²)
	h	b					
1	12,1	3,75	200	91,506	1030,05	51503	562,83
2	11,88	3,55	200	83,505	882,9	44145	528,65
3	11,92	3,8	200	89,988	1020,24	51012	566,88
4	11,95	3,7	200	88,062	981	49050	557
5	11,82	3,8	200	88,485	1039,86	51993	587,59
Ortalama	11,93	3,72	200	88,309	990,81	49541	560,59
Std. Sapma					58	2877	19
Var. %					6	6	3



Şekil 41. Eğilme numunesine ait gerilme-sehim grafiği örneği

Yapılan deneylerde lokal kırılma meydana gelmemiş ve ortalama sonuçlarına bakıldığında numunelerin Ortalama Eğilme Gerilmesi 560,59 N/mm² olarak bulunmuştur.

4.1.3. Isıl Genleşme Deneyi

Isıl genleşme 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 ısı tankının içersi su ile doldurularak, su istenilen sıcaklıkta ayarlanmıştır. Numunelerin uzunluklarını ölçmek için ise komparatör saatinden oluşan özel bir düzenek kullanılmıştır. Numunelerin ısıl genleşme değerlerinin ölçülmesi için oluşturulan düzenek Şekil 42’de gösterilmiştir.



Şekil 42. Isı genleşme deneyinde numune boylarının ölçülmesi

Sıcaklık karşısında boy değişimlerini 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 derece arasında değişen sıcaklıklarda muhafaza edilmiş ve kür tankından çıkartılarak boy uzamaları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Numunelere ait sıcaklığa bağlı boy uzama değerleri

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 noktadan ölçüm yapılmıştır. Böylece çok küçük boy değişimleri olan numunelerde muhtemel deney hataları en aza indirilmiştir.

Isıl genleşme değerleri hesaplanırken formül 8 kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değerler Tablo 5'te görülmektedir.

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

Burada;

Δl : Boy uzaması

L_0 : İlk boy

λ : Genleşme katsayısı

ΔT : Sıcaklık artışı

Tablo 5. Isıl Genleşme katsayısı

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

4.1.4. 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 ile yapılan özgül ağırlık değerleri incelendiğinde CTP malzemesinin ortalama özgül ağırlık değeri $1,77 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olarak bulunmuştur. Numuneler arasındaki standart sapma değeri 0,017 ve varyasyon katsayısı ise % 0,95 gibi küçük değerlerde bulunmuştur.

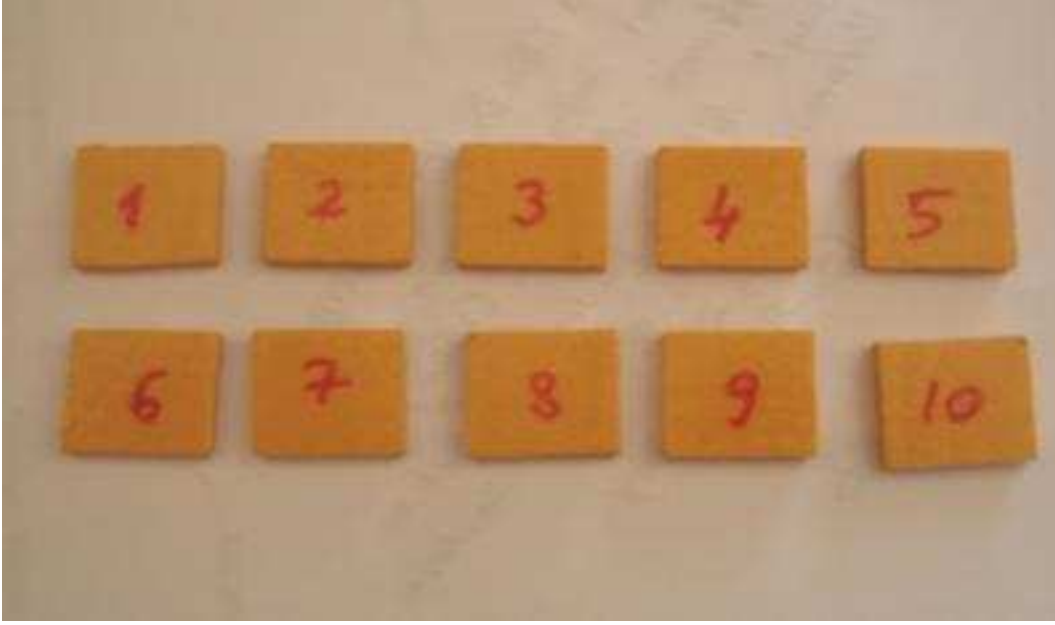
4.2. Teorik Hesaplar

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, $70 \times 26 \times 3,5$ mm 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.

4.2.1. CTP Profillerin Fiber ve Matriks Oranlarının Belirlenmesi

Reçine Yakma Metodu, Fiber takviyeli kompozit malzemelerin fiber ve matriks oranlarının bulunması için yüksek ısı altındaki fırında yakılarak uygulanan bir metottür. 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 mekanik analizleri yapılarak malzeme özellikleri bulunmuştur.

Reçine yakma metodu ile tüm tabakadaki fiber ve matriks oranlarını belirlemek için 25x70x3,5 mm ölçülerinde kesilerek hazırlanan 10 adet numune Şekil 43'te gösterilmiştir.



Şekil 43. 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. Bu süre içerisinde matriks tamamen yanarak ayrılmış ve sadece fiberler kalmıştır. 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 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 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	52,0000	8,6434	39,3566
5	Ağırlık (gr)	2,43	1,2558	0,236	0,9656
	%	100	51,6790	9,7119	38,6091
6	Ağırlık (gr)	2,44	1,3050	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

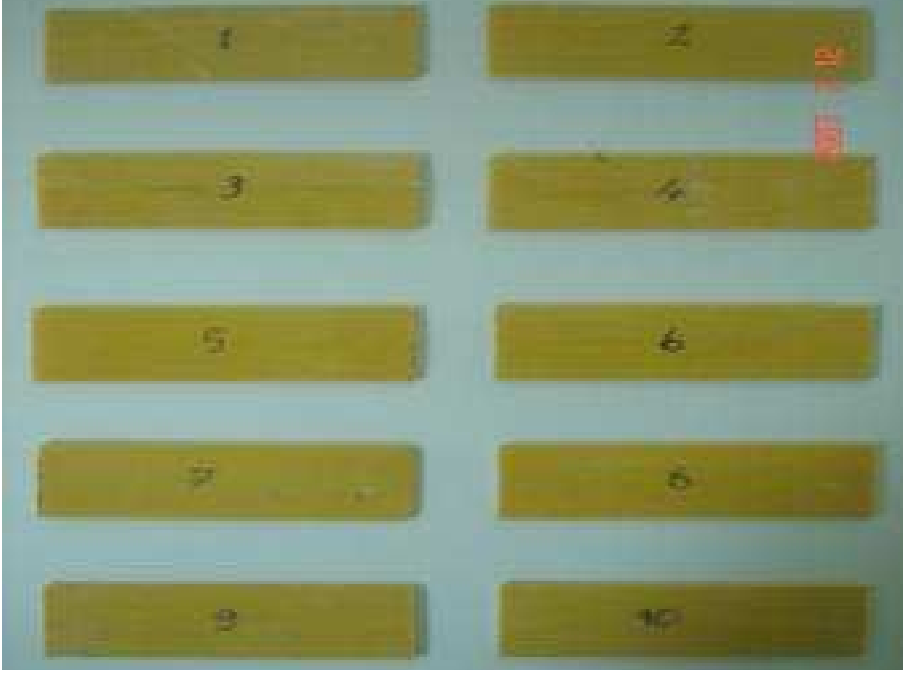
Ağırlıkça elde edilen fiber ve matriks oranlarını hacimce oranlara dönüştürmek için elde edilen değerler fiber yoğunluğuna ($2,56 \text{ g/cm}^3$) ve matriksin yoğunluğuna ($1,24 \text{ g/cm}^3$) bölerek her bir numuneye ait tüm tabakadaki hacimce yüzde oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. CTP profile ait tüm tabakadaki hacimce fiber ve matriks oranları

Numune No		Numune Toplam Miktarı	Boyuna Fiber Miktarı	Keçedeki Fiber Miktarı	Toplam Matriks 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 matriks 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 44'te gösterilmiştir. Fırına konulan numuneler, 2 saat süre ile 600 °C'de ısıtılarak tabakaları ayrılarak orta tabakaya (tek yönlü fiber) reçine yakma metodu uygulanmıştır.



Şekil 44. Orta bölgedeki fiber ve matriks oranlarının belirlenmesi için hazırlanan numuneler

CTP numuneleri fırından çıkarıldıktan sonra malzeme kaybını engelleyecek şekilde 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 8’de gösterilmiştir.



Şekil 45. 600 °C’lik ısı işlem sonucu fırından çıkarılan orta bölgedeki boyuna fiberler

Tablo 8. 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. Sapma (%)		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 9'da verilmiştir.

Tablo 9. 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)	39,090	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	18,010
Ortalama (%)		100	50,63	49,37
Stand. Sapma(%)		3,34	2,13	1,48
Varyasyon (%)		9,13	11,49	8,21

4.2.2. Reçine Yakma Metoduna 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 10'da verilmiştir. Tablo 10'daki verilerden yararlanılarak hesaplanan fiber ve matriks hacim yüzdeleri Tablo 11'de özetlenmiştir.

Tablo 10. Reçine yakma metotlarına göre genel ağırlık ve hacim oranları

	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Hacim (cm ³)	Hacim(%)
Orta bölgedeki elyaf miktarı	1,29263	52,207	0,504934	36,967
Keçedeki elyaf miktarı	0,22446	9,065	0,087680	6,419
Orta bölgedeki matriks miktarı	0,60838	24,571	0,490629	35,919
Keçedeki matriks miktarı	0,35052	14,157	0,282677	20,695
Toplam elyaf miktarı	1,51709	61,272	0,592613	43,386
Toplam matriks miktarı	0,9589	38,728	0,773306	56,614
Genel toplam	2,47599	100	1,365920	100

Tablo 11. 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 11). CTP profil birleşim özellikleri Tablo 12’de, profili oluşturan fiber ve matriks malzeme özellikleri Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 12. 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 13. 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, kompoziti oluşturan tabakalar ayrı ayrı ele alınarak yapılan inceleme olarak tanımlanabilir.

A. Tek Yönlü Lifli Kompozitlerin Özelliklerin Belirlenmesi

1. Özgül Ağırlık

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

Özgül ağırlığı tanımlamak için, kompozitte (γ_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 14'te bulunmuştur. Bulunan bu (%) hacimler ile keçenin ve tek yönlü (orta) tabakaların birim hacim ağırlıkları çarpılmıştır. Bulunan değerler toplanarak kompozitin birim hacim ağırlığı bulunmuştur.

Tablo 14. 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

$$\gamma_{keçe} = \gamma_m \times V_m + \gamma_f \times V_f \quad (9)$$

$$E_x = E_m \times (1 - V_f) + E_f \times V_f \quad (10)$$

$$\gamma_{keçe} = [1,24 \times (1 - 0,2367) + 2,56 \times 0,2367] \Rightarrow \gamma_{keçe} = 1,552 \text{ g / cm}^3$$

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

$$\gamma_{orta} = [1,24 \times (1 - 0,5072) + 2,56 \times 0,5072] \Rightarrow \gamma_{orta} = 1,909 \text{ g / cm}^3$$

$$\gamma_c = [\%27,11 \times \Delta_{keçe}] + [\%72,89 \times \Delta_{orta}]$$

$$\gamma_c = [0,2711 \times 1,552] + [0,7289 \times 1,909] \Rightarrow \gamma_c = 1,811 \text{ g / cm}^3$$

2. Liflere 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 10 elde edilir. Bu denklem, Voigt Modeli kullanılarak elde edildiği için,

$E_c = E_{11} = E_x$ olarak ta tanımlanabilir. Bu modeli kullanma bilmek için, bağlayıcı malzeme olan matriksin elastik modülü, fiberlerin elastik modülünden küçük olması gerekir ($E_m < E_f$).

$$E_x = 3,5 \times 0,4928 + 72 \times 0,5072 \Rightarrow E_x = 38,2432 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

3. Liflere 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 11 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 ($E_f < E_m$).

$$\frac{1}{E_y} = \frac{1-V_f}{E_m} + \frac{V_f}{E_f} \Rightarrow E_y = \frac{E_f \times E_m}{E_f \times V_m + E_m \times V_f} \quad (11)$$

$$E_y = \frac{72 \times 3,5}{72 \times 0,4928 + 3,5 \times 0,5072} \Rightarrow E_y = 6,764 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

4. 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 12 ve poisson oranı için de denklem 13 kullanılır.

$$G_{xy} = \frac{G_f \times G_m}{V_f \times G_m + (1-V_f) \times G_f} \quad (12)$$

$$G_{xy} = \frac{29 \times 1,6}{0,5072 \times 1,6 + 0,4928 \times 29} \Rightarrow G_{xy} = 3,072 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$v_{xy} = v_f \times V_f + v_m \times (1-V_f) \quad (13)$$

$$v_{xy} = 0,25 \times 0,5072 + 0,35 \times 0,4928 \Rightarrow v_{xy} = 0,299$$

B. Rasgele Yönlendirilmiş Lifli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

1. Rasgele Yönlendirilmiş Üst Keçenin Mekanik Özellikleri

Dağınık ve süreksiz liflerle oluşturulmuş kompozitlerin, mekanik özelliklerini bulmak için, tek başlarına Voigt ya da Reussel modeli yeterli değildir. Bunun için, iki model birleştirilerek, denklem 14 ile malzemenin elastik modülü, denklem 15 ile kesme modülü ve denklem 16 ile poisson oranı hesaplanır ($E_x = E_{11}$), ($E_y = E_{22}$).

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

$$E_x = 3,5 \times 0,7633 + 72 \times 0,2367 \Rightarrow E_x = 19,71 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

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

$$E_y = \frac{72 \times 3,5}{72 \times 0,7633 + 3,5 \times 0,2367} \Rightarrow E_y = 4,517 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$E_{xy} = \frac{3}{8} E_x + \frac{5}{8} E_y \quad (14)$$

$$E_{xy} = \frac{3}{8} \times 19,71 + \frac{5}{8} \times 4,517 \Rightarrow E_{xy} = 10,21 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$G_{xy} = \frac{1}{8} E_x + \frac{1}{4} E_y \quad (15)$$

$$G_{xy} = \frac{1}{8} \times 19,71 + \frac{1}{4} \times 4,517 \Rightarrow G_{xy} = 3,593 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

$$v_{xy} = \frac{E_{xy}}{2 \times G_{xy}} - 1 \quad (16)$$

$$v_{xy} = \frac{10,21}{2 \times 3,593} - 1 \Rightarrow v_{xy} = 0,42$$

2. 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.

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

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

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

4.2.3.2. 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 çözümlür.

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

$$\sum Q_{11} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{E_x}{1 - v_{xy} * v_{yx}} \right)_k * t_k \quad (17)$$

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

$$\sum Q_{22} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{E_y}{1 - \nu_{xy} * \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (18)$$

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

$$\sum Q_{12} = \sum Q_{21} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{E_y * \nu_{xy}}{1 - \nu_{xy} * \nu_{yx}} \right)_k * t_k \quad (19)$$

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

$$\sum Q_{33} = \sum_{k=1}^N (G_{xy})_k * t_k \quad (20)$$

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

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

Yukarıdaki 18, 19, 20 ve 21 denklemleri kullanılarak bulunan değerler, A matrisinde (denklem 17) yerine konularak denklem 22'deki gibi oluşan matrisin tersi alınmıştır.

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

$$\bar{A} = \frac{1}{\det A} \times Ek(A) \quad (22)$$

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

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

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

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

$$A_{13} = 0$$

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

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

$$A_{23} = 0$$

$$A_{31} = 0$$

$$A_{32} = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

veya

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

Matriksin tersini alındıktan sonra, bulunan S değerlerinden yararlanarak, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini denklem 23, 24, 25 ve 26 kullanarak hesaplanmıştır.

Boyuna Elastik Modülü (E_x) ;

$$E_x = \frac{1}{S_{11} \times \sum t} \Rightarrow E_x = 32,923 \text{ kN} / \text{mm}^2 \quad (23)$$

Enine Elastik Modülü (E_y) ;

$$E_y = \frac{1}{S_{22} \times \sum t} \Rightarrow E_y = 8,512 \text{ kN} / \text{mm}^2 \quad (24)$$

Kayma Modülü (G_{xy}) ;

$$G_{xy} = \frac{1}{S_{33} \times \sum t} \Rightarrow G_{xy} = 3,213 \text{ kN} / \text{mm}^2 \quad (25)$$

Poison Oranı (ν) ;

$$\nu = -(S_{12} \times E_x \times \sum t) \Rightarrow \nu = -(-0,00328 \times 28,66 \times 3,5) \Rightarrow \nu = 0,346 \quad (26)$$

4.3. Deneysel ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde, nümerik hesaplamalar ile deneysel çalışmalar arasında karşılaştırmalar yapılarak deneysel sonuçların nümerik hesaplamalar ile uyumları incelenmiştir. Tablo 15'te yapılan deneysel ve nümerik çalışmaların karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 15. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

	Teorik Hesap	Deneysel Sonuçlar
Özgül Ağırlık (γ) (g/cm ³)	1,811	1,773
Elastisite Modülü (E_x) (kN/mm ²)	32,923	29,54
Elastisite Modülü ($E_{y,z}$) (kN/mm ²)	8,512	7,87
Poisson Oranı ($\nu_{x,y,z}$)	0,346	0,34

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

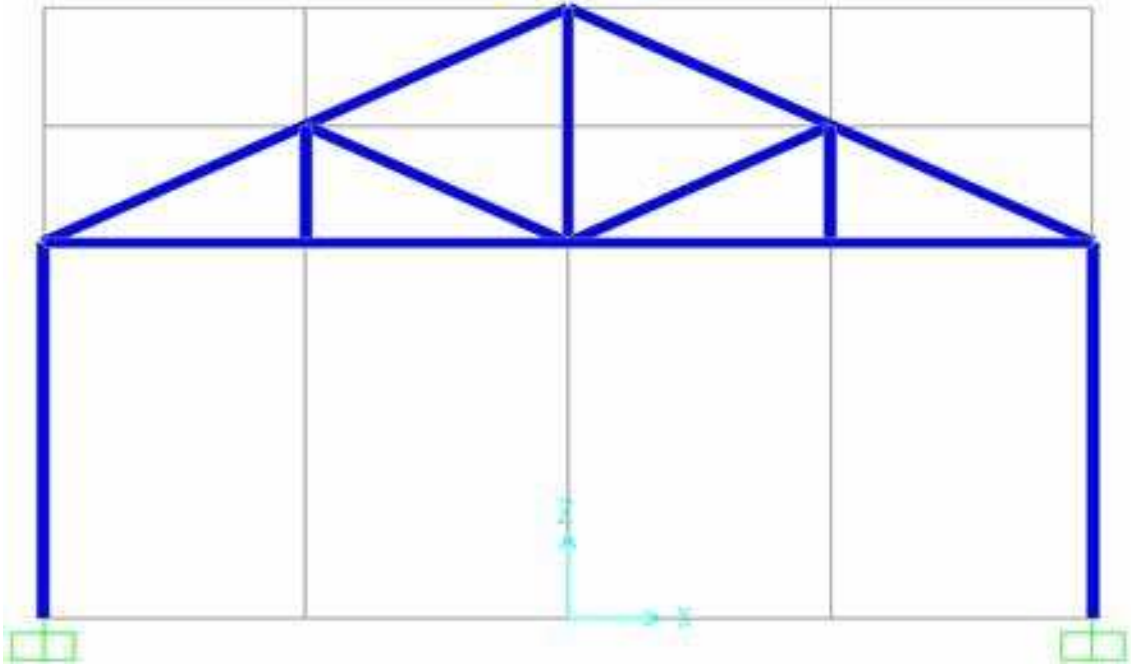
BİLGİSAYARDA MODEL SERA TASARIMI

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

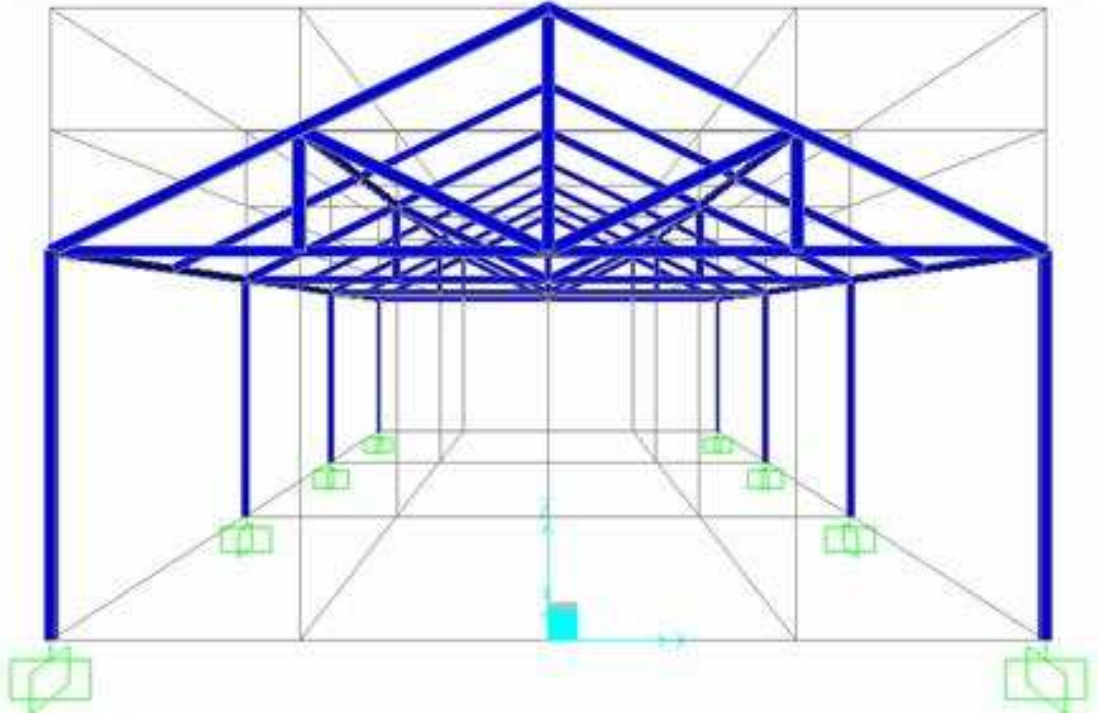
Raporun bu aşamasında, bütün bu nitelikleri içeren bir sera projelendirilmiştir. Projelendirilen sera modelinin özellikleri Tablo 16’da verilmiştir. Tasarlanan seranın (Şekil 46), SAP2000 programı kullanılarak bilgisayar ortamında analizleri yapılmıştır.

Tablo 16. Tasarlanan sera modelinin özellikleri

Sera Tipi	Çatı Makaslı Blok Sera
Sera Yapı Malzemesi	CTP Kutu Profil
Sera Genişliği	6,00 m
Sera Uzunluğu	12,00 m
Sera uzunluk yönündeki kolonlar arası mesafe	4,00 m
Sera Yan Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	26°
Sera Mahya Yüksekliği	3,90 m
Temel Duvar Yüksekliği	0,20 m
Sera Alanı	72,00 m ²
Sera modelindeki kolon sayısı	8
Sera Örtü Malzemesi	Plastik
Mertek Aralığı	2,00 m
Ekleme ve Bağlantılar	Rijit kabul edilmiştir

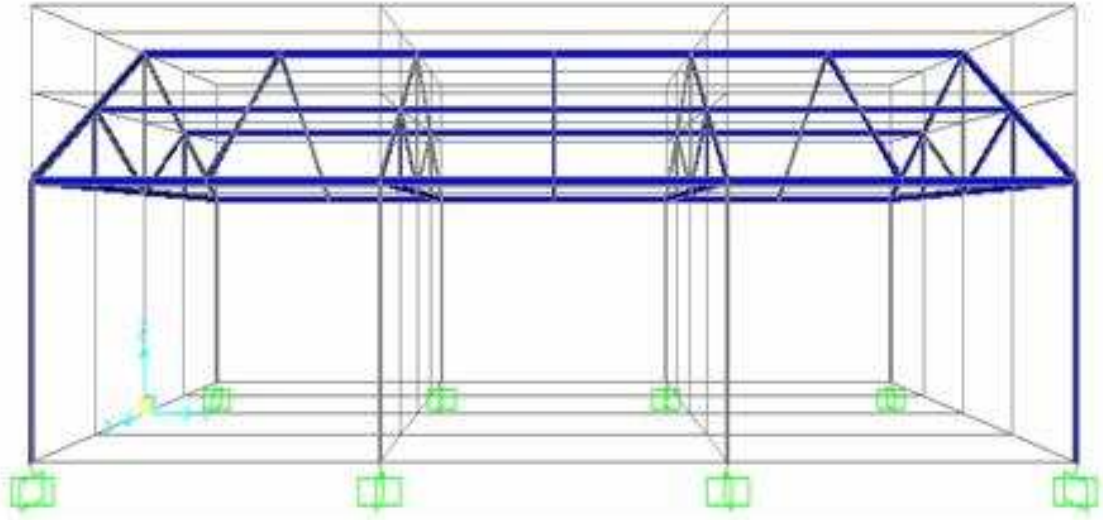


Model sera ön cephe görünüşü

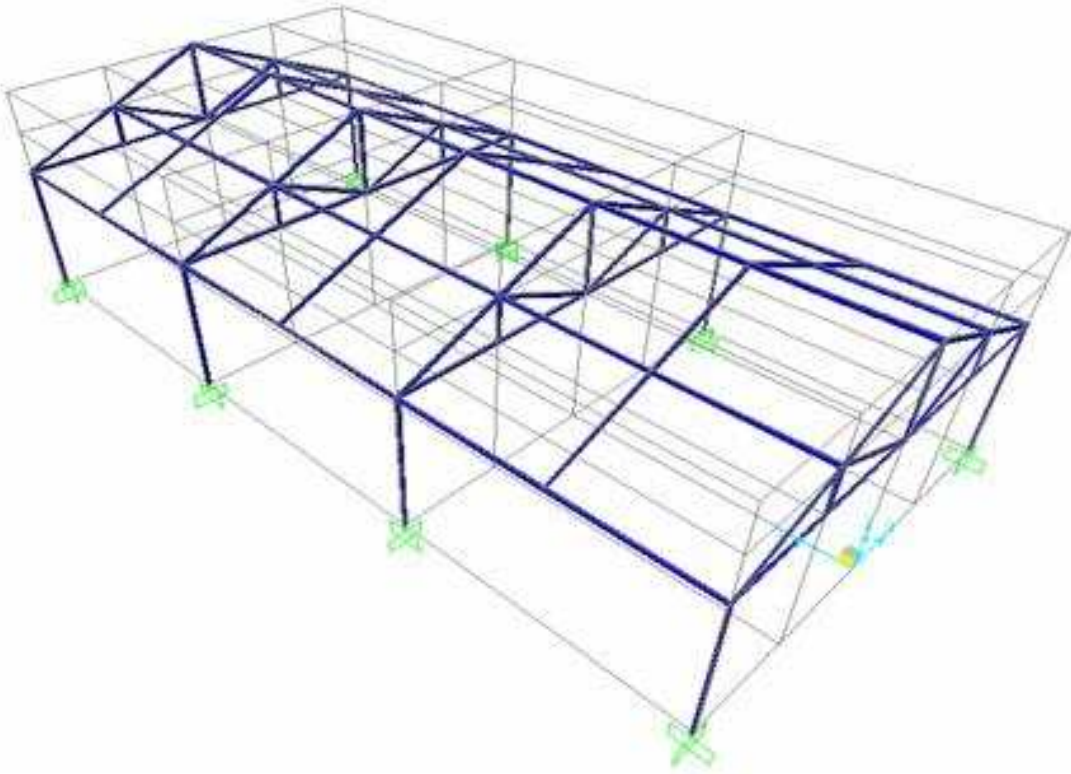


Model sera ön cephe perspektif görünüşü

Şekil 46. Model sera perspektif ve görünüşleri

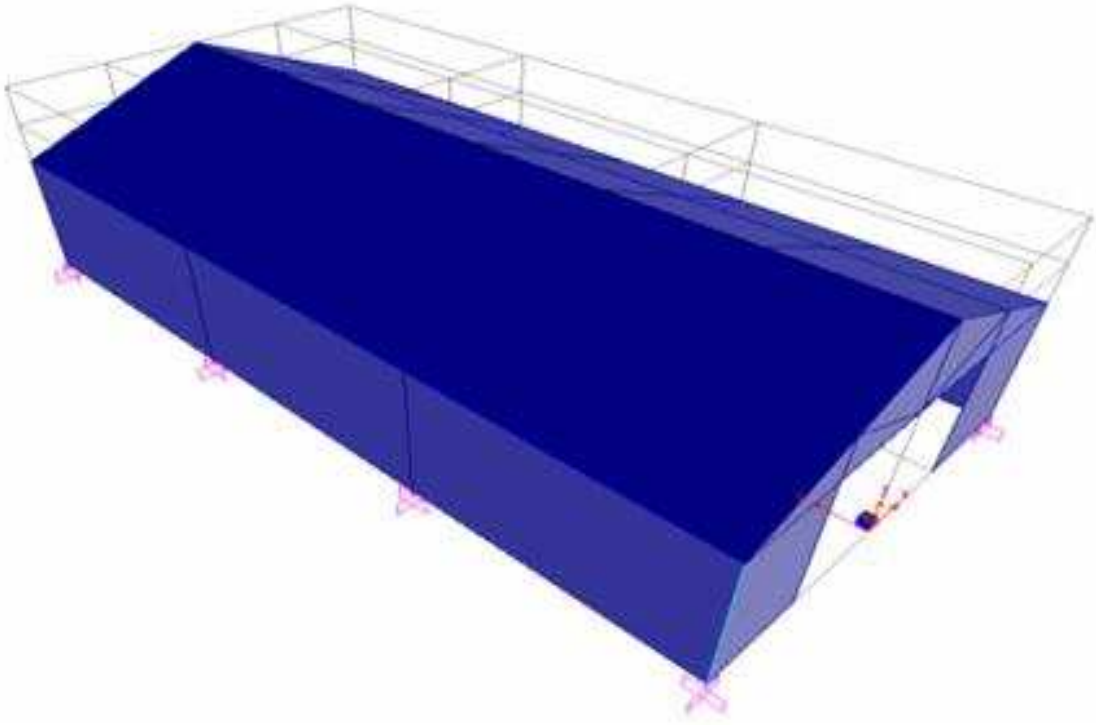


Model sera yan perspektif görünüşü

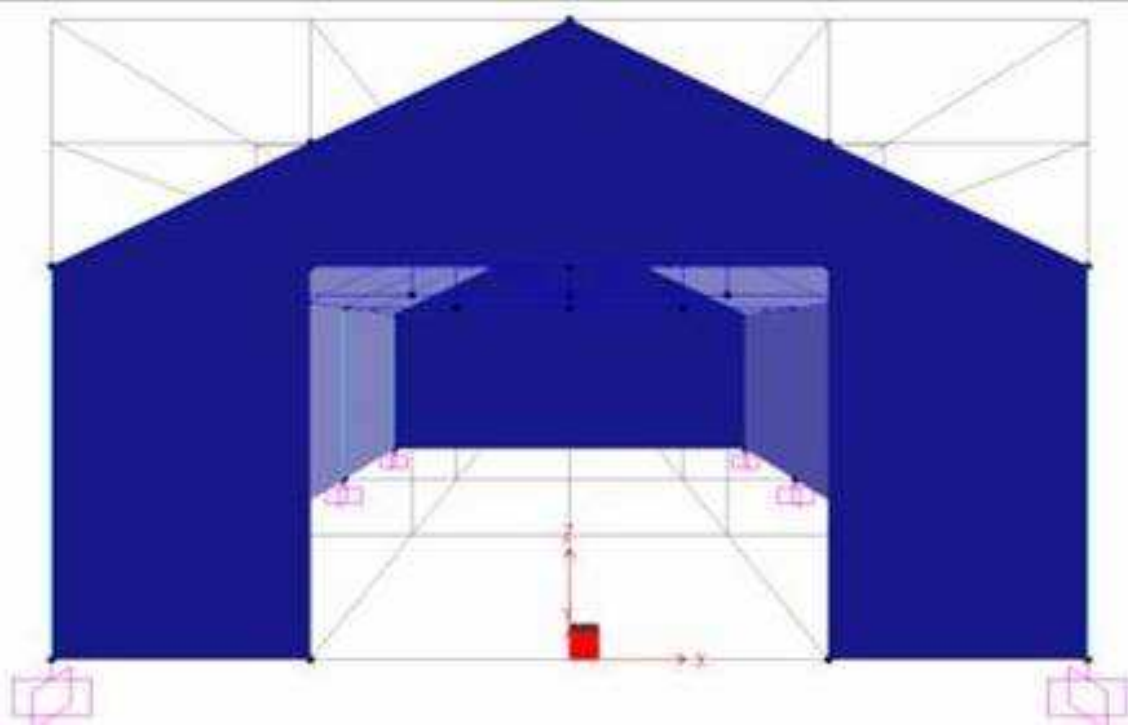


Model sera perspektif görünüşü

Şekil 46. Model sera perspektif ve görünüşleri (Devam)



Model sera kaplamalı perspektif görünüşü



Model sera kaplamalı ön cephe perspektif görünüşü

Şekil 46. Model sera perspektif ve görünüşleri (Devam)

5.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Hesaplarda kullanılan çelik malzemenin kayma gerilmesi TS648 [TS 648, 1982]'den diğer mekanik değerleri [SAP2000] programındaki verilerden yararlanılarak yapılmıştır.

Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillere ait kayma gerilmesi değeri literatürden [Javed, 2003], diğer mekanik özellikler; malzeme üzerinde yapılmış deneysel ve analitik çalışmalardan alınmıştır. Nümerik çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 17'de özetlenmiştir.

Tablo 17. 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
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 Genleşme Katsayısı ($T_{x,y,z}$) ($\frac{mm}{mm \times C^\circ}$)	$1,17 \times 10^{-6}$	$5,118 \times 10^{-6}$
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) 70 x 26 x 3,5mm ebatlarında kutu profil seçilmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Kullanılan profile ait kesit özellikleri

Malzeme Adı	F	I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y
	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ³)	(cm)	(cm)
CTP kutu profil	6,23	34,73	6,65	8,67	4,10	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 19-20). Ayrıca, ivme ölçek katsayısı hesaplanmış olup bulunan bütün değerler Tablo 21'de özetlenmiştir.

Tablo 19. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A₀)

Deprem Bölgesi	A ₀
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Tablo 20. 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 21. Zemin Değerleri

Bölge	1. Deprem Bölgesi: A ₀ =0,4
İvme Spektral Katsayısı	0,4x9,81=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 22’de Yük cinslerine göre yük miktarları belirtilerek model sera üzerindeki verilere göre teorik yük hesabı yapılmıştır.

Tablo 22. Yük miktarları[YÜKSEL, 2004].

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 23 ve Şekil 47

5.2.2.1. Kar Yüğü Hesabı

Aşıklara Gelen Kar Yüğü

$$W_k = W_s \times \cos \alpha \quad (27)$$

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

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

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

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

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

$$W_s = \text{Denizden yüksekliği 1000m'den az olan yerler için } 75 \text{ kg/m}^2 \text{ [YÜKSEL, 2004].}$$

$$A = 3,354 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$A = 6,708 \text{ m}^2$$

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

$$Q = 1,322 \text{ kN} / \text{m}$$

5.2.2.2 Rüzgar Yüğü

Rüzgar yüğü olarak hesap edilecek değer yapının yüksekliğine, yapının bulunduğu coğrafi konuma ve geometrik yapısına göre kategorilere ayrılarak tanımlanmıştır. Buna göre yapıya etkileyen rüzgar yüğü çatı ve kolonlar olarak iki kısımda hesaplanacaktır[YÜKSEL, 2004].

A. Çatı Makaslarına Gelen Rüzgar Yüğü

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

$$W_{bas.} = (1,2 \times \sin \alpha - 0,4) \times q \quad (28)$$

$$W_{çek.} = -0,4 \times q \quad (29)$$

$$\alpha = 26^\circ$$

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

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

$$W_{çek.} = -0,4 \times 0,40 m^2$$

$$W_{çek.} = -0,16 kN / m^2$$

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

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

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

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

B. Kolonlara Gelen Rüzgar Yüğü

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

$$W_b = 0,8 \times q \quad (30)$$

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

$$W_\zeta = -0,4 \times q \quad (31)$$

5.2.2.3. Zati Yüğü

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

Aşıklara Gelen Kaplama Yüğü

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

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

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

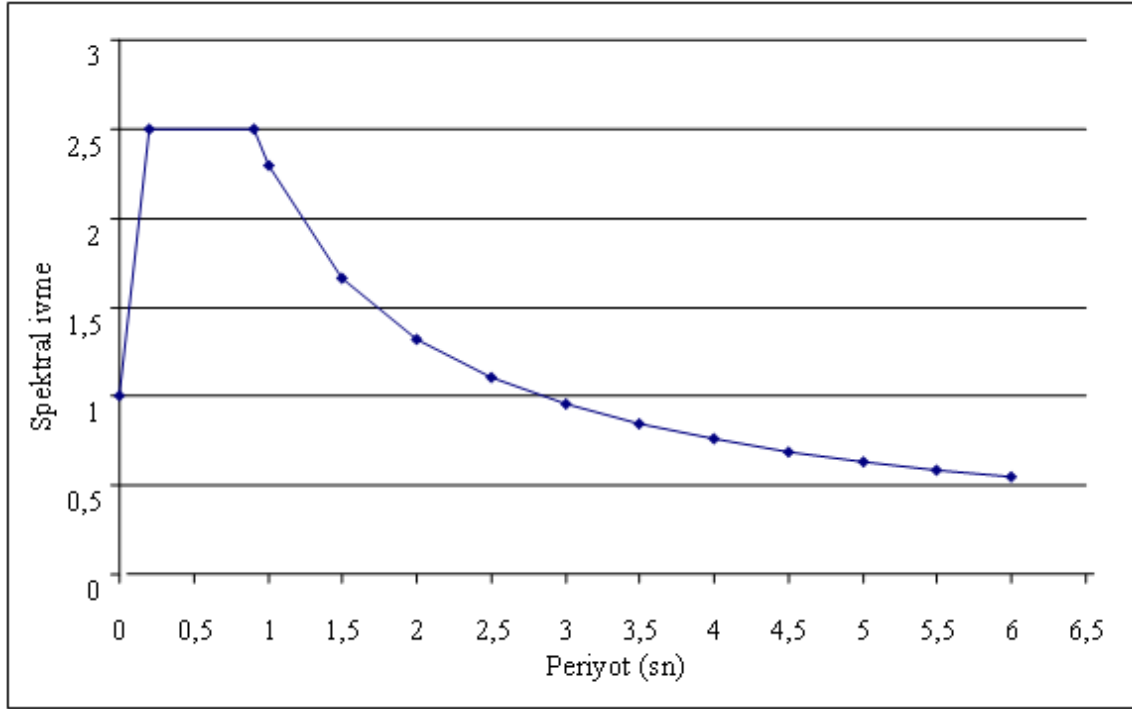
$$Q = 0,122 kN / m$$

5.2.2.4. Deprem Yüğü

Deprem yüğü için Spektrum Katsayısı değerleri Tablo 23 ve Şekil 47'de gösterilmiştir.

Tablo 23. 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	1,0	2,5	2,5	2,3	1,66	1,32	1,10	0,95	0,84	0,76	0,69	0,63	0,59	0,55



Şekil 47. Z4 zemin sınıfının ivme spektrum eğrisi

Yapılan bu hesaplamalar sonucunda bulunan bütün yük değerleri Tablo 24'te verilen kombinasyonlar kullanılarak model seraların analizleri yapılmıştır.

Tablo 24. 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 24'deki 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 [ERŞEN, 1998], Design Manuel [FIBERLINE, 2003] ve Extern Design Manuel [Design Manuel]'dan yararlanılarak formül 32 ve 33'e göre yapılmıştır.

$$\lambda = \frac{S_{kx}}{i_x} \quad (32)$$

$$\sigma = \frac{P^* \omega}{F} \leq \sigma_{em} \quad (33)$$

2. Kesme Tahkiki

Bu tahkik, Extern Design Manuel [FIBERLINE, 2003] ve Sutruktural Mechanics [HUSLE, 1991]'den yararlanılarak formül 34 ve 35'e göre yapılmıştır.

$$\tau = \frac{V_{max} * S}{I * b} \leq \tau_{em} \quad (34)$$

$$S = b * \frac{h}{2} * \frac{h}{4} \text{ (Dolu kesit için)} \quad (35)$$

3. Eğilme Tahkiki

Bu tahkik, Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları [ODABAŞI, 1991] ve Design Manuel [FIBERLINE, 2003]'ten yararlanılarak formül 36'ya göre yapılmıştır.

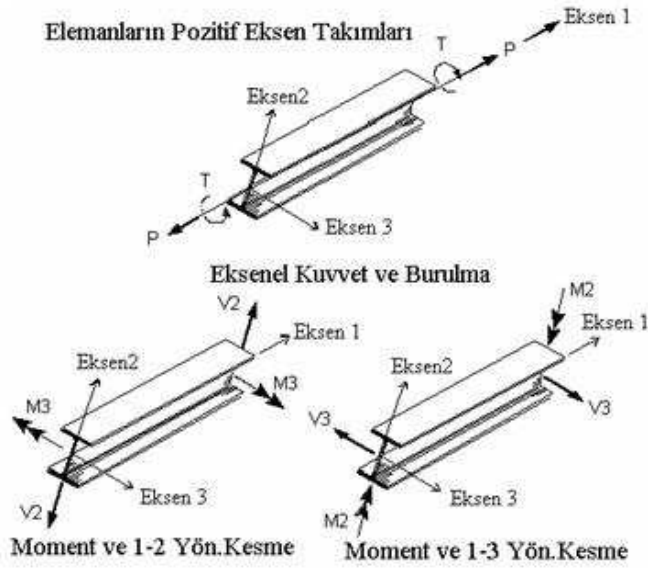
$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} \leq \sigma_{em} \quad (36)$$

4. Aşık Tahkikleri

Bu tahkik, Çelik Yapılar El Kitabı [UZAKGÖREN, 1982]'den yararlanılarak formül 37'ye göre yapılmıştır.

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em} \quad (37)$$

Bu tablolarda kuvvetler için kullanılan eksen takımları ise (P, V2, V3, M2, M3), Şekil 48'de gösterilmiştir.



Şekil 48. Yapı elemanlarının pozitif eksen takımları [SAP2000]

5.3.1. Kolon Tahkiki

Sera modelindeki kolonlar için basma ve kayma tahkiki yapılmıştır. Kolonlar üzerinde oluşan maksimum kuvvetler Tablo 25’te verilmiştir.

Tablo 25. Sera modelinde kolonlarda oluşan maksimum kuvvetler

Kuvvet Çeşidi	Eleman Çeşidi	
	Çelik	CTP
P (kN)	-10,616	-8,033
V2 (kN)	2,58	2,564
V3 (kN)	-0,152	-0,144
M2 (kNxcn)	24,26	23,05
M3 (kNxcn)	192,1	189,32

5.3.1.1. Çelik Kolon Tahkiki

X - X eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

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

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

Y-Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera kolonlarındaki maksimum basma gerilmesi 16,07 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² ile karşılaştırıldığında çelik sera kolonlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma Gerilmesi tahkiki;

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

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

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

$$\tau = \frac{V_{\max} * S}{I * b} \leq \tau_{em} \Rightarrow \tau = \frac{2,58 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 3,60 \text{ kN/cm}^2 \leq 8,153 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera kolonlarındaki maksimum kesme gerilmesi 3,60 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 8,153 kN/cm² ile karşılaştırıldığında çelik sera kolonlarının kayma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

5.3.1.2. CTP Kolon Tahkiki

X - X eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

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

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

Y - Y eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera kolonlarındaki maksimum basma gerilmesi 12,16 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP sınır emniyet değeri olan 54,57 kN/cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera kolonlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma Gerilmesi

$$S = b * \frac{h}{2} * \frac{h}{4} \Rightarrow$$

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

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

$$\tau = \frac{V_{\max} * S}{I * b} \leq \tau_{em} \Rightarrow \tau = \frac{2,564 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 3,58 \text{ kN/cm}^2 \leq 8,28 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera kolonlarındaki maksimum kesme gerilmesi 3,58 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP sınır emniyet değeri olan 8,28 kN/cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera kolonlarının kayma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tahkik sonuçları Tablo 26'da özetlenmiştir.

Tablo 26. Kolon tahkiki sonucu

Çelik				CTP			
Oluşan basma gerilmesi	Basma emniyet gerilmesi	Oluşan kayma gerilmesi (kN/cm ²)	Kayma emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan basma gerilmesi (kN/cm ²)	Basma gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan kayma gerilmesi (kN/cm ²)	Kayma gerilmesi (kN/cm ²)
3,408	24,82	3,60	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. Aşıklar üzerinde oluşan maksimum kuvvetler Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Sera modelinde aşıklara gelen maksimum kuvvetler

Kuvvet Çeşidi	Eleman Çeşidi	
	Çelik	CTP
P (kN)	2,676	1,99
V2 (kN)	1,478	1,177
V3 (kN)	-0,089	-0,068
M2 (kN.cm)	-9,28	-7,76
M3 (kN.cm)	-107	-80,06

5.3.2.1. Çelik Aşık Tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Y-Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn} \Rightarrow \sigma = \frac{2,676 \times 6,54}{6,23} = 2,81 \text{ kN/cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera aşıklardaki maksimum çekme gerilmesi 2,81 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² ile karşılaştırıldığında çelik sera aşıklarının çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Kayma Gerilmesi;

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

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

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

$$\tau = \frac{V_{max} * S}{I * b} \leq \tau_{em} \Rightarrow \tau = \frac{1,478 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 0,395 \text{ kN/cm}^2 \leq 8,153 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik aşıklarındaki maksimum kesme gerilmesi 0,395 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çelik sınır emniyet değeri olan 8,153 kN/cm² ile karşılaştırıldığında çelik sera aşıklarının kesme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir.

Eğilme Gerilmesi Tahkiki;

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{emn} \Rightarrow \sigma = \frac{107}{8,67} + \frac{9,28}{4,10} = 14,60 \text{ kN/cm}^2 \leq 24,82 \text{ kN/cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda çelik aşıklarındaki maksimum eğilme gerilmesi 14,60 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çelik sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² 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;

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

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{emn} \Rightarrow \sigma = \frac{1,99 \times 1,68}{6,23} = 0,54 \text{ kN/cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN/cm}^2$$

Y-Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

$$\sigma = \frac{p \times \omega}{F} \leq \sigma_{em} \Rightarrow \sigma = \frac{1,99 \times 6,54}{6,23} = 2,09 \text{ kN / cm}^2 \leq 54,57 \text{ kN / cm}^2$$

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera kolonlarındaki maksimum çekme gerilmesi 2,09 kN/cm² 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;

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

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

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

$$\tau = \frac{V_{max} * S}{I * b} \leq \tau_{em} \Rightarrow \tau = \frac{1,177 \times 6,50}{6,65 \times 0,7} = 0,314 \text{ kN / cm}^2 \leq 8,28 \text{ kN / cm}^2$$

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;

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em} \Rightarrow \sigma = \frac{80,06}{8,67} + \frac{7,76}{4,10} = 11,13 \text{ kN / cm}^2 \leq 56,06 \text{ kN / cm}^2$$

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. Yapılan tahkik sonuçları Tablo 28' de özetlenmiştir.

Tablo 28. Aşık tahkiki sonucu

Çelik				CTP			
Oluşan kayma gerilmesi (kN/cm ²)	Kayma emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan eğilme gerilmesi (kN/cm ²)	Eğilme emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan kayma gerilmesi (kN/cm ²)	Kayma gerilmesi i (kN/cm ²)	Oluşan eğilme gerilmesi (kN/cm ²)	Eğilme gerilmesi i (kN/cm ²)
0,395	8,153	14,60	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. Çatı üst başlıkları üzerinde oluşan maksimum kuvvetler Tablo 29'te verilmiştir.

Tablo 29. Sera modelinde çatı üst başlıklarına gelen maksimum kuvvetler

Kuvvet çeşidi	Eleman çeşidi	
	Çelik	CTP
P (kN)	-11,448	-4,58

5.3.3.1. Çelik Çatı Üst Başlığı Tahkiki

X - X eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

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

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

Y-Y eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera üst başlıklarındaki maksimum basma gerilmesi 8,45 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² 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;

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

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

Y-Y eksenine göre basınç gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera üst başlıklarındaki maksimum basma gerilmesi 3,38 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan 54,57 kN/cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera üst başlıklarındaki basma tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tahkik sonuçları Tablo 30'da özetlenmiştir.

Tablo 30. Çatı üst başlığı tahkiki sonucu

Çelik		CTP	
Oluşan basma gerilmesi (kN/cm ²)	Basma emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan basma gerilmesi (kN/cm ²)	Basma gerilmesi (kN/cm ²)
2,74	24,82	1,10	54,57
8,45		3,38	

5.3.4. Çatı Alt Başlığı Tahkiki

Sera modelindeki çatı alt başlıkları için çekme tahkiki yapılmıştır. Alt başlıklarda oluşan maksimum kuvvetler Tablo 31’de verilmiştir

Tablo 31. Sera modelinde çatı alt başlıklarına gelen maksimum kuvvetler

Kuvvet Çeşidi	Eleman Çeşidi	
	Çelik	CTP
P (kN)	14,75	10,615

5.3.4.1. Çelik Çatı Alt Başlığı Tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Y-Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera alt başlıklarındaki maksimum çekme gerilmesi 8,71 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² 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;

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

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

Y - Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera alt başlıklarındaki maksimum çekme gerilmesi 6,27 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan 54,57 kN/cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera alt başlıklarındaki çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tahkik sonuçları Tablo 32' de özetlenmiştir.

Tablo 32. Çatı alt başlığı tahkiki sonucu

Çelik		CTP	
Oluşan çekme gerilmesi (kN/cm ²)	Çekme emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan çekme gerilmesi (kN/cm ²)	Çekme gerilmesi (kN/cm ²)
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. Çatı dikme elemanı üzerinde oluşan maksimum kuvvetler Tablo 33' de verilmiştir

Tablo 33. Sera modelinde çatı dikme elemanlarına gelen maksimum kuvvetler

Kuvvet Çeşidi	Eleman Çeşidi	
	Çelik	CTP
P (kN)	4,548	4,523

5.3.5.1. Çelik Çatı Dikme Elemanı Tahkiki

X - X eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Y - Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera dikme elemanlarının maksimum çekme gerilmesi 2,69 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² 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;

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

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

Y - Y eksenine göre çekme gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera dikme elemanlarının maksimum çekme gerilmesi 2,67 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP' nin sınır emniyet değeri olan 54,57 kN/cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera dikme elemanlarının çekme gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tahkik sonuçları tablo 34'te özetlenmiştir.

Tablo 34. Çatı dikme elemanı tahkiki sonucu

Çelik		CTP	
Oluşan çekme gerilmesi (kN/cm ²)	Çekme emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan çekme gerilmesi (kN/cm ²)	Çekme gerilmesi (kN/cm ²)
1,02	24,82	1,01	54,57
2,69		2,67	

5.3.6. Çatı Diyagonal Elemanı Tahkiki

Sera modelindeki çatı diyagonal elemanları için basma tahkiki yapılmıştır. Çatı diyagonal elemanı üzerinde oluşan maksimum kuvvetler Tablo 35'te verilmiştir

Tablo 35. Sera modelinde diyagonal elemanlarına gelen maksimum kuvvetler

Kuvvet Çeşidi	Eleman Çeşidi	
	Çelik	CTP
P (kN)	-5,633	-5,751

5.3.6.1. Çelik Çatı Diyagonal Elemanı Tahkiki

X - X eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

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

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

Y - Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda çelik sera diyagonal elemanlarının maksimum basma gerilmesi 4,16 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer çeliğin sınır emniyet değeri olan 24,82 kN/cm² 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;

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

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

Y - Y eksenine göre basma gerilmesi tahkiki;

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

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

Yapılan tahkik sonucunda CTP sera diyagonal elemanlarının maksimum basma gerilmesi 4,25 kN/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu değer CTP'nin sınır emniyet değeri olan 54,57 kN/cm² ile karşılaştırıldığında CTP sera diyagonal elemanlarının basma gerilmesi tahkikine göre emniyetli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tahkik sonuçları tablo 36'da özetlenmiştir.

Tablo 36. Çatı diyagonal elemanı tahkiki sonucu

Çelik		CTP	
Oluşan çekme gerilmesi (kN/cm ²)	Çekme emniyet gerilmesi (kN/cm ²)	Oluşan çekme gerilmesi (kN/cm ²)	Çekme gerilmesi (kN/cm ²)
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 37’de gösterilmiştir.

Tablo 37. Model sera tahkik sonuçları

	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	3,600	3,580		
Aşık	- 2,81	- 2,09	0,395	0,314	14,60	11,13
Çatı Üst Başlığı	- 8,45	- 3,38				
Çatı Alt Başlığı	8,71	6,27				
Çatı Dikme Elemanı	2,69	2,67				
Çatı Diyagonal Elemanı	- 4,16	- 4,25				

Çelik ve CTP Sera modeli için Tablo 17’de gösterilen malzeme mekanik özelliklerine göre Tablo 38’de Sera modelinin sınır emniyet değerlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 38. Model sera tahkik sonuçlarının değerlendirilmesi

	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 Diyagonal Elemanı	OK	OK				

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

FA: İlgili, elemanın güvenlik tahkikinde sorunla karşılaştığını belirtir

Seraların CTP gibi hafif malzemelerden imal edilmesi ile zati ağırlığının düşmesi sonucunda en önemli taşıyıcı eleman olan kolonlara, dinamik yükler altında gelen kesme kuvvetinin azaldığı Tablo 37’de görülmektedir. Bu yüzden sera yapımında dinamik yüklere karşı yeterli denge sağlandıktan sonra hafif yapı malzemelerinin kullanımı avantaj sağlayacaktır.

Tablo 38’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 oluşturulabileceği gösterilmiştir.

BÖLÜM 6

ALTERNATİF SERA MODELLERİNİN TASARIMI

6.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Uygulamaya yönelik olarak kolay üretilebilir olması ve ekonomik sera üretimi için kullanılması planlanan pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profillere ait kayma değeri literatürden [Javed, 2003], diğer mekanik özellikler; malzeme üzerinde yapılmış deneysel ve analitik çalışmalardan alınmıştır. Alternatif sera modeli için gerekli malzeme mekanik özellikleri Tablo 39'da özetlenmiştir.

Tablo 39. Malzeme özellikleri

	CTP
Birim hacim ağırlık (Δ) (g/cm^3)	1,749
Özgül Ağırlık (γ) (g/cm^3)	1,773
Elastisite Modülü (E_x) (kN/cm^2)	2954
Elastisite Modülü ($E_{y,z}$) (kN/cm^2)	787
Poison Oranı ($\nu_{x,y,z}$)	0,34
Isı Genleşme Katsayısı ($T_{x,y,z}$) ($\frac{mm}{mm \times C^\circ}$)	$5,118 \times 10^{-6}$
Kayma Modülü ($G_{x,y,z}$) (kN/cm^2)	321,3
Kayma Gerilmesi τ_x (kN/cm^2)	8,28
Kayma Gerilmesi $\tau_{y,z}$ (kN/cm^2)	6,44
Çekme Gerilmesi (kN/cm^2)	54,57
Eğilme Gerilmesi (kN/cm^2)	56,06

6.2. Tasarımda Kullanılan Profiller

Alternatif CTP sera modeli tasarımlarında değişik ebatlarda profiller kullanılarak modellenen seranın tahkikleri yapılmıştır. Üzerinde çalışılan kutu profiller ve özellikleri Tablo 40'ta gösterilmiştir. Alternatif seraların çeşitlerine ve profil ebatlarına göre tahkikleri yapılmıştır. Yapılan tahkikler sonuçlarında bu profillerin kullanımı araştırılmıştır.

Tablo 40. Alternatif sera modeli için kullanılan CTP kutu profil çeşitleri ve özellikleri

CTP kutu profil ebadı (mm)	F (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	W _x (cm ³)	W _y (cm ³)
35x30x3,5	4,06	6,51	5,04	1,27	1,11	3,72	3,36
40x30x3,5	4,41	9,11	5,65	1,44	1,13	4,56	3,77
40x35x3,5	4,76	10,28	8,25	1,47	1,32	5,14	4,72
40x40x3,5	5,11	11,45	11,45	1,50	1,50	5,73	5,73
50x30x3,5	5,11	16,01	6,89	1,77	1,16	6,40	4,59
50x35x3,5	5,46	17,91	10,00	1,81	1,35	7,16	5,71
50x40x3,5	5,81	19,80	13,79	1,85	1,54	7,92	6,89
60x30x3,5	5,81	25,47	8,13	2,09	1,18	8,49	5,42
60x35x3,5	6,16	28,26	11,74	2,14	1,38	9,42	6,71
60x40x3,5	6,51	31,06	16,13	2,18	1,57	10,35	8,06
70x30x3,5	6,51	37,82	9,36	2,41	1,20	10,81	6,24
70x35x3,5	6,86	41,70	13,49	2,47	1,40	11,91	7,71
70x40x3,5	7,21	45,57	18,47	2,51	1,60	13,02	9,23

6.3. Alternatif CTP Sera Tasarımı

Model serada tespit edilen eleman tahkiklerindeki güvenli durum dikkate alınarak gerek bitki açısından gölgelemeyi azaltmak gerekse maliyeti düşürmek amacı ile alternatif sera modellemesi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan sınırlı değişiklikler dışında yapının yük değerleri, zemin cinsi ve uygulanan yük kombinasyonları aynı kalmak şartı ile CTP sera modellerinin çözümleri yapılmıştır.

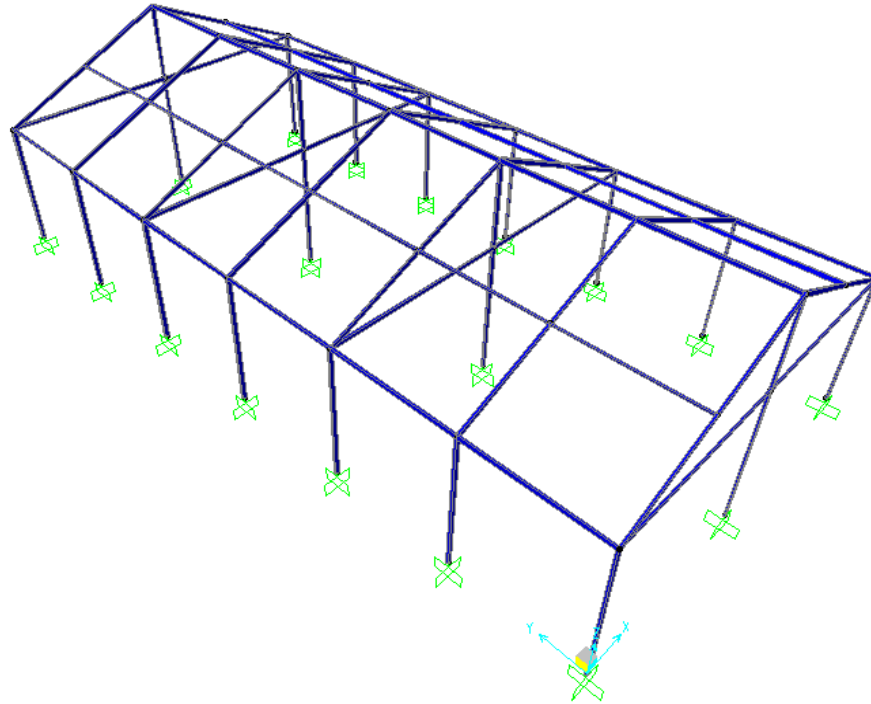
Gölgelemeyi azaltmak için çatı elemanlarında azaltılma yoluna gidilmiş ve sera dış kısımlarına montaj kolaylığı dikkate alınarak ilave kolonlar konulmuştur. CTP Seranın, üzerine gelen statik ve dinamik yükler SAP2000 programından Tablo 40'ta verilen her bir profil için ayrı ayrı tahkikleri yapılarak sonuçlar deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece sera modellemesinde kullanılabilecek kutu profil ebatlarının kullanımı araştırılmıştır.

6.3.1. Payandaların Kaldırılması

Gölgelemeyi azaltmak için çatı elemanlarında azaltılma yoluna gidilmiş ve çatıda eğilme gerilmesini azaltmak için sera orta noktalarına kolonlar ilave edilmiştir. Sera dış kısımlarına montaj kolaylığı dikkate alınarak ilave kolonlar konulmuştur. Tasarlanan CTP seranın özellikleri Tablo 41’de, perspektif görünüşü ise Şekil 49’da verilmiştir.

Tablo 41. Tasarlanan sera modelinin özellikleri

Sera Tipi	Çatılı, Blok Sera
Sera Yapı Elemanı	CTP Profil
Sera Genişliği	6 m
Sera Uzunluğu	12 m
Sera Dış Kolonlar Arası Mesafe	2 m
Sera İç Kolonlar Arası Mesafe	4 m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	27°
Sera Mahya Yüksekliği	3,90 m
Sera Makas Aralığı	4 m
Sera Mertek Aralığı	4 m
Sera Gergi Kiriş Aralığı	4 m
Sera Dikme Yüksekliği	1,5 m



Şekil 49. Alternatif tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü

Yapılan tahkik sonuçları Tablo 42’de özetlenmiştir. Tablo 42’de görüldüğü gibi profil çeşitlerinden sadece 35x30x3,5 mm ebadındaki profilin, üzerinde oluşan basma çekme gerilmesi (-63,722), deneylerle belirlenen basma – çekme gerilmesinden ($\pm 54,570$) büyük olduğundan dolayı bu modelde kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Diğer profillerin ise üzerlerinde oluşan gerilmeleri karşıladığı görülmektedir (Tablo 42).

Tablo 42. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

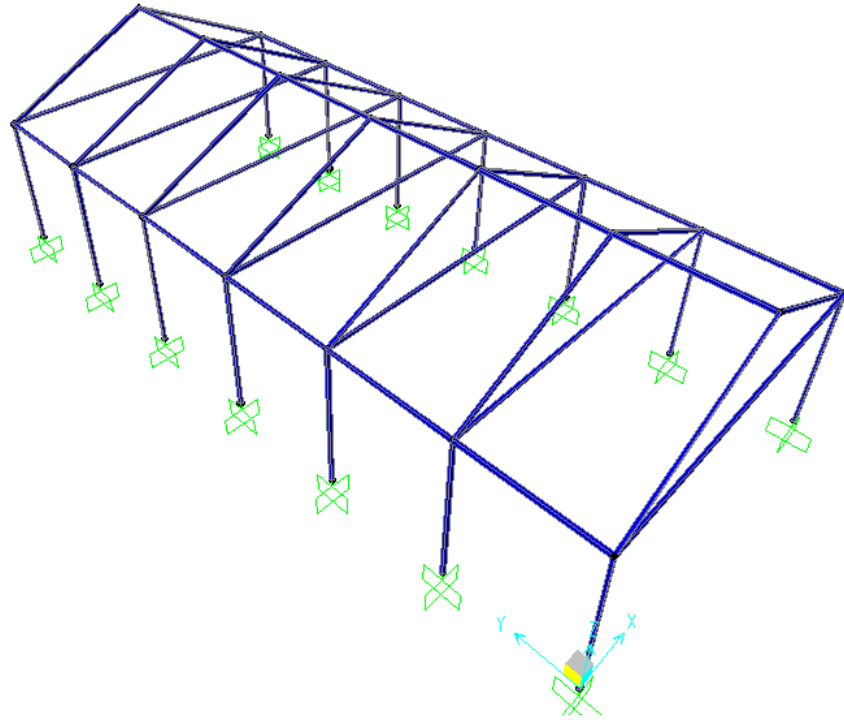
Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm²	Kayma Gerilmesi kN/cm²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm²	Eğilme Gerilmesi kN/cm²
35x30x3,5	-63,722	$\pm 54,570$	-1,136	$\pm 8,153$	-53,366	$\pm 56,06$
40x30x3,5	-49,439	$\pm 54,570$	-0,995	$\pm 8,153$	-47,533	$\pm 56,06$
40x35x3,5	-43,931	$\pm 54,570$	-0,980	$\pm 8,153$	-37,983	$\pm 56,06$
40x40x3,5	-39,445	$\pm 54,570$	-0,968	$\pm 8,153$	-31,294	$\pm 56,06$
50x30x3,5	-32,739	$\pm 54,570$	-0,801	$\pm 8,153$	-39,006	$\pm 56,06$
50x35x3,5	-29,277	$\pm 54,570$	-0,788	$\pm 8,153$	-31,360	$\pm 56,06$
50x40x3,5	-26,422	$\pm 54,570$	-0,778	$\pm 8,153$	-25,987	$\pm 56,06$
60x30x3,5	-23,448	$\pm 54,570$	-0,673	$\pm 8,153$	-33,072	$\pm 56,06$
60x35x3,5	-21,182	$\pm 54,570$	-0,662	$\pm 8,153$	-26,703	$\pm 56,06$
60x40x3,5	-19,202	$\pm 54,570$	-0,652	$\pm 8,153$	-22,219	$\pm 56,06$
70x30x3,5	-17,726	$\pm 54,570$	-0,582	$\pm 8,153$	-28,706	$\pm 56,06$
70x35x3,5	-16,115	$\pm 54,570$	-0,572	$\pm 8,153$	-23,251	$\pm 56,06$
70x40x3,5	-14,767	$\pm 54,570$	-0,564	$\pm 8,153$	-19,405	$\pm 56,06$

6.3.2. İç Kolon ve Orta Aşıkların Kaldırılması

Gölgelemeyi azaltmak için çatı elemanlarında azaltılma yoluna gidilerek dikme ve orta aşıklar kaldırılmıştır. Ayrıca sera içi kullanım alanını artırmak ve kullanım esnasında çalışma kolaylığı sağlamak amacıyla sera içerisindeki kolonlar kaldırılmıştır. Yapılan sınırlı değişiklikler dışında yapının yük değerleri, zemin cinsi ve uygulanan yük kombinasyonları aynı kalmak şartı ile SAP2000 programında simüle edilerek sera modelinin tahkikleri yapılmıştır. Tasarlanan CTP seranın özellikleri Tablo 43'te ve perspektif görünüşü Şekil 50'de verilmiştir.

Tablo 43. Tasarlanan sera modelinin özellikleri (iç kolon ve orta aşıkların kaldırılması)

Sera Tipi	Çatılı, Blok Sera
Sera Yapı Elemanı	CTP Profil
Sera Genişliği	6 m
Sera Uzunluğu	12 m
Sera Dış Kolonlar Arası Mesafe	2 m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	27°
Sera Mahya Yüksekliği	3,90 m
Sera Makas Aralığı	2 m
Sera Gergi Kirişi Aralığı	2 m



Şekil 50. İç kolon ve orta aşıkların kaldırılması şeklinde tasarlanan CTP sera modeli

Yapılan tahkik sonuçları Tablo 44’de özetlenmiştir. Yapılan tahkikler sonucunda üzerinde çalışılan profil çeşitlerinden sadece 35x30x3,5 mm ebadındaki profilin, üzerinde oluşan basma çekme gerilmesi (-61,643), deneylerle belirlenen basma – çekme gerilmesinden ($\pm 54,570$) büyük olduğundan dolayı bu modelde kullanılamayacağı anlaşılmıştır (Tablo 42). Sera elemanları üzerine gelen gerilmelerin bir önceki modele göre (Tablo 44) azaldığı görülmektedir.

Tablo 44. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

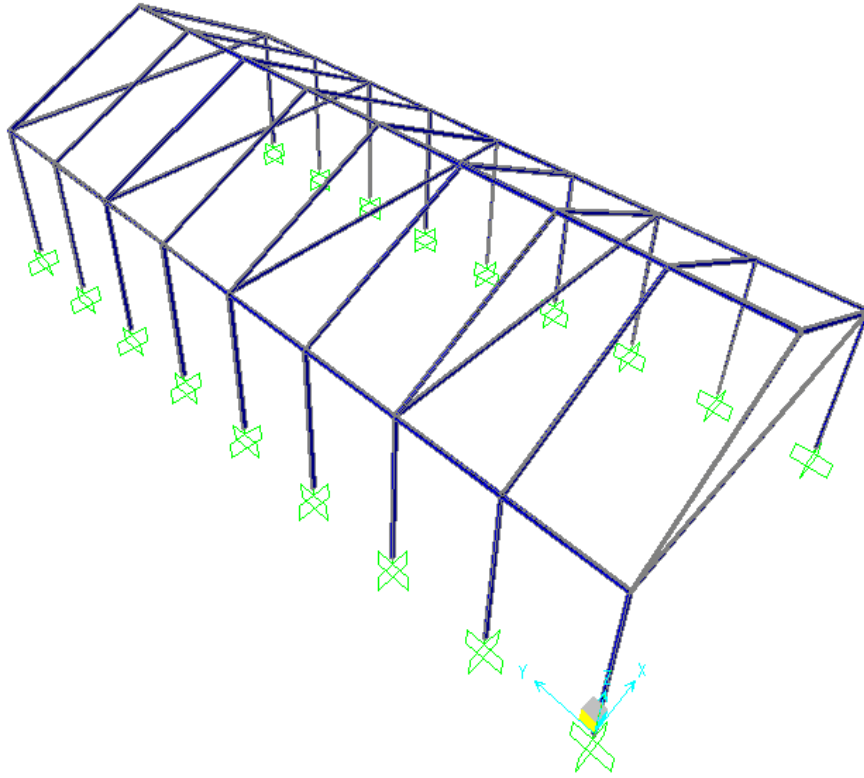
Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm ²	Kayma Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm ²	Eğilme Gerilmesi kN/cm ²
35x30x3,5	-61,643	$\pm 54,570$	0,920	$\pm 8,153$	39,417	$\pm 56,06$
40x30x3,5	-49,795	$\pm 54,570$	0,806	$\pm 8,153$	32,190	$\pm 56,06$
40x35x3,5	-43,969	$\pm 54,570$	0,794	$\pm 8,153$	28,529	$\pm 56,06$
40x40x3,5	-39,502	$\pm 54,570$	0,784	$\pm 8,153$	25,616	$\pm 56,06$
50x30x3,5	-31,751	$\pm 54,570$	0,649	$\pm 8,153$	22,900	$\pm 56,06$
50x35x3,5	-28,280	$\pm 54,570$	0,638	$\pm 8,153$	20,476	$\pm 56,06$
50x40x3,5	-25,646	$\pm 54,570$	0,630	$\pm 8,153$	18,516	$\pm 56,06$
60x30x3,5	-22,143	$\pm 54,570$	0,545	$\pm 8,153$	17,278	$\pm 56,06$
60x35x3,5	-19,910	$\pm 54,570$	0,536	$\pm 8,153$	15,568	$\pm 56,06$
60x40x3,5	-18,121	$\pm 54,570$	0,529	$\pm 8,153$	14,166	$\pm 56,06$
70x30x3,5	-16,274	$\pm 54,570$	0,471	$\pm 8,153$	13,571	$\pm 56,06$
70x35x3,5	-14,773	$\pm 54,570$	0,463	$\pm 8,153$	12,310	$\pm 56,06$
70x40x3,5	-13,564	$\pm 54,570$	0,457	$\pm 8,153$	11,264	$\pm 56,06$

6.3.3. Kolon Aralıklarının ve Çatı Gergi Kirişlerinin Azaltılması

Bu çalışmada kolon açıklıkları 1,5 m'ye düşürülmüş, gölgelemeyi azaltmak için gergi kirişleri azaltılmış, sera kaplamasının CTP elemanı üzerine montaj kolaylığı amaçlanmıştır. Bu değişiklikler neticesinde statik ve dinamik yükler altında tasarlanan CTP seranın tahkikleri yapılmıştır. Tasarlanan CTP seranın özellikleri Tablo 45'te ve perspektif görünüşü Şekil 51'de verilmiştir.

Tablo 45. Sera modeli özellikleri (Kolon Aralıkları ve Çatı Gergi Kirişlerinin Azaltılması)

Sera Tipi	Çatılı, Blok Sera
Sera Yapı Elemanı	CTP Profil
Sera Genişliği	6 m
Sera Uzunluğu	12 m
Sera Dış Kolonlar Arası Mesafe	1,5 m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	27°
Sera Mahya Yüksekliği	3,90 m
Sera Makas Aralığı	3 m
Sera Gergi Kirişi Aralığı	3 m



Şekil 51. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tasarlanan CTP sera modeli

Tahkik sonuçları Tablo 46’da özetlenmiştir. Yapılan tahkiklerde sadece 35x30x3,5 mm ebadındaki profilin, üzerinde oluşan basma çekme gerilmesi (-59,362), deneylerle belirlenen basma-çekme gerilmesinden ($\pm 54,570$) büyük olduğundan dolayı bu modelde kullanılamayacağı anlaşılmıştır (Tablo 46). Sera elemanları üzerine gelen gerilmelerin bir önceki modele göre (Tablo 44) azaldığı görülmektedir.

Tablo 46. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm ²	Kayma Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm ²	Eğilme Gerilmesi kN/cm ²
35x30x3,5	-59,362	$\pm 54,570$	-0,864	$\pm 8,153$	-28,522	$\pm 56,06$
40x30x3,5	-47,902	$\pm 54,570$	-0,757	$\pm 8,153$	-25,405	$\pm 56,06$
40x35x3,5	-42,284	$\pm 54,570$	-0,746	$\pm 8,153$	-20,301	$\pm 56,06$
40x40x3,5	-37,990	$\pm 54,570$	-0,737	$\pm 8,153$	-16,726	$\pm 56,06$
50x30x3,5	-30,205	$\pm 54,570$	-0,610	$\pm 8,153$	-20,847	$\pm 56,06$
50x35x3,5	-26,892	$\pm 54,570$	-0,600	$\pm 8,153$	-16,761	$\pm 56,06$
50x40x3,5	-24,395	$\pm 54,570$	-0,592	$\pm 8,153$	-13,889	$\pm 56,06$
60x30x3,5	-20,878	$\pm 54,570$	-0,512	$\pm 8,153$	-17,676	$\pm 56,06$
60x35x3,5	-18,768	$\pm 54,570$	-0,503	$\pm 8,153$	-14,272	$\pm 56,06$
60x40x3,5	-17,082	$\pm 54,570$	-0,496	$\pm 8,153$	-11,875	$\pm 56,06$
70x30x3,5	-15,219	$\pm 54,570$	-0,443	$\pm 8,153$	-15,342	$\pm 56,06$
70x35x3,5	-13,816	$\pm 54,570$	-0,435	$\pm 8,153$	-12,427	$\pm 56,06$
70x40x3,5	-12,691	$\pm 54,570$	-0,429	$\pm 8,153$	-10,371	$\pm 56,06$

Bu değişikler neticesinde tasarlanan seranın tahkikleri Tablo 48’de özetlenmiştir. Yapılan tahkikler sonucunda profil çeşitlerinin tamamının deneylerle belirlenen sınır değerlerini karşıladığı tespit edilmiştir.

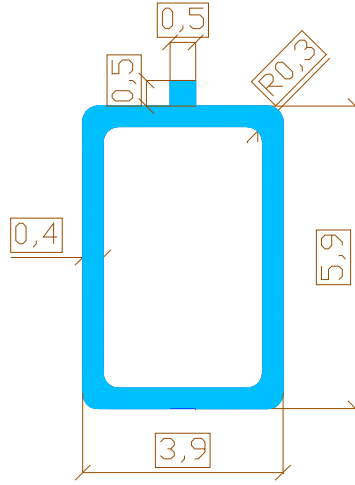
Tablo 48. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm ²	Kayma Gerilmesi kN/cm²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm ²	Eğilme Gerilmesi kN/cm²
35x30x3,5	-40,192	±54,570	0,769	±8,153	25,855	±56,06
40x30x3,5	-30,333	±54,570	0,674	±8,153	21,115	±56,06
40x35x3,5	-26,975	±54,570	0,664	±8,153	18,713	±56,06
40x40x3,5	-24,192	±54,570	0,656	±8,153	16,803	±56,06
50x30x3,5	-19,140	±54,570	0,543	±8,153	15,021	±56,06
50x35x3,5	-17,095	±54,570	0,534	±8,153	13,431	±56,06
50x40x3,5	-15,478	±54,570	0,527	±8,153	12,145	±56,06
60x30x3,5	-13,266	±54,570	0,456	±8,153	11,333	±56,06
60x35x3,5	-11,899	±54,570	0,448	±8,153	10,212	±56,06
60x40x3,5	-11,197	±54,570	0,442	±8,153	9,297	±56,06
70x30x3,5	-10,475	±54,570	0,394	±8,153	8,902	±56,06
70x35x3,5	-9,515	±54,570	0,387	±8,153	8,075	±56,06
70x40x3,5	-8,715	±54,570	0,382	±8,153	7,389	±56,06

Çeşitli ebatlardaki CTP kutu profillerle yapılan analizler sonucunda kalıcı seracılıkta CTP profillerin kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Uygulamaya yönelik olarak belirlenen temel çeşidi, sera tipi ve özellikleri dikkate alınarak çözümler yapılmış ve sera modeli için uygulamaya yönelik çalışmalar yapılmıştır.

6.4. CTP Sera Uygulama Projesi

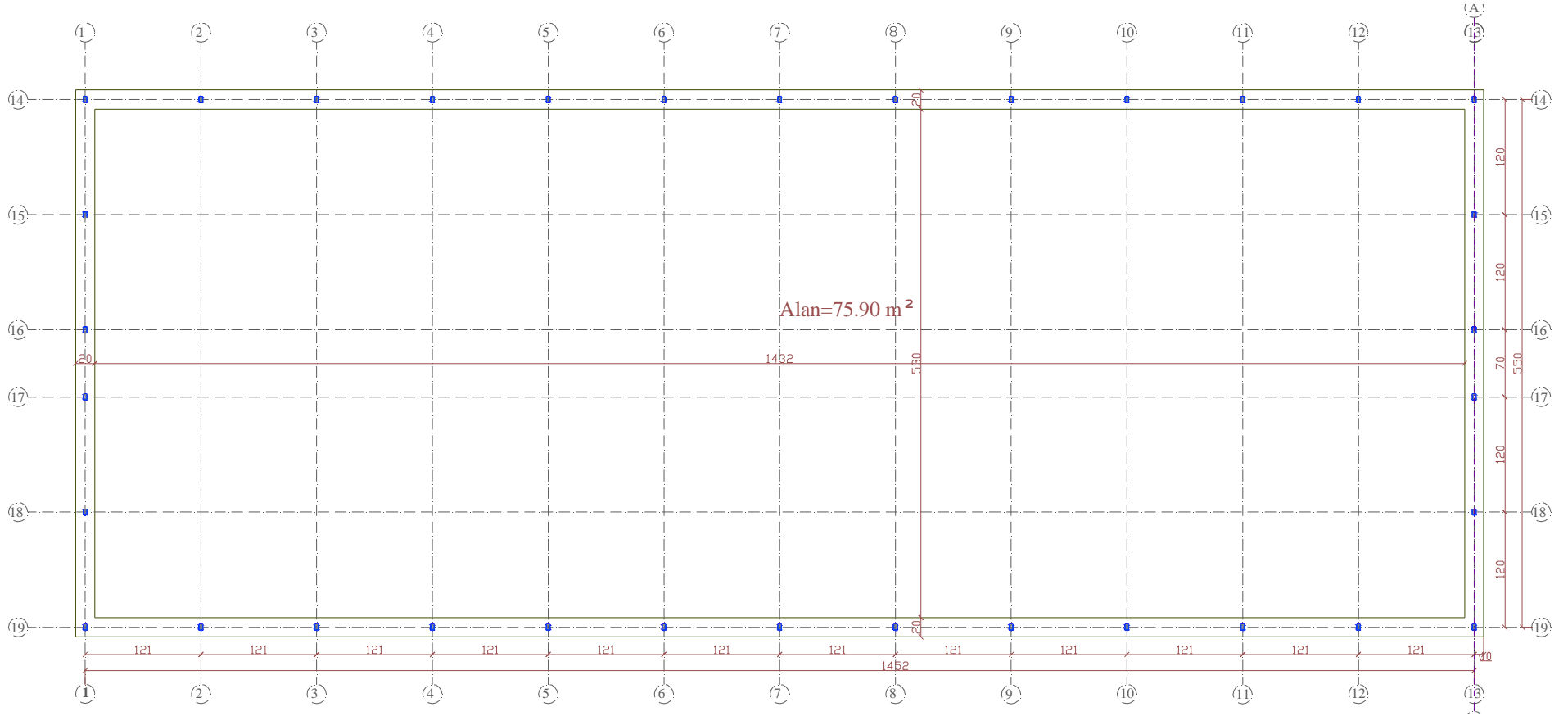
Yapılan model çalışmaları neticesinde arazide uygulanabilir bir model olarak ortaya konulan sera özellikleri uygulama kolaylığı, montaj kolaylığı ve birleştirme detayları dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiştir. Birleştirme elamanlarının oluşturulması için piyasada mevcut çelik kutu profiller dikkate alınarak (30x50 mm) sera uygulamasında kullanılacak CTP profil ebatlarının 59x39x4 mm olması kararlaştırılmış, kaplamanın profil üzerine plaka halinde oturması için profil üzerinde 5x5 mm'lik bir çıkıntı dizayn edilmiş (Şekil 53) ve nümerik tahkikleri yapılmıştır. Arazide uygulanacak sera modeline ait özellikler Tablo 49'da, plan kesit ve perspektif görünüşleri Şekil 54-56'da verilmiştir.



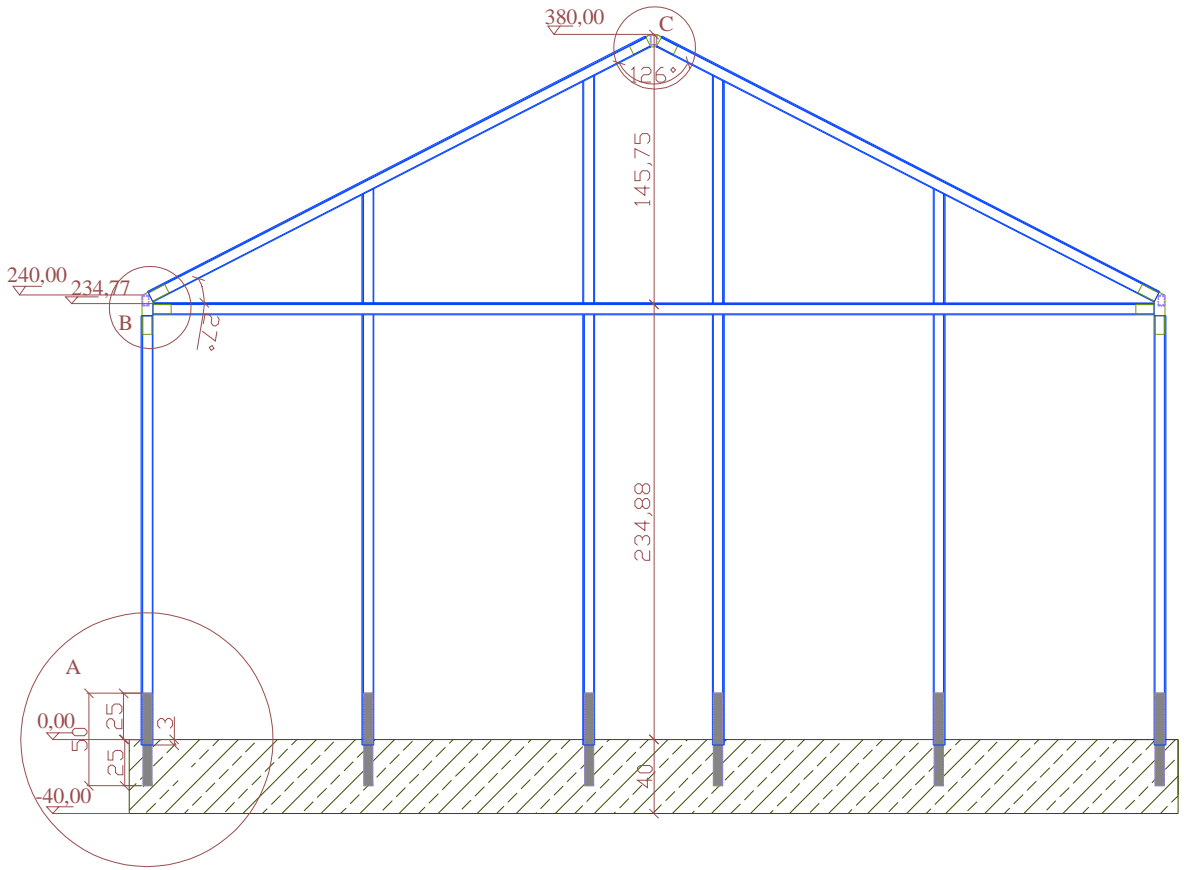
Şekil 53. Uygulamada kullanılacak CTP profil şekli ve ebatları

Tablo 49. CTP sera projesinin özellikleri

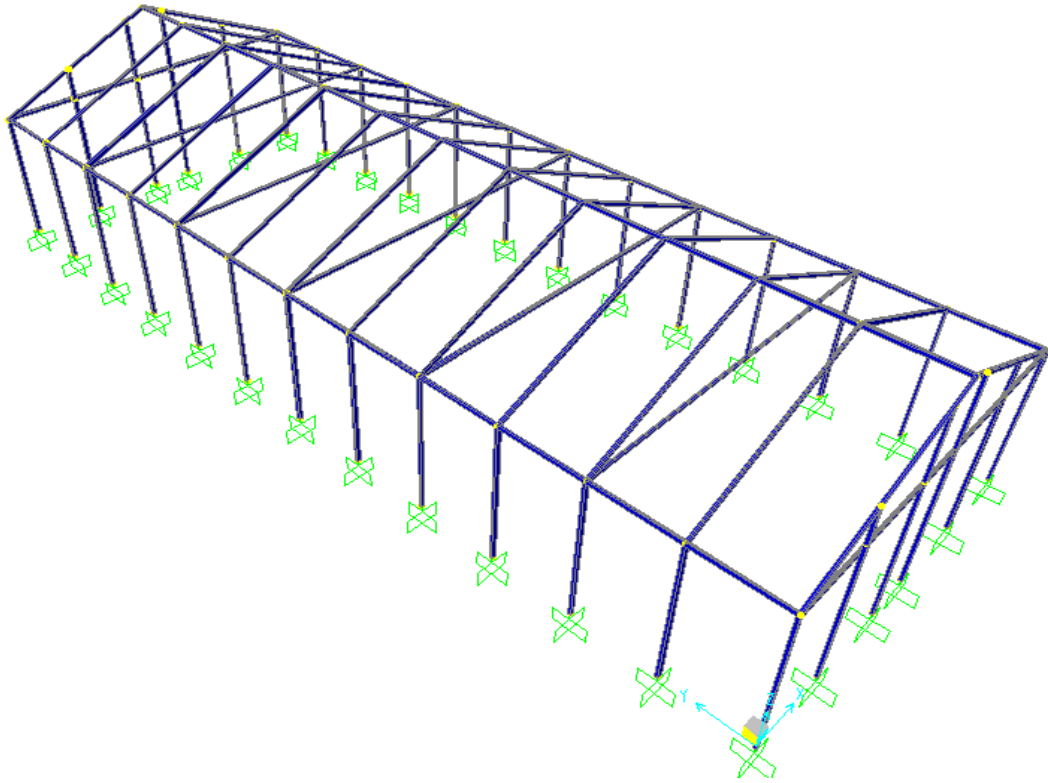
Sera Tipi	Çatılı, Blok Sera
Sera Yapı Elemanı	CTP Profil
Profil Ebadı	59x39x4 mm
Sera Genişliği	5,50 m
Sera Uzunluğu	14,52 m
Sera dış kolonlar arası mesafe	1,21 m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	27°
Sera Mahya Yüksekliği	3,80 m
Sera Kullanım Alanı	75,90 m ²
Sera modelindeki kolon sayısı	34
Sera Örtü Elemanı	2,00 mm'lik CTP levha
Mertek Aralığı	1,21m
Bağlantılar	Çelik (Galvanizli)
Sera Temeli	0,40x0,20 m kesitli betonarme



Şekil 54. CTP Sera Planı



Şekil 55. CTP Sera A-A Kesiti



Şekil 56. CTP sera modeli perspektif görünüşü

6.4.1. Model sera analizi

Alternatif CTP sera modelinde SAP2000 programından Tablo 24’te verilen kombinasyonlara göre elamanlar üzerine gelen maksimum yükler alınmış ve sera elamanlarının tahkikleri yapılmıştır. Sera elamanlarının tahkik sonuçları Tablo 50’de sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yeni modeldeki elemanlar sınır değerleri ile karşılaştırıldığında alternatif sera modelindeki sera elemanlarının sınır değerleri içerisindeki bölgede kaldığı görülmektedir. Alternatif modele ait tahkik sonuçlarının uygunluğu Tablo 51’de gösterilmiştir.

Tablo 50. Uygulamaya yönelik sera modeli tahkik sonuçları

Elamanlar	Basma-Çekme (kN/cm ²)			Kayma Gerilmesi (kN/cm ²)			Eğilme (kN/cm ²)		
	CTP X Yönü	CTP Y Yönü	Basma-Çekme Gerilmesi	CTP X Yönü	CTP Y Yönü	Kayma Gerilmesi	CTP X Yönü	CTP Y Yönü	Max. Eğilme Gerilmesi
Kolon	-10,50	-5,289	±54,570	0,297	-0,002	±8,153	-1,742	8,822	±56,06
Damlalık Aşığı			±54,570	-0,087	0,009	±8,153	3,576	0,000	±56,06
Mahya			±54,570	0,455	0,006	±8,153	2,351	-7,105	±56,06
Mertek	-4,46	-3,381	±54,570	0,363	-0,003	±8,153	-2,580	-5,627	±56,06
Gergi Kirişi			±54,570	-0,112	-0,001	±8,153	-1,494	2,835	±56,06

Tablo 51. Uygulamaya yönelik sera modeli tahkik sonuçlarının değerlendirilmesi

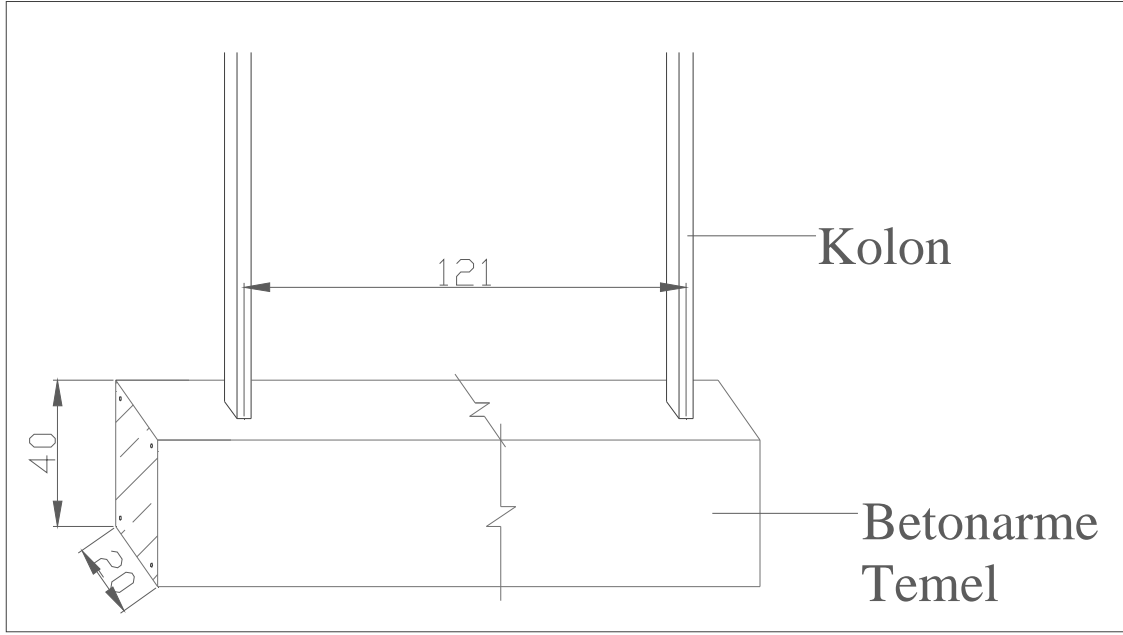
Elamanlar	Basma - Çekme Gerilmesi (kN/cm ²)	Kayma Gerilmesi (kN/cm ²)	Eğilme Gerilmesi (kN/cm ²)
Kolon	OK	OK	OK
Damlalık Aşığı	-	OK	OK
Mahya Tahkiki	-	OK	OK
Mertek	OK	OK	OK
Gergi Kirişi	-	OK	OK

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

FA : İlgili, elemanın güvenlik tahkikinde sorunla karşılaştığını belirtir.

6.4.2. Model Sera Temel Hesabı

Temellerin projelendirilmesinde, temele gelen yükün ağırlığı toplamının birim alana verdiği yükün toprağın zemin emniyet gerilmesinden ($\sigma_{em}=1,5 \text{ kg/cm}^2$) küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde temelde oturmalar meydana gelir ve seranın yapısı bozulabilir. Hesaplama kullanılan temel boyutları Şekil 57’de gösterilmiştir [YÜKSEL, 2004].



Şekil 57. Hesaplama için kullanılacak temel boyutları

6.4.2.1. Zemin Taşıma Gücü Tahkiki

Bir kolona gelen max eksenel yük= 4 kN SAP2000 analiz sonucundan alınmıştır.

Betonarme ağırlığı:

$$\text{Betonarme özgül ağırlığı} = 2400 \text{ kg/m}^3 = \frac{2400 \text{ kg/m}^3}{98,1 \text{ kg/s}^2} = 24,465 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_{em} = 1,500 \text{ kg/cm}^2 = \frac{1,500 \text{ kg/cm}^2 \times 10000}{98,1 \text{ kg/s}^2} = 152,905 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Betonarme hacmi} = 1,21 \times 0,20 \times 0,40 = 0,097 \text{ m}^3$$

$$\text{Betonarme ağırlığı} = 24,465 \text{ kN/m}^3 \times 0,097 \text{ m}^3 = 2,373 \text{ kN}$$

$$\text{Zemine iletilen toplam yük} = 4 + 2,373 = 6,373 \text{ kN}$$

$$\text{Temel alanı (A)} = 1,21 \times 0,20 = 0,242 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{6,373}{0,242} = 26,335 < \sigma_{em} = 152,905 \text{ kN/m}^2 \text{ (Emniyetli)}$$

6.4.2.2. Devrilme Tahkiki

Devrilme tahkikinin yapılabilmesi için, seranın ağırlığının bulunması gerekir. Daha sonra serayı devirmeye çalışan kuvvetlerle bunların karşılaştırılması yapılır.

A. Devrilmeye Karşı Koyan Kuvvetler

1. CTP Profil Ağırlığı

CTP Sera projesinde kullanılan profillere ait bilgiler Tablo 52’de gösterilmiştir.

Tablo 52. CTP Profil Miktarlarına ait bilgiler

	Adet	Uzunluk (cm)	Top. Uzunluk (cm)	Kesit Alanı (cm ²)
Kolon	34	233	7922	7,45
Aşık ve mahya	36	117	4212	7,45
Mertek	26	303	7878	7,45
Gergi Kirişi	7	544	3808	7,45
İlave (sera ön ve arka makas dikmeleri)	1	720	720	7,45
Toplam			24540	

Profil uzunluğu (L) = 24540 cm = 245,40 m

Profil alanı (A) = 7,45 cm² = 0,000745 m²

Profil ağırlığı = $\gamma \times L \times A = 17,393 \text{ kN/m}^3 \times 245,4 \text{ m} \times 0,000745 \text{ m}^2 = 3,18 \text{ kN}$

2. CTP Kaplama Ağırlığı

CTP Sera projesinde sera örtüsü olarak kullanılan CTP kaplama malzemesine ait bilgiler Tablo 53’te gösterilmiştir.

Tablo 53. CTP kaplama malzemesine ait bilgiler

	Adet	Genişlik	Uzunluk	Yüzey Alanı cm ²
Yan Yüzeyler	26	120	240	748800
Çatı Örtüsü	26	120	312	973440
Ön ve Arka Yüzeyler	12	120	232	334080
Toplam				2056320

Kaplama yüzey alanı (A)= 2056320 cm² = 205,63 m²

Kaplama kalınlığı (t) = 2 mm = 0,002m

Kaplama ağırlığı = $\gamma t x A = 17,393 \text{ kN/m}^3 \times 0,002 \text{ m} \times 205,63 \text{ m}^2 = 7,15 \text{ kN}$

3. Çelik Birleştirme Elamanı Ağırlığı

CTP sera projesinde kullanılan Çelik birleştirme elamanlarının her birinin ağırlığı tartılmış ve Tablo 54’te gösterilmiştir.

Tablo 54. Çelik Birleştirme elemanlarına ait bilgiler

	Adet	Her bir Elaman Ağırlığı (kN)	Birleştirme Ağırlığı (kN)
Kolon-Çatı Birleştirme	26	0,020	0,53
Mahya-Çatı Birleştirme	13	0,020	0,27
Temel-Kolon Birleştirme	34	0,009	0,30
Toplam			1,10

4. Betonarme Ağırlığının Hesabı

Betonarme özgül ağırlık= = 24,465 kN/m³

Betonarme hatıl ağırlığı = (14,72x2 + 5,1x2)x0,20x0,40x24,465 = 77,58 kN

5. Seranın Toplam Ağırlığı (W)

Toplam CTP profil ağırlığı =3,18 kN

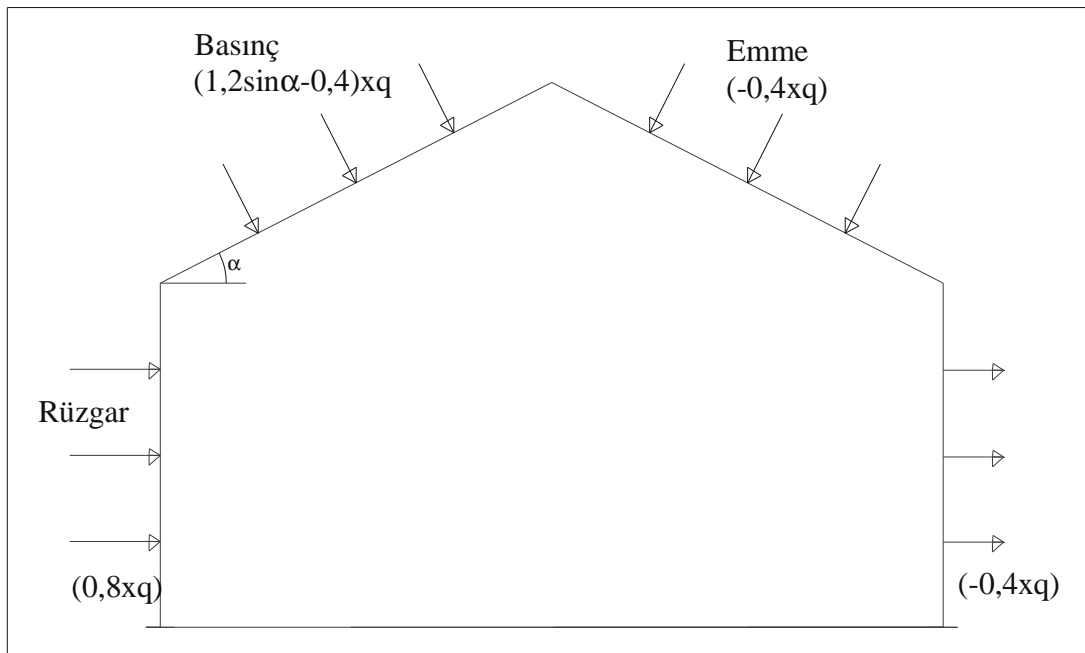
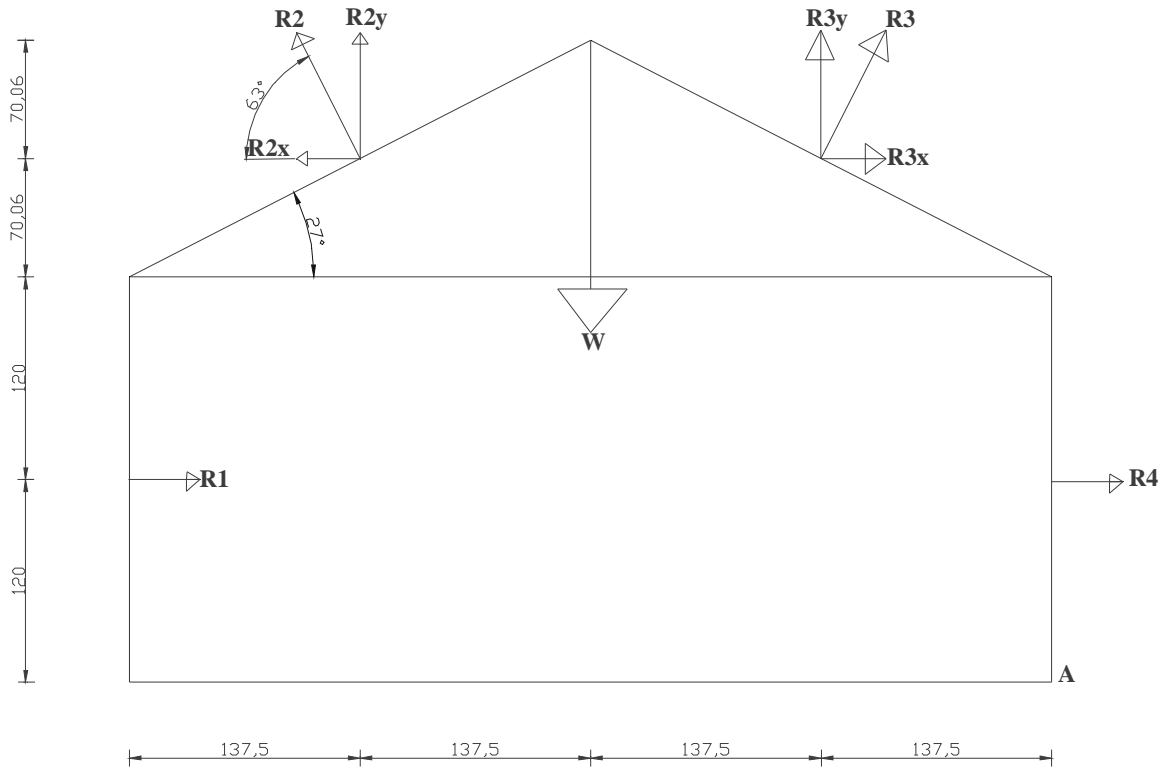
Toplam Kaplama Ağırlığı=7,15 kN

Toplam birleştirme elaman ağırlığı=1,10 kN

Toplam betonarme ağırlığı=77,58

W= 3,18 + 7,15 + 1,10 + 77,58 = 89,01 kN

Devrilme tahkiki için kuvvetler ve kuvvetlerin uygulanma noktaları Şekil 58’de verilmiştir. Bu kuvvetlerin momentleri A noktasına göre alınmıştır.



Şekil 58. Devrilme tahkiki için kuvvetler ve kuvvetlerin uygulanma noktaları[YÜKSEL, 2004].

Serayı devirmeye zorlayacak rüzgar yükü ve bunun oluşturacağı dinamik momenttir. Bunların arasındaki oran $\sum Ms / \sum Md > 1,5$ 'ten büyük olmalıdır [YÜKSEL, 2004].

A. Seranın Devrilmesine Etki Eden Kuvvetler;

1. Kolonlara Gelen Rüzgar Yüğü

$$W_b = 0,8 \times q \quad (6)$$

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

$$W_\zeta = -0,4 \times q \quad (7)$$

$$A = 14,52 \times 2,40 = 34,848 \text{ m}^2$$

$$R1 = W_b \times A = 0,32 \times 34,848 = 11,151 \text{ kN}$$

2. Çatı Gelen Rüzgar Yüğü

Çatıda basmaya çalışan rüzgar yüğü

Çatı yüzeyinde basmaya çalışan rüzgar yüğü R2 ile gösterilmiştir. Çatıda m²'ye gelen rüzgar yüğü temel formüllerle hesaplanmış ve çatı yüzey alanıyla (A) çarpılarak çatıya etki eden rüzgar yüğü bulunmuştur. Hesaplanan R2 yüğü hesap kolaylığı için X ve Y bileşenlerine ayrılarak R2x ve R2y olarak gösterilmiştir.

$$W_{bas.} = (1,2 \times \sin \alpha - 0,4) \times q \quad (8)$$

$$\alpha = 27^\circ$$

$$W_{bas.} = (1,2 \times \sin 27^\circ - 0,4) \times 0,40 \text{ m}^2$$

$$W_{bas.} = 0,145 \times 0,40 = 0,058 \text{ kN/m}^2$$

$$A = 14,52 \text{ m} \times 3,08 \text{ m}$$

$$A = 44,72 \text{ m}^2$$

$$R2 = W_{bas.} \times A = 0,058 \text{ kN/m}^2 \times 44,72 \text{ m}^2 = 2,595 \text{ kN}$$

$$R2x = R2 \times \cos 63^\circ = -1,178 \text{ kN}$$

$$R2y = R2 \times \sin 63^\circ = -2,312 \text{ kN}$$

Çatıda çekmeye çalışan rüzgar yüğü

Çatı yüzeyinde basmaya çalışan rüzgar yüğü R3 ile gösterilmiştir. Çatıda m²'ye gelen rüzgar yüğü temel formüllerle hesaplanmış ve çatı yüzey alanıyla (A) çarpılarak çatıya etki eden rüzgar bulunmuştur. Hesaplanan R3 yüğü hesap kolaylığı için X ve Y bileşenlerine ayrılarak R3x ve R3y olarak gösterilmiştir.

$$W_{çek.} = -0,4 \times q \quad (9)$$

$$W_{çek.} = -0,4 \times 0,40 \text{ m}^2$$

$$W_{çek.} = -0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$R3 = W_{çek.} \times A = -0,16 \text{ kN/m}^2 \times 44,72 = -7,155 \text{ kN}$$

$$R3x = R3 \times \cos 63^\circ = -3,248 \text{ kN}$$

$$R3y = R3 \times \sin 63^\circ = -6,375 \text{ kN}$$

Kolonlarda çekmeye çalışan rüzgar yükü

$$W_{\zeta} = -0,4 \times q \quad (10)$$

$$W_{\zeta} = -0,4 \times 0,4 = -0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$R4 = W_{\zeta} \times A = -0,16 \text{ kN/m}^2 \times 44,72 \text{ m}^2 = -7,155 \text{ kN}$$

Serayı devirmeye etki eden ve kuvvetler;

$$R1 = 11,151 \text{ kN}$$

$$R2 = 2,595 \text{ kN}$$

$$R2x = -1,178 \text{ kN}$$

$$R2y = -2,312 \text{ kN}$$

$$R3 = -7,155 \text{ kN}$$

$$R3x = -3,248 \text{ kN}$$

$$R3y = -6,375 \text{ kN}$$

$$R4 = -7,155 \text{ kN}$$

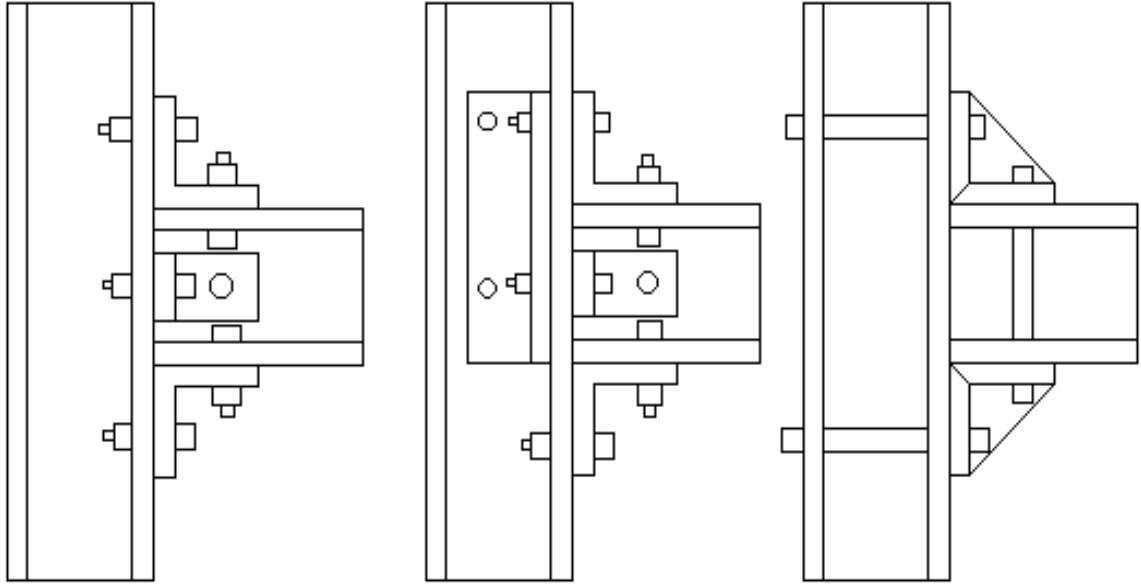
$$\sum Ms / \sum Md > 1,5 \quad (38)$$

$$\sum Ms / \sum Md = (W) \times (2,75) / ((R1) \times 1,200 + (R2x) \times (2 \times 1,200 + 0,701) + (-R2y) \times (3 \times 1,375) + (-R3x) \times ((2 \times 1,200 + 0,701)) + (-R3y) \times (2 \times 1,200 + 0,701) + (-R4) \times (1,200))$$

$$\sum Ms / \sum Md = (89,01) \times (2,75) / ((11,151) \times (1,200) + (-1,178) \times (3,101) + (2,312) \times (4,125) + (3,248) \times (3,101) + (6,375) \times (1,375) + (7,155) \times (1,200)) = 5,243 > 1,5 \text{ olduğundan sera devrilmeye karşı emniyetlidir.}$$

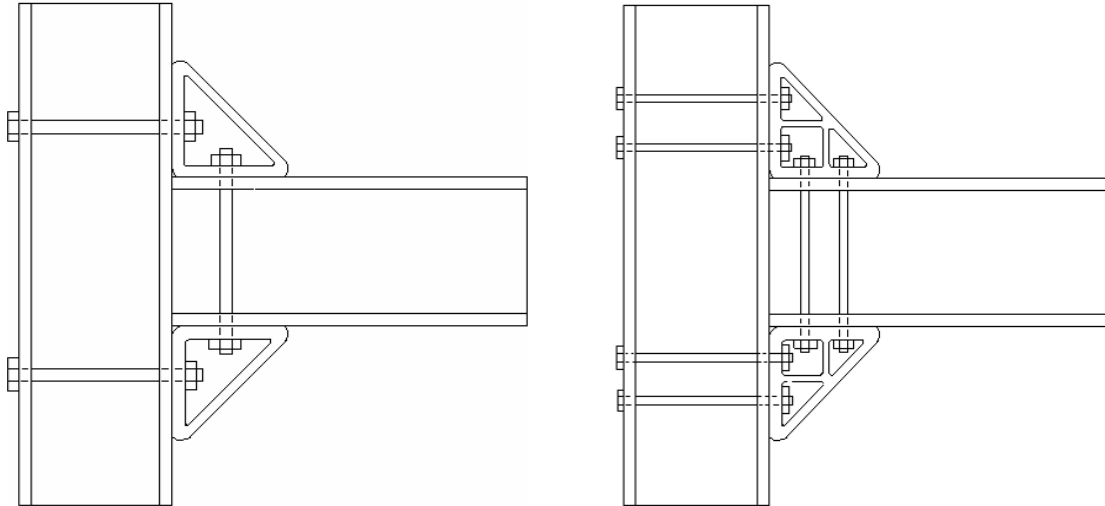
6.5. CTP Birleştirme Detay Çalışmaları

Pultruzyon metodu ile başarılı bir şekilde üretilen ve halen inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan CTP malzemeler birçok üstün özelliklere sahip olmalarına rağmen CTP ile yapılmış az sayıda örnekler bulunmaktadır. Yapı tasarımında en önemli işlemlerden biride elemanlar arasında yük aktarımını sağlayacak olan birleştirme elemanlarının düzenlenmesi ve dizayn edilmesidir. CTP elemanların birleştirilmesi konusunda daha önce yapılmış olan çalışmalar çeliktekilere benzer şekilde vidalı olarak yapılmış (Şekil 59) ve birçok uygulamada vidalı birleştirmeler kullanılmıştır (Şekil 60).



(a) Standart birleştirme (b) Güçlendirilmiş kolon bağlantısı (c) Açılı güçlendirilmiş birleştirme

Şekil 59. CTP birleştirme detay gelişimleri [BANK, 1996]



Şekil 60. Paketlenmiş şekilde tasarlanmış birleştirme detayları [BANK, 1996]

Ancak araştırmacılar çeliktekilere benzer birleştirme detaylarının CTP için uygun olmadığı kanısına vararak birleştirme elemanları üzerinde birtakım detay çalışmalar yapmışlardır (Şekil 61). Yapılan çalışmalar neticesinde vidalı birleştirmeler esnasında CTP elemanlarda açılan

vida delikleri nedeni ile kesit azalması ve kayma düzleminin azlığından dolayı vidalı ve yapıştırırmalı birleştirmeler önerilmiştir. Bu sayede birleştirmede kullanılan yapıştırıcının kuvvetli bir şekilde kayma direnci sağladığı, kullanılan vidalarınsa yapıştırıcı kuruyana kadar taşıma görevi yaptığı belirtilmiştir.



Şekil 61. CTP birleştirme detay uygulamaları

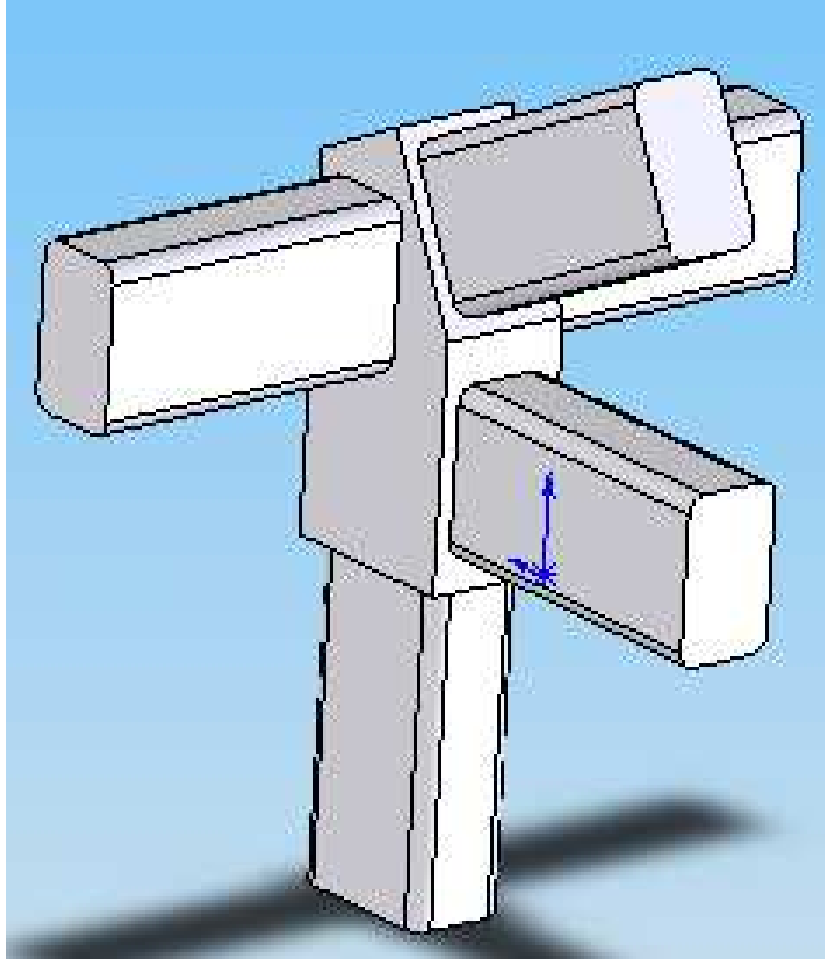
Özellikle kutu profillerde yapıştırırmalı birleştirmenin geçmeli birleştirme (Şekil 62) ile birlikte kullanmanın kayma yüzeylerinin artacağı ve sıyrılmaları engelleyeceği belirtilmiştir [SARIBIYIK, 2000].



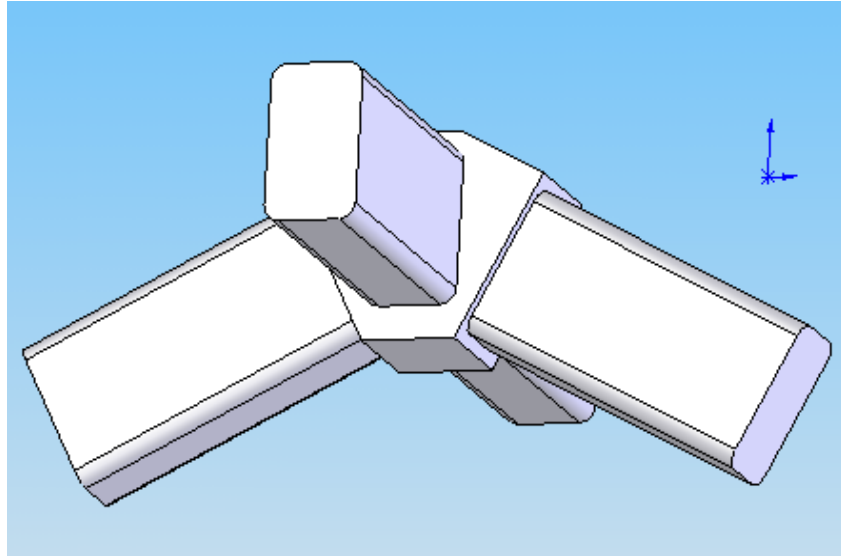
Şekil 62. Yapıştırırmalı-geçmeli birleştirmelerde kullanılan CTP birleştirme elemanı [SARIBIYIK, 2000]

6.5.1. Sera birleştirme elamanlarının CTP ile tasarımı

Alternatif sera modeli için belirlenen 60x40x3,5 mm CTP kutu profili için yapıştırırmalı geçmeli birleştirme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 63). Sera birleştirme bölgelerinin dolu kesitli CTP olmasının seri üretime uygun olacağı ve malzeme özelliklerinin benzer olacağı düşünülmüştür. Ancak birleştirme elemanı detayları ve geçme boyları ile ilgili olarak ilgili firmalarla bu malzemenin üretimi konusunda görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmeler sonucunda kalıp maliyetinin yüksek oluşu ve ilk çalışmada istenen özellikte birleştirmenin üretilmeyeceği anlaşılmıştır. Bu nedenlerle birleştirme bölgelerinin çelik olmasına karar verilmiştir.



a) Sera dolu kesitli kolon-çatı birleştirme elemanı



b) Sera dolu kesitli çatı birleştirme elemanı

Şekil 63. CTP kutu profili için yapıştırırmalı geçmeli CTP birleştirme modeli çalışmaları

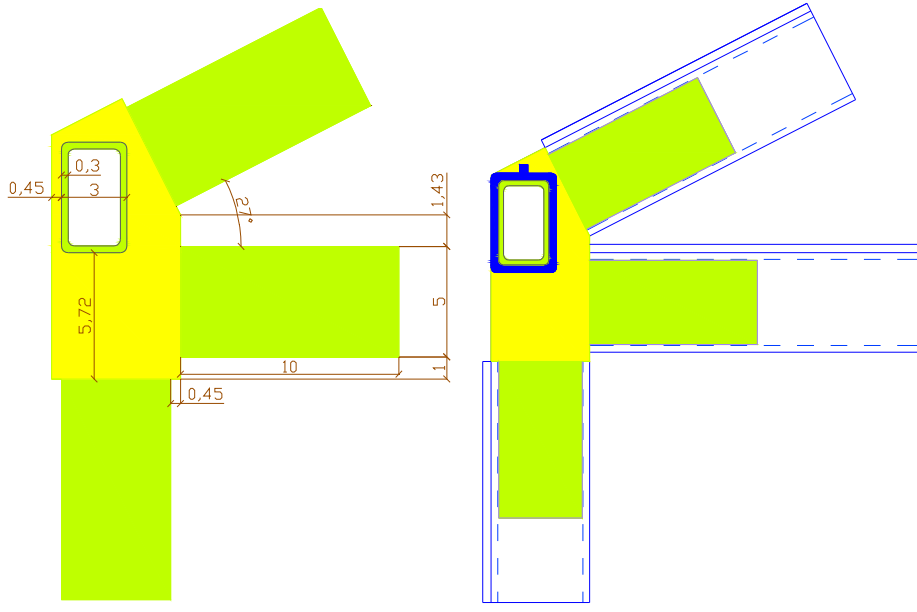
6.5.2. Sera Birleştirme Elamanlarının Çelik Profillerle Tasarımı

Bu çalışmada sera modellemesinde kullanılan kutu profillere uygun geçmeli birleştirme yapılması amaçlanmaktadır. Sera inşaatında kullanılacak CTP profillerin birleştirilmesi için kutu profil içerisinde kalacak şekilde köşe birleştirmeler dizayn edilmiştir. Planlanan farklı ebatlardaki çelik birleştirme elamanlarının perspektif görünüşleri Şekil 64'te gösterilmiştir. Çalışma çerçevesinde özellikle çekme dayanımı yüksek olan pultrüzyonla üretilen CTP profillerin mekanik performanslarını minimum etkileyecek birleştirme modeli olması düşünülmüştür.

Sera inşaatında kullanılacak CTP profillerin birleştirilmesi için tamamen kutu profil içerisinde kalacak şekilde köşe birleştirmeler dizayn edilmiştir (Şekil 64). Ancak uygulama esnasında birleştirme bölgelerinde çok fazla detay ortaya çıkmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için birleştirme elamanlarının bazı bölgelerine profil kalınlığı kadar bir çıkıntı dizayn edilmiştir (Şekil 65). Bu tasarımla, CTP profillerin istenen ölçülerde kesim ve uygulama kolaylığı sağlanmıştır. Tasarlanan sera birleştirme detayları Şekil 65, 67'de birleştirme elamanları Şekil 66, 68'de, temel birleştirme detayı Şekil 69'da temel birleştirmesi 70'te gösterilmiştir.



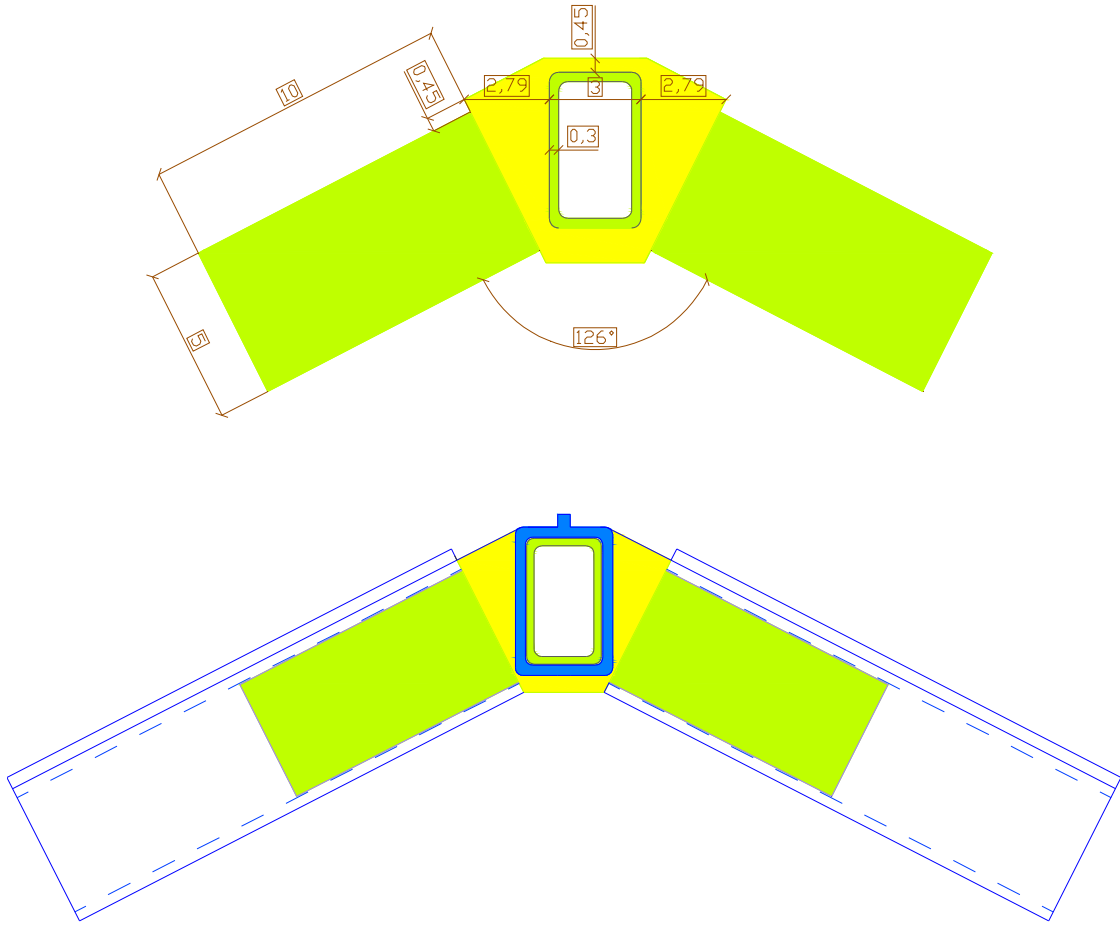
Şekil 64. Kutu profile uygun çelik bağlantı elamanı ve birleştirmesi



Şekil 65. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme detay dizaynı



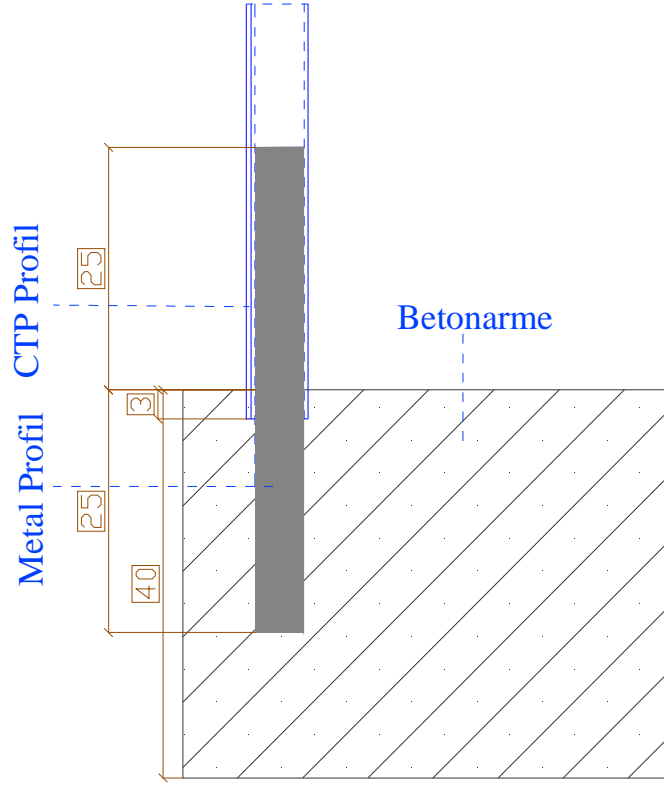
Şekil 66. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme elemanı



Şekil 67. Sera CTP profillerle çatı birleştirme detay dizaynı



Şekil 68. Sera CTP profillerle çatı birleştirme elemanı



Şekil 69. Şekil CTP sera kolon-temel birleştirme detayı



Şekil 70. CTP sera kolon-temel birleştirme

BÖLÜM 7

SERA UYGULAMASI

7.1. Yer Seçimi

Sera yer seçiminde; tarım alanlarının verimli, iklim şartlarının seracılık açısından uygun olması, sera ürünlerinin tüketim veya işleme alanına yakın olması, seracılığa olan ihtiyaç gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Bu özelliklere uygun olarak CTP seranın inşası için Sakarya ili, Pamukova ilçesinde bulunan Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesi uygun görülmüştür. Pamukova Meslek Yüksek Okulu'nda, Gıda Teknolojisi, Süt ve Süt Ürünleri, Meyve-Sebze İşleme, Dış Ticaret, Pazarlama, Ticaret ve Yönetim bölümleri bulunmaktadır. CTP seranın Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesine kurulması Meyve-Sebze İşleme bölümünün yapacağı çalışmalarda faydalı olacağı düşünülmüştür.

Pamukova ilçesi Adapazarı'na 40 km uzaklıkta, İstanbul-Eskişehir- E 25 Karayolu üzerindedir. İstanbul - Eskişehir - Ankara Devlet Demiryolu da ilçe merkezinden geçmektedir. Samanlı dağlarının güney eteklerinde Sakarya Nehrinin aktığı geniş Pamukova Ovasının kuzey kıyısında 79 rakımda kurulmuştur. Pamukova ilçesinin yüzölçümü 432 km² dir. İlçe merkezi; kendi adıyla anılan ovada kuzeyi ve güneyi yüksek tepelerle çevrilidir. Pamukova doğuda Geyve, kuzeyde Sapanca ve İzmit (Kocaeli), batıda İznik (Bursa), güneyde ise Osmaneli (Bilecik) ile komşudur. Seracılık açısından önem taşıyan sera ürünlerinin tüketim veya işleme alanına yakın olmasını Pamukova ilçesi sağlamaktadır.

Pamukova'nın iklimi hem Marmara, hem Akdeniz, hem de Karadeniz Bölgesi iklimi özelliklerini taşır. İlçe rutubetli bir havaya ve ılıman bir iklime sahiptir. Kışlar bol yağışlı ve ılıman, yazlar ise sıcak olur. Pamukova merkezinde yıllık sıcaklık ortalaması en yüksek 36,7, en düşük 6,6, yıllık toplam ortalama ise 17,6 °C'dir. Nem oranı, rutubetli havalarda %98'e ulaşır. Bahar aylarında bol yağış alan Pamukova ilçesinde, hemen hemen yılın üçte ikisi yağışlı geçer. Yıllık yağış miktarı en yüksek 111,9, en düşük 40,1 ortalama ise 55,4 m³/kg'dir. İlçe merkezinde kar ile örtülü günlerin sayısı ortalama 20 gündür. Rüzgârlar genel olarak kuzey doğudan Poyraz, kuzey batıdan Karayel, kuzeyden Şimal olarak eser. Güney ve Güneydoğudan esen lodos rüzgarı, ilçenin sıcaklığının artmasına yol açar.

İlçenin toplam tarım alanı 1.088 Hektar olup 5210 Hektar alanda sulu tarım yapılmaktadır. Tarımsal işletmeler küçük aile işletmeciliği şeklinde olup, arazi çok parçalıdır. Tarımsal mekanizasyon düzeyi Türkiye ortalamasının çok üzerindedir. Yağışlar mevsimlere göre dengeli dağılmamaktadır. Bu sebeple sulamaya gereksinim duyulmaktadır. İlçede yetişen başlıca ürünler: Soğan, Domates, lahana, karnabahar, salçalık biber, şeker pancarı, üzüm, şeftali, ayva, gibi bitki ürünlerinden ibarettir. Ayrıca seracılık alanında büyük gelişmeler gözlenmiştir. Köylere Hizmet Götürme Birliğince 1000 m² üzerine sebze ve meyve hali yapılmaktadır. Sebze kurutma fabrikası (Capo) çiftçilere sözleşmeli olarak sebze ekimi yaptırmaktadır.

İlçe köylerinde 79 dekarlık alanda seracılık yapılmakta olup, 246 adet sera mevcuttur. Genellikle seralarda salatalık ve marul üretimi yapılmaktadır[WEB 6].

Yukarıda bahsedilen ilçenin coğrafya, iklim ve tarım özellikleri seracılığa uygun şartlar açısından Pamukova'yı bölgede avantajlı kılmaktadır.

7.2. Temel İnşaatı

7.2.1. Kazı Çalışması

Tasarlanan seranın kurulması için Sakarya Üniversitesi Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesi içerisinde yer alan ve sera için uygun olduğu düşünülen alanda kazı işlemleri yapılmıştır (Şekil 71). Sera temelini oluşturmak ve temel inşası sonrasında içerisinde verimli tarım toprağı ile doldurmak üzere 0,40 m derinlikte 6x15 m genişliğinde alan boşaltılarak sera temel inşasına uygun hale getirilmiştir.



Şekil 71. SAÜ Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesi sera temel kazısı

7.2.2. Temel Kalıbının Hazırlanması

Temel kazısı yapılan sera inşası alanı içerisinde projeye uygun 0,4 m yüksekliğinde, 0,2 m genişliğinde, 14,50 m uzunluğunda ve 5,5 m genişliğindeki temelin kalıbı hazırlanarak demir donatıları bağlanmıştır (Şekil 72).



Şekil 72. Sera temel kalıbı hazırlanması ve demir donatının bağlanması

7.2.3. Birleştirme Profillerinin Temel Donatısına Ankraajı

Kalıba yerleştirilen donatılar sabitlendikten sonra sera kolonlarının zemine ankraajı için 30x50x3 mm ebadında 50 cm uzunluğunda çelik kutu profiller 25 cm'si temel betonu dışında kalacak şekilde 121 cm aralıklarla ve düşeyde düzgünlük sağlanarak donatıya sabitlenmiştir. Taze betonun dökümü esnasında çelik ankraj profillerin sabitliğini sağlamak amacıyla profiller donatıya kaynatılmıştır (Şekil 73-74).



Şekil 73. Çelik kutu profillerin temele ankraji



Şekil 74. Çelik kutu profillerin donatıya ankraji

7.2.4. Temel Betonunun Dökümü

Temel inşaatında bölgede faaliyet gösteren beton firmalarından temin edilen C20 sınıfı beton kullanılarak temel betonu dökülmüştür (Şekil 75). Beton dökümü sırasında betonun sıkıştırılması ve yüzey tesviyesi yapılarak, çelik kutu profillerin düzgünlüğü kontrol edilmiştir (Şekil 76). Beton gerekli dayanımı sağladıktan sonra sera temel kalıbı sökülmüştür (Şekil 77)



Şekil 75. Sera temel betonun dökümü



Şekil 76. Sera temel sıkıştırılması ve tesviye edilmesi



Şekil 77. Kalıbı sökülmüş temel betonu

7.3 Model Sera İnşası

Sera için planlanan temel inşası tamamlandıktan sonra sera taşıyıcı sistemini oluşturan CTP elemanlarının birleştirme elemanlarına montajları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla CTP profil çeşitlerinin adet ve uzunlukları Tablo 55'te belirtildiği gibi projeye uygun olarak hazırlanmıştır. CTP profiller ile çelik birleştirme elemanlarının yapıştırılması amacıyla elemanların geçme yüzeylerine çift bileşenli epoksi reçine (ARALDITE AW 106 TU – HARDENER HV 953 U) kullanılmıştır (Şekil 78). Kuruma esnasında meydana gelebilecek kısmi yüklemeleri karşılamak için CTP profiller birleştirme elemanına perçinlenmiştir. İnsan gücü ile taşınabilecek şekilde 4 kolonlu çerçeve sistemler oluşturularak temelde yer alan metal profillere ankrajları yapılmıştır.

Tablo 55. CTP sera profillerinin uzunluk ve miktarları

	Adet	Uzunluk (cm)
Kolon	34	233
Aşık ve mahya	36	117
Mertek	26	303
Gergi Kirişi	7	544



Şekil 78. Birleştirirmede kullanılan çift karışımli reçine

7.3.1. Köşe Birleştirme Elemanlarının CTP profiller ile Birleştirilmesi

Kolon, çatı ve mahya çelik birleştirme elemanlarının geçme yüzeylerine çift bileşenli epoksi reçine sürülerek CTP profilleri içerisine geçirilmiştir. Yapışma sürecinde profillerin hareket etmemesi için CTP profiller birleştirme elemanlarına perçinlenmiştir (Şekil 79-80).



Şekil 79. CTP profillerin kolon-çatı birleştirme elemanlarına montajı



Şekil 80. CTP profillerin mahya birleştirme elemanlarına montajı

7.3.2.CTP Kolonların Temele Montajı

CTP profillerin montajını kolaylaştırmak için temel ankrağı yapılmış olan 50x30x3 mm ebadındaki elik kutu profil yüzeyleri temizlenmiş, CTP profillerin uçlarında parçalanma olmaması için de elik profil kenarlarındaki beton 3 cm derinlikte açılmıştır. elik profil yüzeylerine çift bileşenli epoksi reçine sürülmüştür (şekil 81). Daha sonra hazırlanan CTP kolonların temelde yer alan metal profillere montajı yapılmıştır (şekil 82).



şekil 81. elik profil yüzeylerine çift karışımlı epoksi reçine sürülmesi



şekil 82. Kolonların temele montajının yapılması

7.3.3. CTP Sera Makaslarının Montajı

CTP profiller ile çelik birleştirme elemanlarının yapıştırma işlemi yapıldıktan sonra 4 ve 6 kolonlu çerçeveler oluşturulmuştur (Şekil 83). Hazırlanan çerçeve sistemler taşınarak temele yerleştirilmiştir. CTP seranın yapım aşamaları Şekil 84-88'de gösterilmiştir.



Şekil 83. CTP seranın çerçeve sistemlerinin oluşturulması



Şekil 84. CTP çerçeve sistemlerin taşınması ve kolonların temele montajı



Şekil 85. CTP sistemlerinin taşınması ve kolonların temele montajı



Şekil 86. Çerçeve aralarında kalan damlalık aşığı ve mahyaların montajı



Şekil 87. Taşıyıcı kısmı tamamlanmış seranın yan görünüşü



Şekil 88. Taşıyıcı kısmı tamamlanan CTP seranın ön görünüşü

CTP seranın taşıyıcı sisteminin kurulması ilk defa gerçekleşmesine rağmen 6 saat gibi kısa bir süre içerisinde tamamlanmıştır. CTP seranın bu kısa süre içerisindeki kurulumu seri üretim açısından uygun olduğunu göstermektedir.

7.4. Model Sera Maliyet Analizi

Bilgisayar ortamında modellenen CTP ve çelik seraların maliyet analizleri belirlenerek ekonomik açısından karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bilgisayar ortamında modellenerek arazide uygulaması gerçekleştirilen CTP sera isteminin maliyet analizleri yapılarak aynı sera sisteminin Çelik profillerden yapılması durumundaki maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. Çelik profillerin fiyatları piyasada malzeme satış yerlerinden, CTP malzemeye ait fiyatlar ise üretici firmadan alınmıştır. Tablo 56'da CTP ve Çelik profiller ile modellenen seraların maliyet analizleri verilmiştir.

Maliyet analizlerinde sadece taşıyıcı elemanlara ait analizler gerçekleştirilmiştir. Her iki serada da ortak olan kazı temel kaplama, işçilik vb. kalemler dikkate alınmamıştır. Yapılan maliyet analizi sonucunda CTP profillerle üretilen seranın maliyeti yaklaşık 2100 YTL olarak belirlenmiştir. çelik profillerle üretilen seranın maliyeti ise yaklaşık 1790 YTL olarak hesaplanmıştır (Tablo 56). CTP profillerle üretilen sera modeli değerlendirildiğinde çelik profiller ile tasarlanan sera modelinden yaklaşık %17 daha pahalıya mal olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak CTP profillerin boya gerektirmemesi, rutubete ve kimyasallara dayanıklı olması, hafif olması, seri üretime uygun olması, kolay montaj ve düşük işçilik avantajı, yüksek fayda/maliyet oranı sayesinde kalıcı seracılıkta kullanılması seracılık açısından önemli avantaj sağlayacaktır.

Tablo 56. Çelik sera maliyet analizi

Sera Taşıyıcı Elamanları	Ağırlık (kg/m)	Miktarı (kg)	Birim Fiyatı (YTL)	Tutar (YTL)
CTP Profil	1,32	324	6,50	2100
Çelik Profil	5,85	1436	1,25	1790

7.5. Model Sera Kaplaması

Seraların oluşturulmasındaki temel amaç, doğal gün ışığından gereken ölçülerde yararlanarak, bitkinin üretimi ve gelişmesi için gerekli ortamdaki koşulları yapay olarak elde etmektir. Burada vazgeçilemeyerek unsur, doğal güneş ışığı olduğundan seranın yapımındaki en önemli nokta, gün ışığını optimum düzeyde geçirebilecek bir örtü malzemesinin kullanılmasıdır. Esnek, hafif, darbelere dayanıklı, şeffaf düz, doğal aydınlatma özelliğine sahip, homojen ışık dağılımı sağlayan, tek başına kullanım imkanı veren, kimyasal maddelerden etkilenmeyen yapıda, U.V. ışınlarına dayanımlı film kaplı üretim imkanı veren CTP levhalarla oluşturulan kaplama sisteminin model CTP serada kullanılması planlanmıştır. CTP levhalar parlak ışığı azaltarak ve zararlı U.V. ışınlarını kontrol ederek faydalı güneş ışınlarının homojen bir biçimde bitkiye ulaşmasını sağlar.

7.6. Model Sera Havalandırma Sistemi

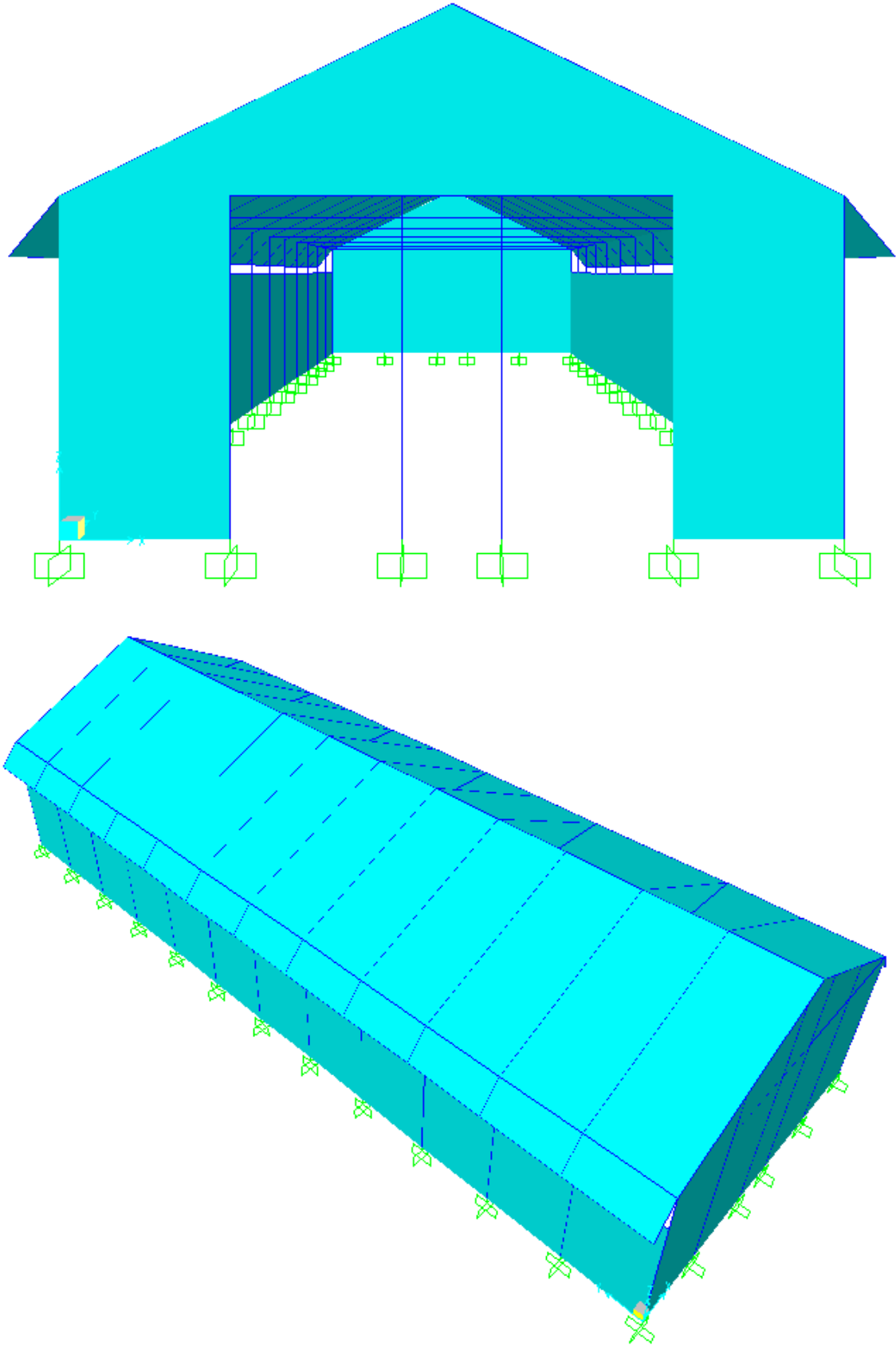
Seracılıkta havalandırma; seranın iç havasıyla dışarıdaki havasının değiştirilmesi işlemidir. Seraların havalandırılması yazın daha fazla kışın ise az olarak şu amaçlar için yapılır:

1. Sera içinde dış atmosfere göre oksijence zengin, karbondioksitçe fakir sera iç havasının, dışarıdaki havayla yer değiştirmesi için yapılır. Böylece bitkilerin bitkisel üretim için gereksindikleri karbondioksit sera içine girmiş olur.
2. Sera içi sıcaklığının dengelenmesi, yani fazla güneşlenmeyle ortaya çıkan yüksek ısının sera dışına atılması için yapılır. Böylece yüksek sıcaklığın neden olacağı bitkisel üretimdeki yavaşlama ortadan kalmış olur.
3. Sera içindeki nemin de dengelenmesi havalandırmayla sağlanabilir. Sera içinde fazla nem bitkilerdeki bazı hastalık etmenlerinin ortaya çıkmasına neden olabileceği gibi, bitkilerin terleme yapmasına da engel olur. Terlemesi duran bitki topraktan su ve besin maddesi alamadığı için, bitkisel madde üretimi de durur.

Havalandırma sistemi oluşturulurken bitkiler üzerine bir hava esintisi oluşturmayacak şekilde ve bitkilerin bulunduğu yerde yeterli bir hava değişimi sağlayacak şekilde planlanır. Ayrıca seraya giren taze havanın doğrudan bitkilere çarpmayacağı şekilde, yeterli büyüklükte ve sağlam olması gerekmektedir.

Seraların havalandırılması sera yan duvarları ve çatılarına yerleştirilen havalandırma açıklıkları ile yapılır. Doğal havalandırma için gerekli havalandırma pencereleri toplam alanı, seranın kurulması düşünülen bölgenin ve serada bitki yetiştirilmesi istenen mevsimlerdeki hava sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu alan sıcak bölgelerde büyük, serin bölgelerde ise küçük olabilmektedir. Doğal havalandırmanın yeterli miktarda olabilmesi için önerilen pencerelerinin toplam alanı, sera taban alanının %16- 25 arasında olmakta ve bu açıklıklar çevre koşullarına göre ayarlanabilmektedir. Bu oranlar soğuk yörelerde kurulması istenen seralarda % 10-12 oranlarında olması önerilmektedir [YÜKSEL, 2004].

Pamukova ilçesinin iklim durumu dikkate alındığında 80 m² taban alanına sahip bir sera için yan duvar dikmeleri aralarına açılacak 1,20x0,50 m ebatlarında 24 adet havalandırma penceresinin yeterli olacağı hesaplanmıştır. Modellenen CTP sera kaplama ve havalandırma sistemi Şekil 89'da gösterilmiştir.



Şekil 89. Sera CTP kaplama ve havalandırma sisteminin perspektif görüşleri

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapı sektöründe her geçen gün yeni bir malzeme veya mevcut malzemelerin iyileştirilmesi için sayısız çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; son yıllarda artmakta olan kalıcı sera ihtiyacına cevap verebilecek hafif, güvenilir, sağlam ve hızlı yapım olanağı bulunan malzemelerden biri olan pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerin alternatif bir çözüm olma durumu incelenmiştir.

Bu rapor kapsamında; ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak belirlenen mekanik özellikler kullanılarak sera sistemleri bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu ile modellenerek statik ve dinamik yükler altındaki davranışı tespit edilmiştir. Nümerik modeli tamamlanan sera modellerine ait olarak uygulamaya yönelik plan, kesit ve görünüşler çizilmiştir. Ayrıca detay çalışmalar çerçevesinde uygulanabilirliğe yönelik profil detayları, sera elemanlarının birleştirme detayları ve zemine ankrajlarına yönelik çalışmalar yapılarak profil ebatları ve üç farklı bağlantı noktası için detaylar geliştirilmiştir. Tüm bu nümerik ve detay çalışmalar ışığında sera modelinin arazide uygulaması yapılmıştır.

Rapor kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Reçine yakma metoduna göre orta bölgede yer alan tek yönlü fiber hacim oranı %50,72, matriks hacim oranı %49,28 ve keçe bölgesindeki fiber hacim oranı %23,67, matriks hacim oranı %76,33 olarak bulunmuştur.
- Lif doğrultusuna paralel Elastisite Modülü (Ex) nümerik hesapta 32,923 kN/mm², deneysel çalışmalarda ise 29,54 kN/mm² olarak bulunmuştur. Elastisite Modülünün nümerik hesabı ile deneysel çalışma sonucun arasında % 89,72'lik bir uyum elde edilmiştir. Lif doğrultusuna dik Elastisite Modülü (Ey,z) nümerik hesaplamada 8,512 kN/mm², deneysel olarak ise 7,87 kN/mm² bulunmuş ve karşılaştırma sonucunda % 92,46'lik uyum elde edilmiştir.
- 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 elde edilmiştir.
- Eğilme Gerilmesi, dolu kesitli numuneler üzerinde yapılan deney sonucunda 560,59 N/mm² olarak bulunmuştur.
- Isı Genleşme Katsayısı (λ), deneysel çalışma sonucunda $5,118 \times 10^{-6}$ mm/mm°C bulunmuştur.
- CTP malzemesinin özgül ağırlık değeri nümerik hesap ile 1,712 g/cm³, deneysel çalışmalar sonucunda ise 1,773 g/cm³ bulunmuştur. Özgül ağırlığın nümerik hesap değeri ile deneysel çalışma sonucu arasında % 97,90'lık bir uyum elde edilmiştir.
- CTP malzemesinin belirlenen özellikleri kullanılarak bilgisayar ortamında (SAP2000) sera modellemesi gerçekleştirilmiştir. Modellemede öncelikle mevcut seraların büyük bir kısmı çelik profiller kullanılarak yapılmasından dolayı, bilgisayar ortamında aynı model üzerinde Çelik ve CTP malzemeleri kullanılmıştır. CTP ve Çelik kullanılarak çalışılan model seranın yapılan tahkikler sonucunda taşıyıcı elemanları emniyetli çıkmıştır.
- Model serada tespit edilen eleman tahkiklerindeki güvenli durum dikkate alınarak gerek bitki açısından gölgelemeyi azaltmak gerekse maliyeti düşürmek amacı ile alternatif sera modellemesi çalışmaları yapılmıştır. Gölgelemeyi azaltmak için çatı elemanlarında azaltılma yoluna gidilmiş payandalar, dikmeler, orta aşıklar kaldırılmış, gergi kirişleri azaltılmış ve sera dış kısımlarına montaj kolaylığı dikkate alınarak ilave kolonlar

konulmuştur. CTP seraya gelen statik ve dinamik yükler altında her bir profil için ayrı ayrı tahkikleri yapılarak, sonuçlar deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece sera modellemesinde kullanılabilir kutu profil ebatlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır.

- Yapılan model çalışmaları neticesinde arazide uygulanabilir bir model olarak ortaya konulan sera özellikleri uygulama kolaylığı, montaj kolaylığı ve birleştirme detayları dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiştir. Sera birleştirme bölgelerinin dolu kesitli CTP olmasının seri üretime uygun olacağı ve malzeme özelliklerinin benzer olacağı düşünülmüştür. Ancak birleştirme elemanı detayları ve geçme boyları ile ilgili olarak firmalarla bu malzemenin üretimi konusunda görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmeler sonucunda kalıp maliyetinin yüksek oluşu ve ilk çalışmada istenen özellikte birleştirmenin üretilmeyeceği anlaşılmıştır. Bu nedenlerle birleştirme bölgelerinin çelik olmasına karar verilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda birleştirme elemanlarının oluşturulması için piyasada mevcut olan çelik kutu profiller dikkate alınarak (30x50 mm) sera uygulamasında kullanılacak CTP profil ebatlarının 59x39x4 mm olması kararlaştırılmış ve nümerik tahkikleri yapılmıştır.
- Sera inşaatında kullanılacak CTP profillerle uygulama esnasında ortaya çıkan birleştirme bölgelerindeki detay zorluklarını ortadan kaldırmak için birleştirme elemanları üzerinde profil kalınlığı kadar bir çıkıntı dizayn edilmiştir. Bu tasarımla, CTP profillerin istenen ölçülerde kesim ve uygulama kolaylığı sağlanmıştır.
- CTP kolonların sera betonarme temele ankrajı için çelik kutu profiller temele sabitlenmiştir. Bu tasarımla CTP kolonların temele ankrajı yeterli rijitlikte sağlanmış ve sonraki adımlarda uygulama kolaylığı elde edilmiştir.
- Seracılığa uygun özellikler taşıyan Sakarya ili, Pamukova ilçesine model seranın kurulması kararlaştırılmıştır. Sera projesinin temel tahkikleri yapılarak, temel inşası tamamlanmıştır. Daha sonra CTP elemanlarının birleştirme elemanlarına montajına geçilmiş, önceden hazırlanan CTP profiller ile çelik bağlantı elemanları birleştirilmiş ve oluşan çerçeve sistemlerin temele ankrajı yapılmıştır.
- CTP seranın taşıyıcı sisteminin kurulması, ilk defa gerçekleşmesine rağmen 6 saat gibi kısa bir süre içerisinde tamamlanmıştır. CTP seranın bu kısa süre içerisinde kurulumu seri üretim açısından uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca uygulanan seranın inşasının basit ve küçük aletler ile montajının yapılabilirliği ortaya çıkmıştır.
- Yapılan maliyet analizi sonucunda CTP profillerle üretilen sera modeli değerlendirildiğinde çelik profiller ile tasarlanan sera modelinden yaklaşık %17 daha pahalıya mal olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak CTP profillerin boya gerektirmemesi, rutubete ve kimyasallara dayanıklı olması, hafif olması, seri üretime uygun olması, kolay montaj ve düşük işçilik avantajı, yüksek fayda/maliyet oranı sayesinde kalıcı seracılıkta kullanılması seracılık açısından önemli avantaj sağlayacağı ortaya çıkmıştır.
- Model seraya ait taşıyıcı sistemlerin kurulması işlemleri tamamlanmış, kaplama ve havalandırma sistemleri modellenerek uygulamaya hazır hale getirilmiştir.

KAYNAKLAR

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

ASTM 3039 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, 2006.

ASTM D 790 “Standard Test Methods For Flexural Properties Of Unreinforced Plastics and Electrical Insulating Materials” 1992.

BANK, L. C., Mosallam, A. S. and McCoy, G. T. (1994). “Design and Performance of Connections for Pultruded Frame Structures”, Journal of Reinforced Plastic and Composites, 13, 199-212.

BANK, L. C., Yin, J. and Moore, L. (1996). “Experimental and Numerical Evaluation of Beam-to-column connection for Pultruded Structures”, Journal of Reinforced Plastic and Composites, 15, 1052-1067.

ERKAN, M., Çelik Yapılar Ders Notları, Düzce, 2000

ERSOY, H.Y., Kompozit Malzemeler, Literatür Yayın Evi, 2001

ERŞEN, N., Çelik Yapılar ve Çözümlenmiş Problemler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998

EUROCOMP, Structural Design of Polymer Composites - EUROCOMP Design Code and Handbook, Edited by Clarke, J. L., Chapman and Hall, London, 1996 (10-11

Extern Design Manuel, Copyright 1998 by Strongwell Corporation, Bristol Virginia, USA.

FIBERLINE Composites A/S., Design Manuel, Kolding, Denmark, 2003

HOLMES, M. and JUST, D.J., GRP in Structural Engineering, Applied Science Publishers Ltd., New York, 1983

HUSLE, R. and Cain, J., Structural Mechanics, College Work Out Series, Mac Millan, London, 1991.

JAVED M. A., Stability Analysis of G.R.P. Box Sections, PHD Thesis, University of Newcastle, 2003

MALLICK, P.K., Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker, New York, 1997 (10-11

ODABAŞI, Y., Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1997.

SARIBIYIK, M. “Analysis of a Bonded Connector for Pultruded G.R.P. Structural Elements”, Ph.D. Thesis, University of Newcastle, U.K., 2000.

ŞAHİN, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000

TS 1398-4 “Plastikler-Çekme Özelliklerinin Tayini-Bölüm 4: İzotropik ve Ortotropik Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler İçin Deney Şartları”, Ankara, 1997.

TS 1398-5 “Plastikler - Çekme Özelliklerinin Tayini Bölüm 5: Tek Yönlü Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitler İçin Deney Şartları”, Ankara, 1997.

TS 3860 “Plastikler Cam Lifle Pekiştirilmiş Malzemelerde Çekme Özelliklerinin Tayini”, Ankara, 1982.

TS 4650-2, “Plastikler - Cam Elyaf Takviyeli - Fitille Takviye Edilmiş Reçine Çubukların Mekanik Özelliklerinin Tayini – Bölüm 2: Eğilme Mukavemetinin Tayini”, Ankara, 1997.

TS 648, Çelik Yapılar Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1982

TS 985 “Plâstikler - Eğilme Özelliklerinin Tayini” Ankara, 2000.

UZAKGÖREN, N., Tunçağ, M., Kardeş, K. ve Vergin, T., Çelik Yapılar El Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No:3. 1982.

WEB 1 www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html

WEB 2 www.sisecam.com

WEB 3 www.strongwell.com

WEB 4 www.pultrusiondynamics.com

WEB 5 www.fiberline.com

WEB 6 www.sakarya.gov.tr/yeni/pamukova.htm

YÜCEL, M., Plastik ve Plastik Esaslı Kompozitlerin İnşaat Sektöründe Kullanımı, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya, 2004

YÜKSEL, N. A. Sera Yapım Tekniği, 2004.