

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

**PULTRUZYON METODU İLE ÜRETİLMİŞ CTP PROFİLLERİN
KALICI SERA TASARIMINDA KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali SARIBIYIK

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Temmuz 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

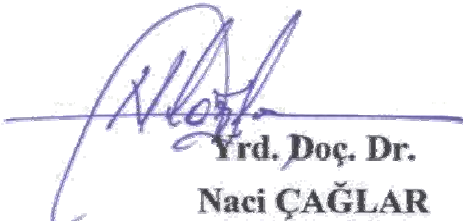
PULTRUZYON METODU İLE ÜRETİLMİŞ CTP PROFİLLERİN
KALICI SERA TASARIMINDA KULLANILMASI

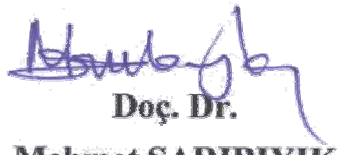
YÜKSEK LİSANS TEZİ

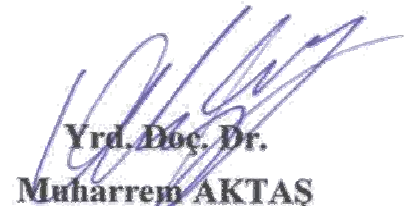
Ali SARIBIYIK

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 21 / 07 / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Mehmet SARIBIYIK
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Muharrem AKTAŞ
Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi boyunca bana her türlü desteği veren danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR'a, benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a, tezin hazırlanmasında manevi desteklerini esirgemeyen bölüm hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada sunulan araştırma sonuçları, TÜBİTAK tarafından desteklenen "Sera Tasarımında Pultrüzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması" başlıklı ve 104M395 nolu proje kapsamında üretilmiştir. TÜBİTAK'ın vermiş olduğu destekler ve bunun yanısıra sera kurulumunda desteğini esirgemeyen ESA KİMYA METAL A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Ayrıca; lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince burs almakta olduğum Türk Eğitim Vakfı (TEV)'na, yaşamım boyunca bana her türlü desteği sağlayan aileme ve dostlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ali SARIBIYIK

2.3.2.2. Aramid elyafı	27
2.3.2.3. Boron elyafı	27
2.3.2.4. Karbon / grafit elyafı	28
2.3.2.5. Diğer organik lifler	29

BÖLÜM 3.

CTP ÜRETİM YÖNTEMLERİ	30
3.1. Elle Yatırma (Hand Lay-Up)	30
3.2. Püskürtme (Spray-Up)	32
3.3. Reçine Transfer Kalıplama (Rtm) / Reçine Enjeksiyonu	34
3.4. Hazır Kalıplama (Compression Molding)	35
3.5. Islak Sistem Pres Kalıplama	36
3.6. Vakum Bonding (Vakum Bagging)	37
3.7. Otoklav (Autoclave Bonding)	37
3.8. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (GMT)	38
3.9. Elyaf Sarma (Filament Winding)	39
3.10. Profil Çekme (Pultruzyon) Metodu	39
3.10.1. CTP profil çeşitleri	47
3.10.2. CTP profillerin yapıda kullanılması	48

BÖLÜM 4.

CTP SERA MODELİ VE TASARIMI	54
4.1. Model Serada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	54
4.2. Tasarımda Kullanılan Profiller	55
4.3. Alternatif CTP Sera Tasarımı	56
4.3.1. Payandaların kaldırılması	56
4.3.2. İç kolon ve orta aşıkların kaldırılması	59
4.3.3. Kolon aralıklarının ve çatı gergi kirişlerinin azaltılması	61
4.3.4. Kaplama montaj kolaylığı için kolon aralıklarının azaltılması	63
4.4. CTP Sera Uygulama Projesi	65
4.4.1. Model sera analizi	69
4.4.2. Model sera temel hesabı	69
4.4.2.1. Zemin taşıma gücü tahkiki	70

4.4.2.2. Devrilme tahkiki	71
4.5. CTP Birleştirme Detay Çalışmaları	76
4.5.1. Sera birleştirme elamanlarının CTP ile tasarımı	78
4.5.2. Sera birleştirme elamanlarının çelik profillerle tasarımı.....	80
BÖLÜM 5.	
CTP SERA UYGULAMASI	84
5.1. Yer Seçimi	84
5.2. Temel İnşaatı	85
5.2.1. Kazı çalışması	85
5.2.2. Temel kalıbının hazırlanması.....	86
5.2.3. Birleştirme profillerinin temel donatısına ankrajı.....	86
5.2.4. Temel betonunun dökümü	87
5.3. Model Sera İnşası	89
5.3.1. Köşe birleştirme elemanlarının CTP profiller ile birleştirilmesi	90
5.3.2.CTP kolonların temele montajı	91
5.3.3. CTP sera makaslarının montajı	92
5.4. Model Sera Maliyet Analizi.....	97
5.5. Model Sera Kaplaması.....	98
5.6. Model Sera Havalandırma Sistemi	98
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Alan
CTP	: Cam fiber takviyeli plastik
E	: Elastisite modülü
F	: Profil kesit alanı
G	: Kayma modülü
I	: atalet momenti
i	: Atalet yarıçapı
M_d	: Serayı devirmeye çalışan moment
M_s	: Devirmeye karşı koyan moment
P	: Eksenel kuvvet (Yük)
R	: Toplam rüzgar kuvveti
T	: Isı Gen. Katsayısı
W	: Sera toplam ağırlığı
W_{bas}	: Basmaya çalışan rüzgar
$W_{çek}$: Çekmeye çalışan rüzgar yükü
W_x	: Mukavemet momenti
W_y	: Mukavemet momenti
γ	: Özgül ağırlık
σ	: Gerilme
ν	: Poisson oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kalıcı sera örnekleri	2
Şekil 2.1. Termoplastik polimer zinciri	13
Şekil 2.2. Termoset plastik polimer zinciri	14
Şekil 2.3. Elyaf çeşitleri	24
Şekil 2.4. Kumaş çeşitleri	25
Şekil 2.5. Keçe (Mat) çeşitleri	26
Şekil 2.6. Kesikli cam elyaf takviyeleri.....	26
Şekil 2.7. Karbon elyafı.....	29
Şekil 3.1. El yatırması yönteminin genel görünümü	31
Şekil 3.2. Püskürtme yönteminin genel gösterimi.....	32
Şekil 3.3. Püskürtme Yöntemi.....	33
Şekil 3.4. RTM yönteminin genel gösterimi	34
Şekil 3.5. Vakum bagging malzemeleri	37
Şekil 3.6. Elyaf sarma yöntemi.....	39
Şekil 3.7. Profil çekme yöntemi konfigürasyonu	40
Şekil 3.8. Profil çekme makinesi	41
Şekil 3.9. Fital sehpaları (Elyaf bobinleri)	41
Şekil 3.10. Örnek profil detayı	42
Şekil 3.11. Kontrol ünitesi.....	42
Şekil 3.12. Örnek kalıp şekli	43
Şekil 3.13. Paletler	44
Şekil 3.14. Bıçaklar	44
Şekil 3.15. Pultrüzyonla üretilmiş CTP profil örnekleri.....	48
Şekil 3.16. CTP vapor iskelesi	49
Şekil 3.17. CTP metro istasyonu	49
Şekil 3.18. CTP yaya ve hafif araç köprüsü	50
Şekil 3.19. Basel gözlem evi	51

Şekil 3.20. CTP evler.....	51
Şekil 3.21. Pultruzyonla üretilmiş CTP kullanılarak yapılmış prototip yapı	52
Şekil 3.22. Pultruzyonla üretilmiş CTP’lerin Türkiye’de uygulama örnekleri	53
Şekil 4.1. Alternatif tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü	57
Şekil 4.2. İç kolon ve orta aşıklar kaldırılarak tasarlanan CTP sera modeli	59
Şekil 4.3. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tasarlanan CTP sera modeli.....	61
Şekil 4.4. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü	63
Şekil 4.5. Uygulamada kullanılacak CTP profil şekli ve ebatları	65
Şekil 4.6. CTP Sera Planı	67
Şekil 4.7. CTP Sera A-A Kesiti.....	68
Şekil 4.8. CTP sera modeli perspektif görünüşü	68
Şekil 4.9. Hesaplama da kullanılacak temel boyutları	70
Şekil 4.10. Devrilme tahkiki için kuvvetler ve kuvvetlerin uygulanma noktaları.....	73
Şekil 4.11. CTP birleştirme detay gelişimleri	76
Şekil 4.12. Paketlenmiş şekilde tasarlanmış birleştirme detayları	76
Şekil 4.13. CTP birleştirme detay uygulamaları	77
Şekil 4.14. Yapıştırılmalı-geçmeli birleştirmelerde kullanılan CTP birleştirme elemanı	78
Şekil 4.15. CTP kutu profili için yapıştırılmalı geçmeli CTP birleştirme modeli çalışmaları	79
Şekil 4.16. Kutu profile uygun çelik bağlantı elemanı ve birleştirmesi	80
Şekil 4.17. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme detay dizaynı	81
Şekil 4.18. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme elemanı	81
Şekil 4.19. Sera CTP profillerle çatı birleştirme detay dizaynı	82
Şekil 4.20. Sera CTP profillerle çatı birleştirme elemanı.....	82
Şekil 4.21. CTP sera kolon-temel birleştirme detayı.....	83
Şekil 4.22. CTP sera kolon-temel birleştirme	83
Şekil 5.1. SAÜ Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesi sera temel kazısı.....	85
Şekil 5.2. Sera temel kalıbı hazırlanması ve demir donatının bağlanması.....	86
Şekil 5.3. Çelik kutu profillerin temele ankrajı	87
Şekil 5.4. Çelik kutu profillerin donatıya ankrajı	87

Şekil 5.5. Sera temel betonun dökümü	88
Şekil 5.6. Sera temel sıkıştırılması ve tesviye edilmesi.....	88
Şekil 5.7. Kalıbı sökülmüş temel betonu.....	88
Şekil 5.8. Birleştirmede kullanılan çift karışımlı reçine.....	89
Şekil 5.9. CTP profillerin kolon-çatı birleştirme elemanlarına montajı.....	90
Şekil 5.10. CTP profillerin mahya birleştirme elemanlarına montajı	90
Şekil 5.11. Çelik profil yüzeylerine çift karışımlı epoksi reçine sürülmesi	91
Şekil 5.12. Kolonların temele montajının yapılması	91
Şekil 5.13. CTP seranın çerçeve sistemlerinin oluşturulması	92
Şekil 5.14. CTP çerçeve sistemlerin taşınması ve kolonların temele montajı.....	93
Şekil 5.15. CTP sistemlerinin taşınması ve kolonların temele montajı.....	94
Şekil 5.16. Çerçeve aralarında kalan damlalık aşığı ve mahyaların montajı.....	95
Şekil 5.17. Taşıyıcı kısmı tamamlanmış seranın yan görünüşü	96
Şekil 5.18. Taşıyıcı kısmı tamamlanan CTP seranın ön görünüşü.....	96
Şekil 5.19. Sera CTP kaplama ve havalandırma sisteminin perspektif görünüşleri	100

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Malzeme özellikleri	55
Tablo 4.2. Alternatif sera modeli için kullanılan CTP kutu profil çeşitleri ve özellikleri.....	55
Tablo 4.3. Tasarlanan sera modelinin özellikleri	57
Tablo 4.4. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	58
Tablo 4.5. Tasarlanan sera modelinin özellikleri (iç kolon ve orta aşıkların kaldırılması)	59
Tablo 4.6. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	60
Tablo 4.7. Sera modeli özellikleri (Kolon Aralıkları ve Çatı Gergi Kirişlerinin Azaltılması)	61
Tablo 4.8. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	62
Tablo 4.9. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan sera modelinin özellikleri.....	63
Tablo 4.10. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması	64
Tablo 4.11. CTP sera projesinin özellikleri	66
Tablo 4.12. Uygulamaya yönelik sera modeli tahkik sonuçları	69
Tablo 4.13. CTP Profil Miktarlarına ait bilgiler.....	71
Tablo 4.14. CTP kaplama malzemesine ait bilgiler.....	71
Tablo 4.15. Çelik Birleştirme elemanlarına ait bilgiler	72
Tablo 5.1. CTP sera profillerinin uzunluk ve miktarları	89
Tablo 5.2 Çelik sera maliyet analizi	97

ÖZET

Anahtar Sözcükler: Pultruzyon metodu, Cam Elyaf Takviyeli Plastik, Sera Tasarımı

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

Bu çalışmada; pultruzyon metodu ile üretilen CTP 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.

PULTRUDED GFRP PROFILES IN THE MODELLING OF PERMANENT GREENHOUSE STRUCTURE

SUMMARY

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

Glass fibre reinforced plastic (GFRP) materials, which manufactured using the pultrusion proces, the mass adaptation of GFRP sections as secondary and primary load bearing elements has been applied in construction. The pultrusion process became a competitive alternative to traditional structural materials. Factors in choosing 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. Currently, use of the Pultruded GRP sections as secondary and primary load bearing elements has been applied in limited construction.

In this study; 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 drown. 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.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Seracılık ve Önemi

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, bazılar, 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 oluşturulduğu sera olarak tanımlanan özel tesisleri (Şekil1.1) 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 1.1. 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.

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

Ilıman iklim kuşağındaki 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. İspanya, Türkiye, İtalya, Yunanistan, 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 çıkıldığında 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 Elemanları

Sera yapı elemanları temel, iskelet elemanları ve çatı olarak sınıflara ayrılabilir. Bu elemanların planlanmasında ve seçiminde bölgenin iklim durumu, serada yetiştirilmek istenen bitki türü, seracılık işletmesinin büyüklüğü ve işletme tipi göz önüne alınmalıdır. Ayrıca seranın yapım malzemesi seçilirken de 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 yapımı 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 ve mukavemetlik gibi iki temel özelliğe sahip olmalıdır. Günümüz binalarında kullanılacak malzemelerde olması istenen sağlamlık, malzemenin kendi atalet kuvveti ve dış kuvvetlere karşı direnç gösterebilecek düzeyde olmasıdır. İkinci özellik ise mukavemet özelliğidir. Malzemeye çeşitli yükler uygulandığında malzeme mutlaka karşı direnç göstermeli ve deformasyona izin vermemeli yada deformasyon oluyorsa bile çok küçük boyutlarda kalmalıdır [1]. Malzemenin mukavemet değeri, yük ile deformasyon arasındaki orantı ile belirlenir. Bu yüzden yapıda yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmelidir.

Bununla birlikte, yapıda kullanılacak malzemeye yük uygulanıp sonra kaldırıldığında, yükleme durumunda gözlenen deformasyon ortadan kalkıyorsa bu tip malzemeler de kullanılabilir. Böyle bir özelliğe sahip malzemeler, genel olarak elastik yapı malzeme olarak tanımlanırlar. Elastik malzemedeki, yükleme durumunda yük ile deformasyon arasında eğer sabit bir oran varsa, bu tip malzemeye lineer elastik malzeme denir.

Yapıda kullanılacak malzeme için sağlamlık ve mukavemetlik iki temel gereksinim olmakla birlikte malzeme, sünme yapmamalıdır. Eğer yapıda kullanılan bir malzemenin sünme özelliği varsa ne kadar sağlam ve mukavim olursa olsun en kısa zamanda yük ve ısı sayesinde şekil değiştirir, bu durum istenmeyen olaylar ile sonuçlanabilir. Ayrıca, malzeme hafif yani, yoğunluğu düşük olmalıdır. Hafif malzemeler yapıya büyük avantaj getirmektedir. Çünkü yoğunluğu fazla olan yapı malzemelerine, hareketli yükler (rüzgar, deprem, v.b.) karşısında, yoğunluğu az olan malzemelere göre, daha fazla kuvvet gelmektedir. Bunlara ek olarak, yapıda

kullanılacak malzemeler sağlıklı ve güvenli olmalıdırlar. Güvenli olma kriteri ise herhangi bir zorlanma veya aşırı yük karşısında deformasyonu belli bir seviyeye çıkabilir fakat ani kırılma, kopma veya yıkılma 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 malzemenin özelliklerine bağlı olarak tasarlanır. Örneğin, geniş açıklıklı kirişlerde kullanılacak malzeme, büyük yükleri karşılamak için yüksek çekme, basınç ve kesme mukavemetine sahip olmalıdır. Ayrıca, yükleme durumunda deplasmanı minimum, yüksek sağlamlık ve hareketli yüklerin etkisini azaltmak için de yoğunluğu düşük olmalıdır.

Eğer bir malzeme yüksek basınç mukavemetine karşı düşük çekme mukavemetine sahipse, yapı malzemenin zayıf olduğu yön dikkate alınarak dizayn edilmeli ve yükler genellikle basınç doğrultusunda çalıştırılmalıdır [1]. Bu duruma klasik bir örnek vermek gerekirse, kubbe ve yay biçimli yapılarda kullanılan malzeme olan tuğlaların özelliği, basınç mukavemeti yüksek fakat çekme kuvveti düşüktür. Bu özelliklerini göz önüne alarak yapılan dizaynda, yapıya gelen yükler basınç doğrultusunda taşınmakta ve malzemeye göre yapının nasıl dizayn edilmesi gerektiğine dair güzel bir örnek teşkil etmektedir.

Diğer taraftan, eğer malzeme düşük sağlamlık, fakat buna karşın düşük sünme karakteristiğine sahip ise, bu tip malzemeler yüklerin ve esnemenin az olduğu yerlerde kullanılabilirler. Bu tip malzemelerin kullanım yerine örnek olarak, çatılar verilebilir. Çatıdaki yükler, kubbe tarzı formlarda olduğu gibi basınç yönünde taşınır, bu durumda yükün az olabilmesi için malzemenin özgül ağırlığı da düşük olmalıdır.

Malzemenin çekme mukavemeti yüksek ise, yapı formu ters çevrilerek malzemeyi basınca değil de çekmeye çalıştırmak, oluşması muhtemel problemleri önler. Buradan çıkarılacak sonuç, yapının formunu yapıda kullanılacak malzemelerin özellikleri ile yakından ilgilidir.

Mühendislikte yaşanan gelişmeler sonucunda, yapılarda bütün malzemelerin az çok 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 [1]. Yaklaşık 3000 yıldır kullanılmakta olan demir, 19. yy'ın başlarındaki endüstri devriminden sonra yapılarda kullanılan temel malzeme olarak yerini almıştır. Endüstri devriminin ardından ortaya çıkan buhar makineleri sayesinde, demirin işlenmesi için gerekli olan ısı ve diğeri ihtiyaçlar sağlanmış oldu. Bu sayede, ucuz ürün elde edilmeye başlandı. Bütün bu gelişmeler doğrudan mühendisliğe yansdı ve elde edilen gelişmeler büyük bir hızla yayılmaya başladı. İlk yapı malzemeleri olan ham demiri, patlamalı fırınlarda işleyerek dökme demir ve dövme demir elde edildi. Dökme demir ucuz üretim yöntemi sayesinde, 19.yy'da geniş bir kullanım alanı buldu. Hatta dünyanın ilk demir köprüsü 1778 de İngiltere'de Coalbrookdale Kasabası civarında, Severn Nehri üzerindeki 31m açıklığa sahip köprüdür [2]. Yapı malzemesi olarak kullanılan dökme demirin en büyük sorunu, düşük çekme mukavemeti ve kırılma doğasıydı. En büyük avantajı ise, isminden de anlaşılacağı gibi döküm yöntemi ile üretildiği için istenilen her şekle sokulabilmesiydi. Ancak, böyle bir işlemi yapabilmek için yüksek ısıya, uygun kalıba ve doğal olarak yetişmiş kalifiye bir elemana ihtiyaç vardı. Diğeri taraftan dökme demirin tersine, dövme demir daha esnek, daha yüksek çekme mukavemetine sahip fakat şekil verilmesi zor bir malzemeydi. Bu yüzden dökme ve dövme demir, yapı mühendisliğinde yok denecek kadar az yer almıştır. Fakat, Bessemer ve Siemens dövme ve dökme demir yerine, korozyona nispeten daha dayanıklı olan çeliği keşfettiler [1]. Dövme demir üretim yöntemine benzeyen çelik üretimi ile levha ve profil elde ettiler. Bu yeni keşfedilen malzeme, demir yollarında ve gemi imalatında sıkça kullanılmaya başlandı. Büyük miktarda çeliğin üretilmesi, mühendislik alanında büyük ve olumlu bir yönde etki yaptı.

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 çığır açtı. Bütün bunlara ek olarak; yük karşısında ani kırılma yapmaması da büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çeliğin yapı mühendisliğine girmesi ile yapıların şekilleri büyük bir değişime uğramıştır. Daha önce hayal bile edilemeyen, geniş açıklıklara sahip yapıları üretmek mümkün kılmıştır. Bu başarıyı, günümüzde de çok büyük açıklıklı köprüler ve çatı makasları gibi yerlerde görmekteyiz. Bununla beraber, yaygın olarak kullanılan çeliğin, aşınmaya eğilimli olduğu ve çeliğin özelliklerinin korunabilmesi için alınacak önlemlerin maliyet açısından büyük yükler getirdiği fark edildi. Ayrıca, çeliğin yoğunluğunun fazla olması da diğer bir dezavantajıydı. Örneğin; yeni tür malzemeler sayesinde 20.yy'da geliştirilmeye başlanan uçakların, sadece yüksek kuvvetlere dayanmayıp, aynı zamanda hafifliklerine de şahit olunmuştur. Buradan çıkarılacak sonuç, yapılarda da kullanılacak malzeme çelikten daha az yoğunluğa sahip fakat onun kadar yüksek dayanım ve mukavemete sahip olmalıdır. Bu amaçla, 19.yy'ın sonlarında yapılarda kullanılmak amacıyla çeşitli malzemeler üretilmeye başlandı. Bunlardan biri olan alüminyum yoğunluk bakımından çeliğin dörtte biri olmasına rağmen mukavemeti de aynı oranda düşüktür. Bu yüzden yapıda taşıyıcı olarak kullanılmamaktadır. Alüminyumun tersine, titanyum ve bakır çeşitli yapılarda kullanılmıştır.

Temel olarak, bir yapıda kullanılacak malzemelerin gereksinimlerini demir ve çelik karşılmasına rağmen; bu malzemelerin dezavantajları arasında yer alan unsurlar yeni nesil malzemeler olan kompozit malzemeler geliştirilmektedir. Kompozit, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılması ile oluşan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip, yeni bir malzeme olarak tanımlanır [3]. Kompozit malzemeler binlerce yıldır, insanların farkında olarak ya da olmayarak, sorunların çözümü için kullandıkları malzemelerdir. Fakat bu yapay malzemeler üzerindeki araştırmalar son yüz yıl içerisinde büyük bir

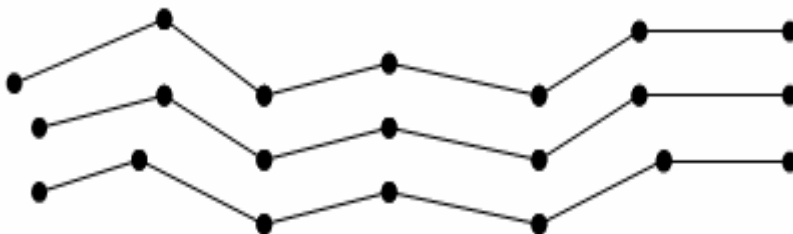
gelişme göstermiştir. Bu büyük gelişmeye, homojen malzemelerden kalan genel bilgi birikimi, analitik ve dizayn yapabilme becerilerinin katkısı da büyük olmuştur.

Kompozit malzemenin tarihi incelendiğinde, Orta Doğuda, fazladan eğilme dayanımı sağlamak amacıyla, ok yayları üzerine farklı lif yönleri oluşturacak şekilde konulan malzemeler, kerpiç yapı sistemleri ile MÖ. 2800'lü yıllara ait olduğu tespit edilen lamine edilmiş çeşitli tahta parçalarının Mısır'da bulunması ve buna ek olarak birçok yapıda kaya-çakıl gibi malzemeleri birbirine bağlamak için kireç, kum ve kil karışımından elde edilen bağlayıcı ile yapılmış kompozit malzemeler tespit edilmiştir [4]. Bulunan bu yapıştırıcı malzeme, yavaş donması, malzemeleri daha sağlam bir hale getirmesi ve düşük sıcaklıkta kolay şekil verilebilmesi nedeni ile hala en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bu tip bağlayıcı karışımlar, yapı malzemelerinin mukavemetini ve dayanımını artırdığı için sürekli araştırma konusu olmuştur. Jhon Smeaton 1756 yılında içerisinde kireç, kalsiyum oksit, alüminat ve silikat bulunan bir karışımı Eddystone Fenerinin yapımında kullanmış ve bu gelişmeden kısa bir süre sonra, 1796'da James Paker kil ve kireç taşının karışımı ile elde edilen Roma Çimentosunun patentini almıştır [1]. Böylece 19.yy'ın sonlarına doğru çok büyük bir icat olan çimento keşfedilmiş oldu. Joseph Aspdin 1824 yılında, günümüzde de yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli çimento yapımının ilk adımını atmıştır. Aspdin'in çimentosu, kireç ocağında yakılmış kil ve tebeşirin toz haline getirilmesi ile oluşmaktaydı. Aspdin'in kullandığı temel malzemeleri çok daha yüksek sıcaklıklara kadar yakan Isaac Jhonson, 1845 yılında yeni bulduğu üretim yöntemi ile daha yüksek mukavemete sahip çimentoyu keşfetmiş oldu. Bu yeni üretim yöntemini Portland şehri yakınlarında bulduğu için, bu yeni ürüne 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 kullanılabilmekte, ayrıca betona daha kolay şekil verilebilmesi nedeniyle plak veya baraj gibi kütle tarzı yapılarda kolaylıkla uygulanabilmekteydi. Bu yüzden çimento 20.yy'da en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi olmuştur. Bu kadar yaygın olarak kullanılmaya başlanan beton, tek başına dökme demir gibi basınç

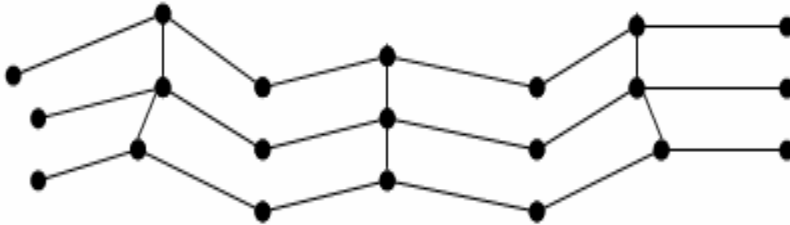
mukavemeti çok yüksek fakat çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle, yeni yapı tasarımları için problem olmuştur. Bu sorunu gidermek için, çeliğin yüksek çekme mukavemetini betonun basınç mukavemeti ile birleştirmenin yolları aranmış ve sonunda çelik çubuklarının tek yönlü, temelden çatıya kadar kesintisiz olarak beton içerisine katılmasıyla aranan yüksek basınç ve çekme mukavemetine sahip yeni bir yapı malzemesi bulunmuş oldu. Bulunan bu malzeme günümüzde de kullandığımız güçlendirilmiş betondur. Güçlendirilmiş beton sonraki yıllarda üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda bir üst üretim yöntemi olan ön germeli beton üretimine kadar gelmiştir. Bu yüzden, günümüzde yaygın olarak kullandığımız beton tam anlamı ile bir kompozit malzemedir.

Bu yüzyılın başından itibaren, hem homojen hem de kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi üzerinde geniş çaplı araştırmalar yapılmakta ve yapılan bu araştırmalar genellikle organik maddeler olan ve yaygın olarak plastik diye tanımlanan süper polimerler üzerine kaymıştır. Bu malzemeler özellikle 2. Dünya Savaşından sonra hızlı bir yükseliş içerisinde olmuştur [1]. Süper polimerlerin kimyasal yapısının temeli monomerlerden oluşmaktadır. Monomerler, 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 2.1'de de gösterilen Termoplastiklerdir [1].



Şekil 2.1. Termoplastik polimer zinciri

Diğer süper plastik ise, polimer zincirleri arasında Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi, oluşan bağ zincirleri sayesinde, bir kere üretildikten sonra bir daha şekilsel olarak üzerinde ısı veya başka bir yöntem ile tekrar değişiklik yapılamayan malzeme, Termoset Plastik olarak tanımlanır[1].



Şekil 2.2. Termoset plastik polimer zinciri

İlk termoset plastik, fenol ve formaldehit karışımı olan bakalittir. 1907 yılında Belçikalı kimyager olan Leo Beakeland tarafından üretilmiştir. Silikon, epoksi ve polyester bu grupta yer almaktadır. Bu grupta yer alan ve yapı malzemelerinde en çok kullanılan süper plastik (reçine) ise polyesterdir. Fakat tek başına yapı elemanı olarak kullanılamaz. Çünkü, yük altında kullanım için yapı malzemelerinde aranan dayanım ve mukavemet değerleri nispeten düşüktür ve buna ek olarak da malzemede gözlenen sünme ise ihmal edilemeyecek düzeyde yüksektir. Betonda olduğu gibi, bu malzemenin üzerinde de çekme mukavemetini arttırmak ve yapıda taşıyıcı eleman olarak kullanabilmek için cam liflerinin de arasında bulunduğu birçok malzemeyle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, Polyester reçinesinin cam elyafları ile birleşmesinde gösterdiği uyum, bu ikilinin en çok tercih edilen malzemeler arasında yer almasını sağlamıştır. Takviye malzemesi olarak karbon ve boron elyafı gibi çeşitli elyaf cinsleri de denenmiş fakat ekonomik olarak en uygun olanın cam elyafı olduğu tespit edilmiştir. Bu geliştirilen teknolojik yapı malzemesi, yeni yapı tasarımlarında süratle kendisine yer edinmektedir. Örneğin, Londra’daki Merpoth okulunun ve Dubai Havaalanının çatı sistemleri CTP malzemeden yapılmıştır [1]. 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 [5].

2.2. Kompozit Çeşitleri

2.2.1. Parçacık takviyeli kompozitler

Kompozitte kullanılan takviye elemanın her doğrultusundaki (x,y,z) boyutu hemen hemen aynı ise, bu malzemelere parçacık takviyeli kompozitler denir [6]. 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 [7]. 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 bulunduran malzemelerdir [6]. 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, v.b.) 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 [7]. 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 polyeşter 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 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 [4]. 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 yapılı bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rasgele yönlendirilir. 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 değildir. Isı ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirdiğinde yapısal değişikliğe uğramayan plastiklerdir [5]. 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 [4]. Düşük sıcaklıklarda bile kolay şekil verilmesi, malzemeye ekonomik değer katar. Termoplastikler çeşitli sıcaklıkta ve hallerde bulunur. Bunlar:

1. Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
2. Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.
3. Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir. Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında 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, bu da onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla, hammaddesi daha pahalıdır [7]. 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[5].

Amorf yapılı reçinelerden ilk olarak polietersulfon (PES) ve PEI matriks olarak kullanılmaktaydı. Sonraki dönemde ise havacılık sektöründeki uygulamalarda, çözücülere karşı dayanım önemli bir kıstas olarak ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçtan dolayı, PEEK ve PPS gibi yarı-kristal yapılı plastik malzemeler geliştirilmiştir. 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 [7].

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 kademede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler [4]. Bu yüzden tekrar ısı işlemi ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler; epoksiler, polyesterler ve fenoliklerdir. Ayrıca bunların dışında, silikon, polimide, bismaleimide ve aminolar kullanılmaktadır.

1. 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 işlemi uygulanır. Isıl işlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasallara karşı dirençleri iyidir. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, yapıştırıcılar ve CTP'lerde matriks malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeni ile çeşitli elektronik uygulamalarda, örneğin transistor ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

2. Polyester

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

Doymamış polyester reçinelerin ilk pratik uygulama örneği, 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 [8].

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 [5].

3. Fenolik

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

4. Silikon

Silikonlar, inorganik ve yarı-inorganik polimerlerin 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.

5. 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, polimide reçinelerin, 260°C'lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polimide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur [5].

6. Bismaleimide (BMI)

Bismaleimide reçineler, epoksi reçineleri gibi, iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve nispeten işleme kolaylığı sağladığından matris olarak aranan bir malzemedir. Epoksi reçinelere kıyasla 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.

7. 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 elmanı olarak elyaflar veya parçacıklar kullanılmakta olup, bunlar yüksek özgül dayanımları nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedirler. Birkaç yıl öncesine kadar elyaf terimi tekstil malzemelerle sınırlandırılmıştı. Bugün özellikle mühendislik kullanımı için çok değişik elyaflar bulunmaktadır. Organik, sentetik elyaflardan çok farklı türde olan bu takviye elamanlarını başlıcaları; cam , karbon , boron , alüminyum oksit ve silisyum karbür olup değişik morfolojik şekilde olabilmektedir. Ancak, kompozitlerde takviye elemanı olarak elyaf veya kılcal kristal formlu malzemeler kullanıldığı zaman optimum özellikler elde edilebilmektedir. Fakat bunlar ekonomik olarak pahalıdır.

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

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 [8]. 1940'lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır. Cam elyafı başlangıçta sadece Termoset yapıdaki plastiklerin takviyesinde kullanılırken, günümüzde termoplastiklerin de takviyesinde hızlı bir büyüme göstermektedir.

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi hammaddelerden üretilmektedir. CTP kompozitin takviyesinde (maliyetinin düşük olmasından dolayı) en çok tercih edilen E tipi cam elyafını elde etmek için; öncelikle istenen özellikleri elyafa kazandıracak hammaddeler fırında (yaklaşık 1550°C de) eritilir. Eriyik haline gelen hammadde, platin radyum alaşımından yapılmış ocakta, elektrik enerjisi ile $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyet ile 1250°C de ısıtılır ve üzerinde 1-2 mm çapında çok sayıda delik bulunan kovan denilen eleklerden geçirilir [8]. Elyafın üretim esnasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir.

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

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

4. S + R Cam - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır. Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam'ın yarısı kadardır. Böylelikle elyaf sayısı fazlalaşır; dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir.

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[5].

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

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

1. Fıtıl

Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile üretilir [4]. Fıtıl 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.

2. İplik

İplik; cam elyaf liflerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen lif çeşididir. Şekil 2.3’te fitil ile ipliğin farkı görülmektedir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.



a) Fitil



b) İplik

Şekil 2.3. Elyaf çeşitleri [8]

3. Kumaş

Dokunmuş veya dokunmamış halde, farklı elyaf türlerinden elde edilebilen, yassı veya rulo haline getirilmiş tüm takviye malzemelerine, genel olarak kumaş “Fabric veya Cloth”denir. Kumaş ürünleri, cam elyafı, aramid, karbon elyafı gibi takviye malzemelerinin, tek ya da birbirleriyle hibrid (karışık) olarak bir araya getirilmesiyle oluşurlar.

Kumaş tiplerinden biri, Dokunmuş Fitillerdir. Bunlar; dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafı takviye malzemesidir. Dokunmuş fitiller, birbirlerine 90°C’lik açı ile atkılı 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 (Şekil2.4.).



a) Dokunmuş Filtile



b) Dokunmuş Cam Kumaş



c) Dikilmiş Kumaşlar

Şekil 2.4. Kumaş çeşitleri[8]

Çok yönlü mukavemet sağlaması amacıyla, dokunmamış fitiller ile devamlı fitillerin iki veya üç katlı oluşturulması ve sonrasında bu katların polyester iplik ile dikilmesi sonucu elde edilen Çok Yönlü Fitol Kumaşlar 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 diğer bir takviye malzemesidir. Bu şekilde yayılan lifler, ikinci bir bağlayıcı kullanılarak bir arada tutulur. Bağlayıcı cinsi ve miktarı öngörülen uygulama alanına bağlıdır. Devamlı keçeler önceden şekillendirilerek veya şekillendirilmeden maçalı olarak kapalı kalıplamada, pultruziyonda, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretiminde kullanılabilir.

Bir başka cam elyafı takviye çeşidi olan Kırpılmış Keçe, 50 mm uzunluğunda kırpılmış cam elyafı demetlerinin, bağlayıcı ile bir arada tutulmasıyla oluşur (Şekil 2.5.). Kullanılan bağlayıcı miktarı, proses gereklerine ve istenen özelliklerine bağlı olarak % 3-10 arasında değişmektedir. Kırpılmış keçeler, açık kalıplama uygulamaları veya levha üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Keçe (Mat) çeşitleri

4. Kesikli Cam Elyafı

Kesikli cam elyafı takviyeleri Şekil 2.6'da da gösterildiği gibi, boylarına göre iki çeşittir. Bunlardan ilki, 3-12 mm uzunluğundadır ve kırılmış elyaf olarak adlandırılır [8]. İkincisi ise, öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları, 0.1 -0.2 mm'ye düşürülmüş cam elyafı takviye malzemesidir. Bu liflerin çapları 10-17 mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı, termoplastik ve poliüretan reçinelerin takviyeleridir.



Şekil 2.6. Kesikli cam elyaf takviyeleri

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

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 [5].

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 [8].

2.3.2.3. Boron elyafı

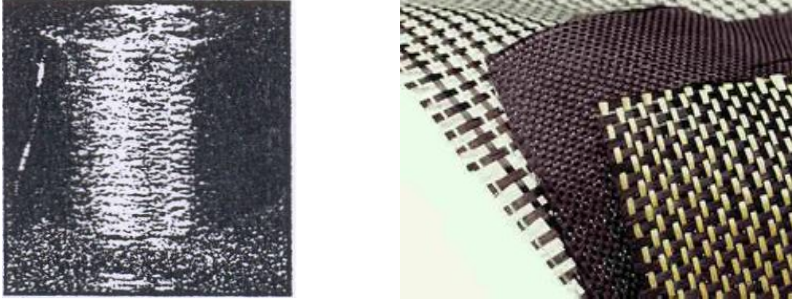
Boron elyafı; bor mineralinin kimyasal buharının çok ince bir tungsten teli üzerinde yoğunlaştırılması ile üretilmektedir. Çok sağlam ve dayanıklı bir takviye malzemesi olup, yüksek yoğunluğu ve yüksek maliyeti kullanımını sınırlandırmaktadır. Piyasada yalnızca şerit halinde bulunmaktadır. Çok sağlam 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 ısı işleme tabi tutulan sentetik liflerin karbon ve grafit elyafına dönüştürülmesi suretiyle üretilmiştir. Sentetik esaslı elyafların çoğunluğu, polikronitril (PAN) kullanılarak elde edilmektedir. Bu liflerin elastik modülleri ve dayanımları, proses sırasındaki gerilim ve sıcaklık koşullarının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulmaktadır.

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

Karbon elyafının diğer takviye liflerine göre daha farklı avantajları da vardır. Nispeten düşük elyaf yoğunluğu, yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini bir araya getirerek üstün bir kombinasyon özelliği sunmaktadır. Aynı zamanda yüksek ısılarda özelliğini koruma ve yorulmaya karşı yüksek direnç gösterirler. Fakat, bütün bunlarla birlikte karbon elyafının kendi yapısal özelliklerinden kaynaklanan bazı olumsuz yanları da mevcuttur. Liflerin sınırlı uzama özelliğinden dolayı, çarpma ve darbe kuvvetiyle karşılaştığında sorunlara neden olmaktadır. Bu açığı kapatmak amacıyla daha yüksek uzama özelliğine sahip elyaf ürünleri geliştirilmektedir. Karbon elyafının elektrik iletkenliği de bazı kullanım alanlarında sorun olabilmektedir. Karbon elyafı Şekil 2.7’de de 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 [4].



Şekil 2.7. Karbon elyafı

2.3.2.5. Diğer organik lifler

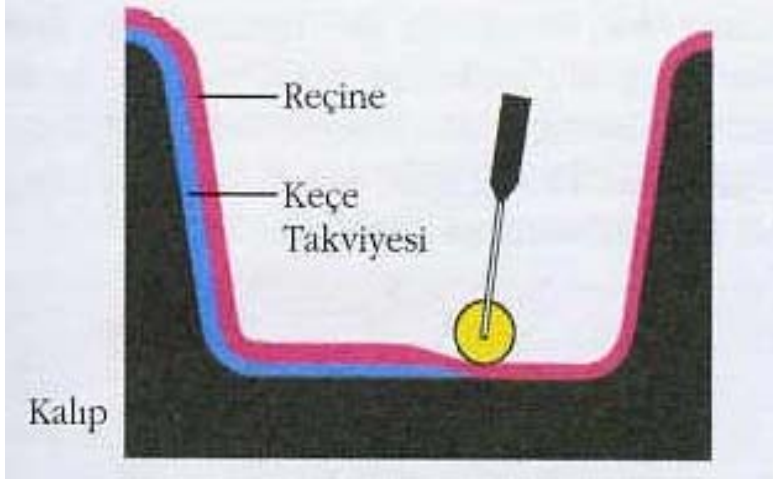
Termoplastik polyesterler, naylon lifler, polietilen ve silikon karbid organik lifler olup, takviye malzemesi olarak kullanıldıkları ürünlere hem darbelere hem de kimyasallara karşı yüksek dayanım sağladığı için kompozit pazarında yeni ve çeşitli kullanım alanları bulmaktadırlar. Ancak diğer elyaf çeşitleriyle 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. CTP 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 yöntem (Şekil 3.1) 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 3.1. El yatırması yönteminin genel görünümü

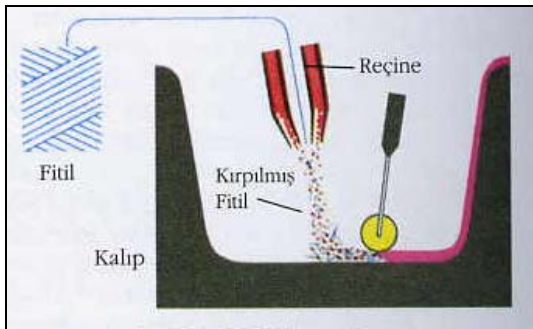
Üretimin başlangıç aşamasında, pigment katkılı jelkotlar kalıp yüzeyine sprej tabancası veya fırça ile uygulanır. Jelkot yeterli derecede sertleştiğinde, elyaflar tabakalar halinde jelkot'un üzerine yerleştirilir ve reçine elle kalıba uygulanır. Takviye malzemesi üzerine tatbik edilen reçine, sertleşene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

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

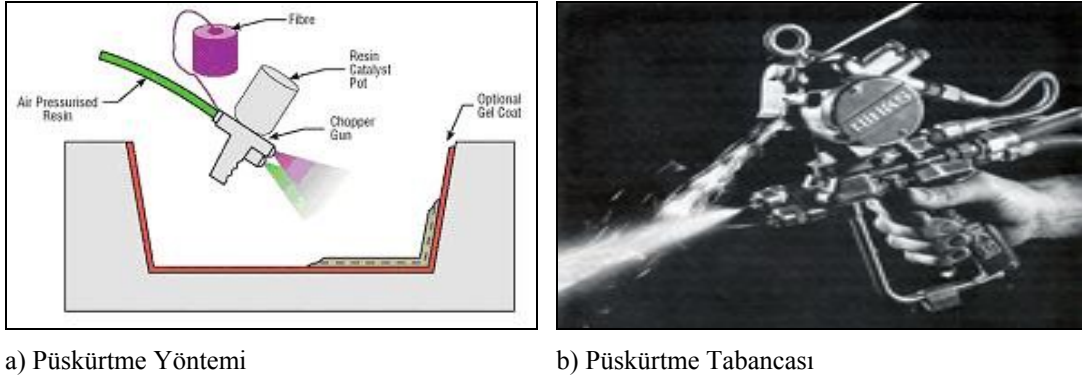
El yatırması yöntemiyle üretilen parçaların tipik son ürün uygulamaları, tekne gövdeleri, otomobil ve kamyon gövde panelleri, yüzme havuzları, depolama tankları, korozyona dayanıklı ürünler, elektrikli ev aletleri, havalandırma kanalları, mobilya ve aksesuarları gibi ürünleri içerir. Ayrıca, CTP kompozit 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 yapılı 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 3.3'te 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 3.2'de 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 3.2. Püskürtme yönteminin genel gösterimi



Şekil 3.3. 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 kullanılmış 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.

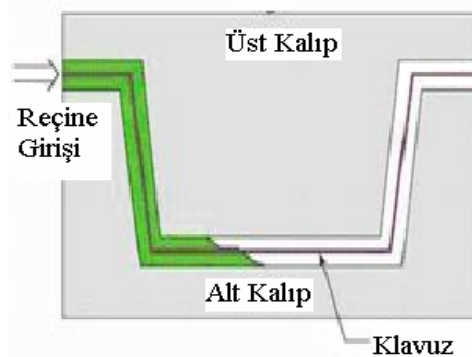
Bu yöntemle üretilen tipik ürünler tekne gövdeleri, otomobil ve kamyon gövde panelleri, yüzme havuzları, korozyon dayanımlı ürünler elektrikli ev aletleri, havalandırma kanallarıdır.

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 3.4’te 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 3.4. 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 oluşturacak ürünleri sürekli olarak geliştirmektedir. Bu niteliklerinden dolayı uygun yer titiz hesaplama yapıldığında, SMC ile etkileyici bir performans yakalanmaktadır. Ayrıca, bu yöntem elektrik/elektronik ve yapı sektöründeki yüksek hacimli uygulamalarda da kullanılmaktadır.

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

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

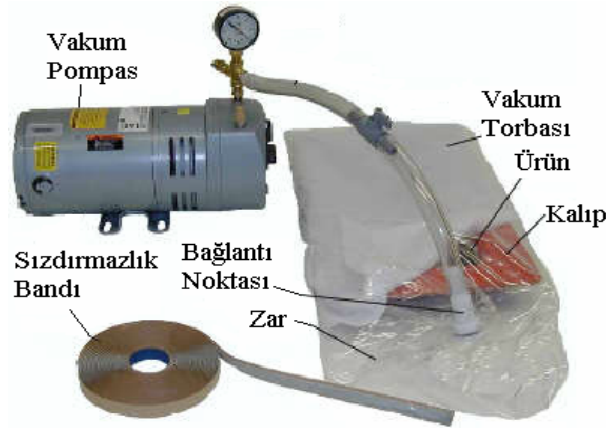
3.5. Islak Sistem Pres Kalıplama

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 sağlanabilmesidir. 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 3.5'te de gösterildiği gibi vakum pompası, vakum torbası ve sızdırmazlık bandıdır. Bu yöntemle üretilecek olan kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba konur, ardından bir vakum torbası, en üst katman olarak yerleştirilir. Vakum torbası, içerideki havanın emilmesiyle yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygular. Ardından, tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kurlenmesi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla Elyaf Sarma ve El Yatırma teknikleri ile birlikte olarak uygulanır. Vakum Bagging Yöntemi özellikle kompozit malzemelerin tamir işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. 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, GMT yumuşakken, bir diğer termoplastik levha yerleştirilerek soğuk hadde silindirlere arasında geçirilir. Son olarak, sertleşen plakalar kesilerek preslenir ve proses tamamlanmış olur.

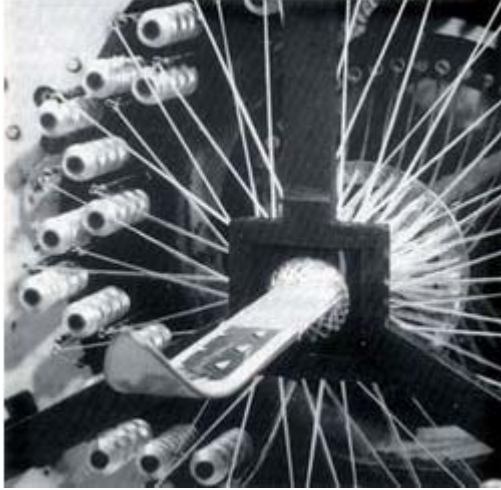
Bu yöntemde, reçine olarak öncelikle polipropilen kullanılmakla birlikte, polyester, polybütilen ve polikarbonat gibi termoplastik reçine türleri de kullanılmaktadır. Termoplastik reçine kullanılarak üretilen kompozit levha ürünleri %22-50 arasında cam elyafı içeren geniş bir çeşitlilik arz etmektedir.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

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

3.9. Elyaf Sarma (Filament Winding)

Elyaf Sarma Yöntemi, spesifik şekillere sahip ürünlerin seri üretimine uygun bir yöntemdir. Bu yöntem, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi süreli 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.



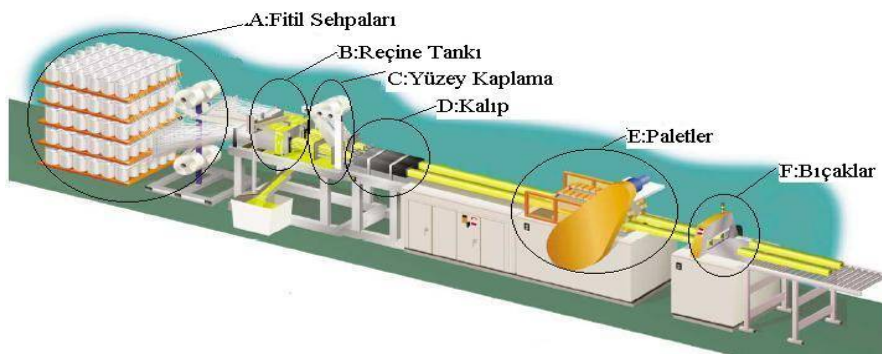
Şekil 3.6. Elyaf sarma yöntemi

3.10. Profil Çekme (Pultrüzyon) Metodu

Bu bölüme kadar değinilen kompozit üretim yöntemleriyle değişik elyaf cinsleri kullanarak çeşitli otomobil parçaları, uçak aksamları 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 3.7'de ve örnek makine Şekil 3.8'de 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. Fitol sehpaları elyaf, fitil ve keçelerin sarılı olduğu bobinlerin bulunduğu yerdir. Burası Şekil 3.9'da da görüldüğü gibi, makine üzerinde olmayıp makineden ayrı bir bölümdür. Buradaki elyaf bobinlerinin sayısı, önceden mekanik özelliklerini belirlediğimiz ve üretmek istediğimiz malzemeye göre değişiklik gösterir. Elyaf/hacim oranları %50 ile %80 arasında değişiklik gösterebilir.



Şekil 3.7. Profil çekme yöntemi konfigürasyonu [9].

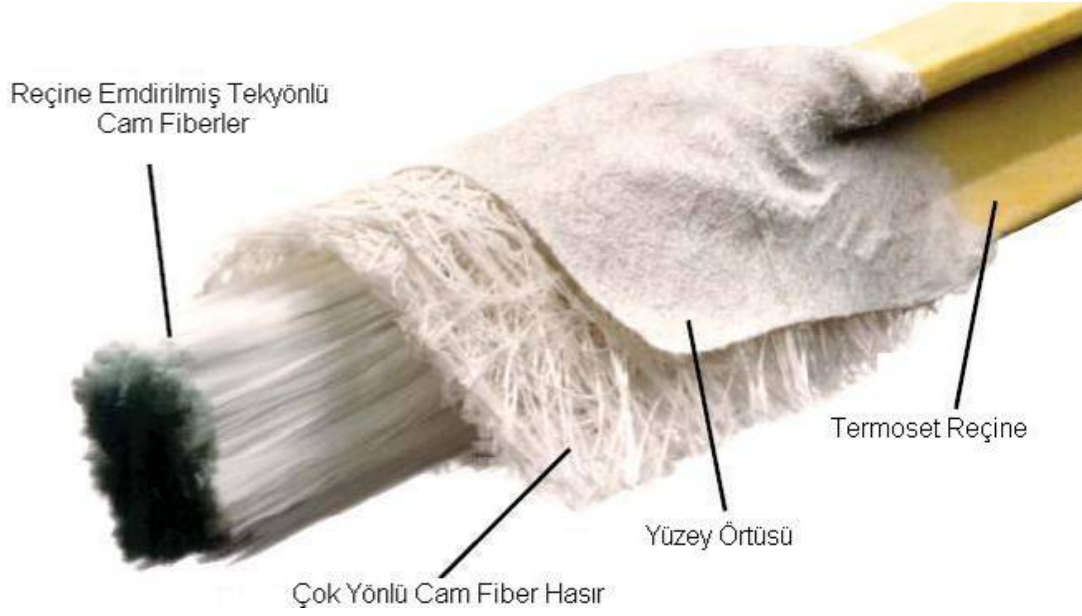


Şekil 3. 8. Profil çekme makinesi [10].



Şekil 3.9. Fital sehpaları (Elyaf bobinleri) [9].

Makine üzerindeki ilk bölüm, Reçine Tankıdır. Burası, matriks (bağlayıcı madde) malzemesi olarak kullanılan reçinenin konulduğu yerdir. Cam elyafları ile birlikte kullanılan takviye malzemeleri (keçe v.b.) önce termoset reçine tankının bulunduğu bu bölümden geçerek reçineye bulanırlar. Reçine emdirilmiş cam elyaf lifleri Ön Kalıba girerler. Bu kısım reçine tankından hemen sonra yer alır. Reçine emdirilmiş elyaf lifleri bu bölümden geçerken içlerindeki hava ve fazla reçinenin süzülmesini sağlar. Ayrıca, reçinenin cam takviye malzemesine en yüksek düzeyde penetrasyonu sağlanmış olur. Ön kalıptan çıkan malzeme, esas kalıba girmeden önce, kullanım yerinde atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için yüzeyi karışık yönlü elyaf lifleri ile kaplanır. Bu işleme Yüzey Kaplama denir. Yüzey örtüsü ve diğer malzemeler Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Örnek profil detayı

Pultruzyon yöntemi, diğer yöntemlerden farklı olarak makineler ile yapıldığı için üretim düşük işgücü ile yapılabilmektedir. Üretim esnasında kontrol edilmesi gereken parametreler, kalıbın sıcaklığı, profilin çekilme hızı, çekme biçimi (sürekli yada kesikli), kesilme uzunlukları gibi tüm makine fonksiyonları Şekil 3.11’de de görüldüğü gibi bir Kontrol Ünitesi yardımı ile yapılır.



Şekil 3.11. Kontrol ünitesi

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 3.12).



Şekil 3.12. Örnek kalıp şekli [9]

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 3.13). Paletlerin çekim hızı genel olarak 0.6-1.2m/dak olup, çekilen parçanın uygun yapıya sahip olması halinde 3m/dak. hıza kadar artabilir. Bu yüzden pultruzyon, otomatik bir proses olarak tanımlanır.



Şekil 3.13. Paletler [13]

Bıçaklar Şekil 3.14’te 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 matriks olarak reçine üzerine kurulmuştur. Bunlarla birlikte dolgu, katalizör, iç kalıp ayırıcı ve renklendirici malzemelerden de yararlanılmaktadır.



Şekil 3.14. Bıçaklar [9]

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

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

Pultrüzyon yönteminin önemli özelliklerinden biri de, kullanılan reçineye farklı dolgu malzemesi katılabilmesidir. Örneğin:

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

Pultrüzyon yönteminin avantajları:

1. Üretim, düşük iş gücü ile yapılabilir,
2. Karmaşık geometriye sahip şekiller bile, kolaylıkla üretilebilir,
3. Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
4. Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
5. Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
6. Üretim hızı genel olarak 0,6 m–1,2m/dak. olup, üretilen parça eğer uygun bir yapıya sahip ise 3 m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,

7. Ekonomik olması ve bir çok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
8. Pultruzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmesi,
9. Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
10. İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,
11. Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
12. Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için Pultruzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

Pultruzyon yönteminin dezavantajları:

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

Pultruzyon ile üretilen malzemeler, önceleri elektrik sektörlerinde kullanılmaya başlanmasına rağmen korozyon dayanımının tespit edilmesiyle inşaat, otomotiv ve havacılık pazarlarında da kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Ayrıca alt yapı uygulamalarında da kullanımı artmaktadır. En hızlı gelişim gösteren pazarlardan bir

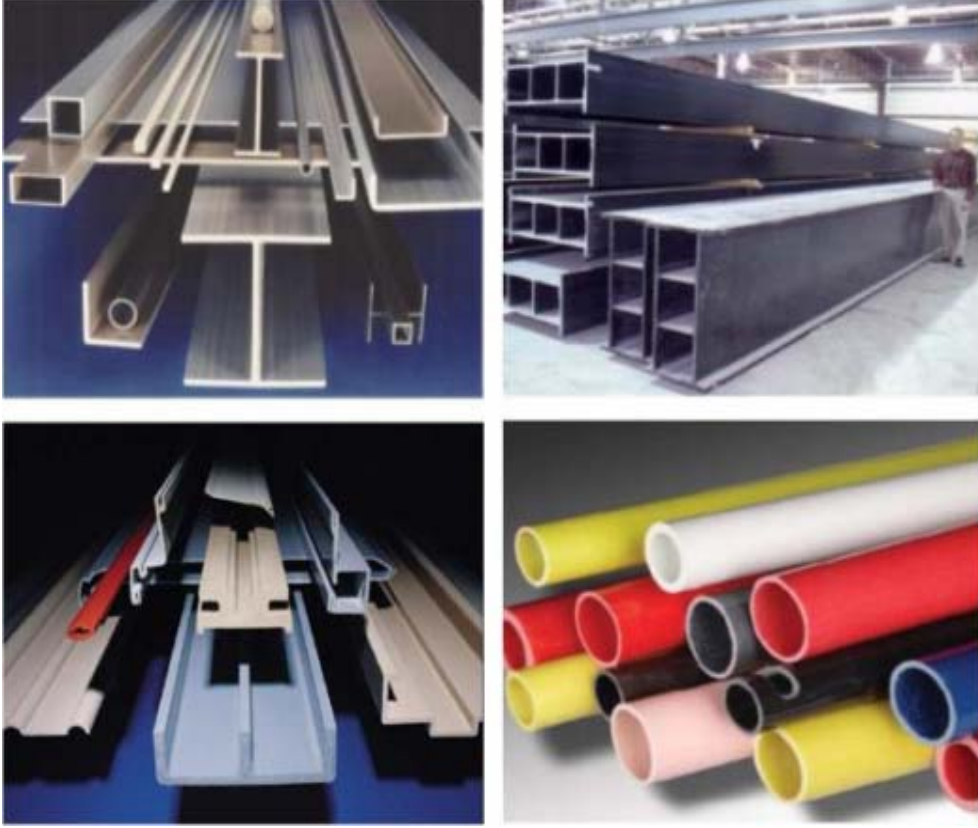
tanesi korozyona dayanıklı malzeme üretimi ve bunların uygulamalarıdır. Bu profiller, hafif ve kimyasallara karşı dayanım gibi özellikleri nedeniyle su ve atık su temizleme tesislerinde, kimyasal üretim ve diğer bazı endüstriyel tesislerde sık sık kullanılmaktadır. Ayrıca tasarım mühendisleri, 100'ün üstünde standart yapısal şekil kullanarak, örneğin köprü, bina, kule, merdiven, 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 malzemeyle 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 3.15).



Şekil 3.15. Pultruzyonla 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 metallerle yarışmakla birlikte çok daha hafiftirler [11 – 12].

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 3.16’da da gösterildiği gibi fazla yüke maruz kalmayan küçük iskelelerdir.



Şekil 3.16. 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 3.17’deki gibi CTP malzemesi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.17. CTP metro istasyonu

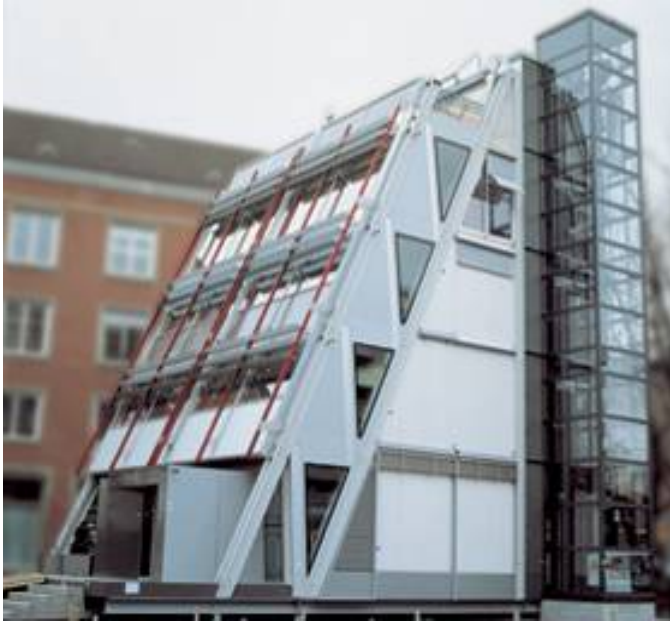
Bunun bir aşama daha üstü olarak; asma köprüler yapılmaya başlanmıştır. Bu tip yapılara örnek olarak Şekil 3.18’de gösterilen, 18 Haziran 1997 yılında

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/m^2 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 [13].



Şekil 3.18. CTP yaya ve hafif araç köprüsü

CTP malzemesinin hafif, dayanıklı ve sağlamlık gibi özelliklerinin olması, yapılarda kullanımı için çalışmalara temel teşkil etmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak Şekil 3.19'da da görüldüğü gibi 5 katlı, 15 m yüksekliğinde ve 10×12 m taban alanına sahip gözlem evi, İsviçre'nin Basel şehrinde yapılmıştır. Ayrıca, 2001 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından Home of The Future projesi kapsamında Pultrüzyon ile üretilmiş CTP malzemesini baz alarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Şekiller 3.20-3.21).



Şekil 3.19. Basel gözlem evi



Şekil 3.20. CTP evler



Şekil 3.21. 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 3.22).



Şekil 3.22. Pultruzyonla üretilmiş CTP'lerin Türkiye'de uygulama örnekleri

BÖLÜM 4. CTP SERA MODELİ VE TASARIMI

Sera modellemesinde ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak belirlenmiş [14] mekanik özellikler kullanılarak bilgisayar ortamında (SAP2000) sera modellemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan modellemede öncelikle mevcut seraların büyük bir kısmı çelik profiller kullanılarak yapıldığı için, model sera yapıları aynı boyutlarda hem çelik hem de CTP malzemeleri ile modellenmiş ve oluşturulan yük kombinasyonlarına göre SAP2000 programı ile model seraların analizleri yapılmıştır. Model CTP ve Çelik seraların tahkiklerinde sera taşıyıcı elemanları üzerinde oluşan maksimum iç kuvvetler dikkate alınarak sera elemanlarının tahkikleri yapılmıştır. Yapılan tahkikler sonucunda here iki seranın taşıyıcı elemanları emniyetli çıkmıştır [14].

Model serada tespit edilen eleman tahkiklerindeki güvenli durumu dikkate alınarak, bitki açısından gölgelemeyi azaltmak, uygulanabilir bir sera modeli ortaya koymak amacı ile alternatif sera modellemeleri yapılmıştır. Yapılan sınırlı değişiklikler dışında yapının yük değerleri, zemin cinsi ve uygulanan yük kombinasyonları aynı kalmak şartı ile CTP sera modellerinin çözümleri yapılmıştır.

4.1. 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 [15], diğer mekanik özellikler; malzeme üzerinde yapılmış deneysel ve analitik çalışmalardan alınmıştır[14]. Alternatif sera modeli için gerekli malzeme mekanik özellikleri Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Malzeme özellikleri [14]

	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 Gen. Katsayısı ($T_{x,y,z}$) ($1/^\circ C$)	$5,118 \times 10^{-6}$
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

4.2. Tasarımda Kullanılan Profiller

Alternatif CTP sera modeli tasarımlarında değişik ebatlarda profiller kullanılarak modellenen seranın tahkikleri yapılmıştır. Üzerinde çalışılan kutu profiller ve özellikleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Alternatif seraların çeşitlerine ve profil ebatlarına göre tahkikleri yapılmıştır. Yapılan tahkikler sonuçlarında bu profillerin kullanımı araştırılmıştır.

Tablo 4.2. 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

4.3. 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.

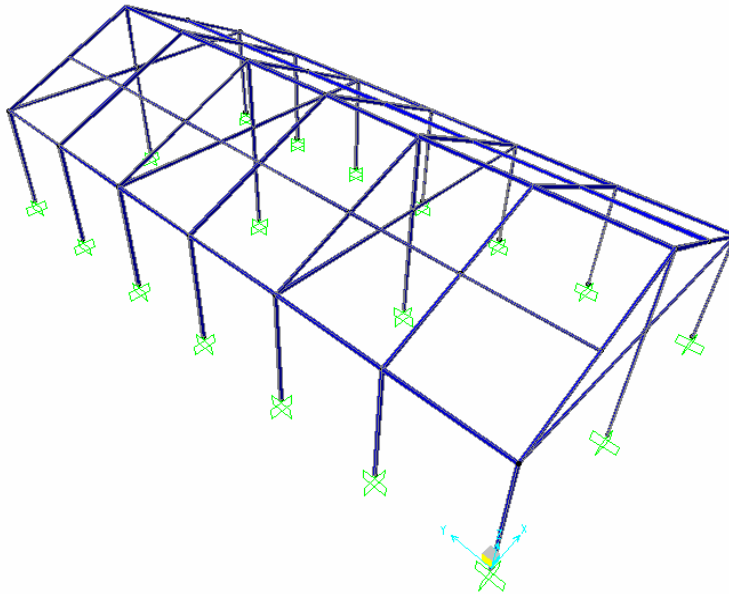
Gölgelemeyi azaltmak için çatı elemanlarında azaltılma yoluna gidilmiş ve sera dış kısımlarına montaj kolaylığı dikkate alınarak ilave kolonlar konulmuştur. CTP Seranın, üzerine gelen statik ve dinamik yükler SAP2000 programından Tablo 4.2’de verilen her bir profil için ayrı ayrı tahkikleri yapılarak sonuçlar deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece sera modellemesinde kullanılacak kutu profil ebatlarının kullanımı araştırılmıştır.

4.3.1. 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 4.3’te, perspektif görünüşü ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.3. 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 4.1. Alternatif tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü

Yapılan tahkik sonuçları Tablo 4.4'te özetlenmiştir. Tablo 4.4'te görüldüğü gibi profil çeşitlerinden sadece 35x30x3,5 mm ebadındaki profilin, üzerinde oluşan basma çekme gerilmesi (-63,722), deneylerle belirlenen basma – çekme gerilmesinden (54,570) büyük olduğundan dolayı bu modelde kullanılmayacağı anlaşılmıştır. Diğer profillerin ise üzerlerinde oluşan gerilmeleri karşıladığı görülmektedir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

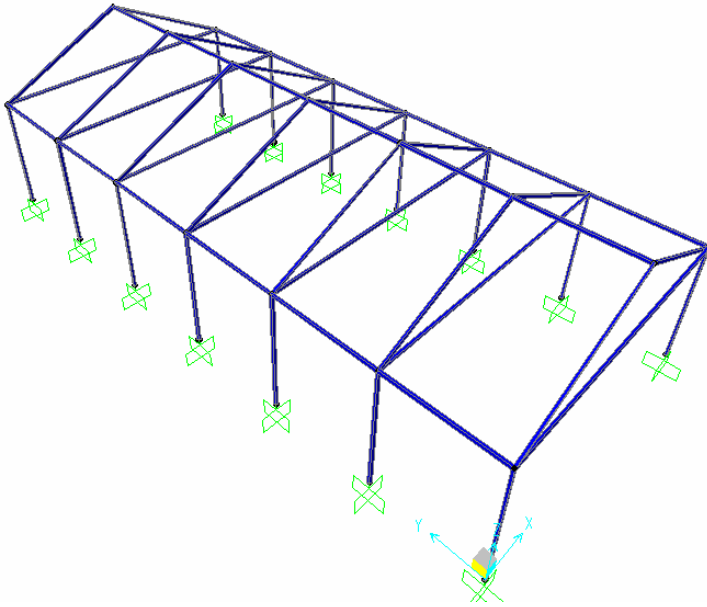
Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm ²	Kayma Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm ²	Eğilme Gerilmesi kN/cm ²
35x30x3,5	-63,722	54,570	-1,136	8,153	-53,366	56,06
40x30x3,5	-49,439	54,570	-0,995	8,153	-47,533	56,06
40x35x3,5	-43,931	54,570	-0,980	8,153	-37,983	56,06
40x40x3,5	-39,445	54,570	-0,968	8,153	-31,294	56,06
50x30x3,5	-32,739	54,570	-0,801	8,153	-39,006	56,06
50x35x3,5	-29,277	54,570	-0,788	8,153	-31,360	56,06
50x40x3,5	-26,422	54,570	-0,778	8,153	-25,987	56,06
60x30x3,5	-23,448	54,570	-0,673	8,153	-33,072	56,06
60x35x3,5	-21,182	54,570	-0,662	8,153	-26,703	56,06
60x40x3,5	-19,202	54,570	-0,652	8,153	-22,219	56,06
70x30x3,5	-17,726	54,570	-0,582	8,153	-28,706	56,06
70x35x3,5	-16,115	54,570	-0,572	8,153	-23,251	56,06
70x40x3,5	-14,767	54,570	-0,564	8,153	-19,405	56,06

4.3.2. 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 4.5'te ve perspektif görünüşü Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.5. 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 4.2. İç kolon ve orta aşıklar kaldırılarak tasarlanan CTP sera modeli

Yapılan tahkik sonuçları Tablo 4.6’da 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 (54,570) büyük olduğundan dolayı bu modelde kullanılamayacağı anlaşılmıştır (Tablo 4.6). Sera elemanları üzerine gelen gerilmelerin bir önceki modele göre (Bkz. Tablo 4.4) azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.6. Tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

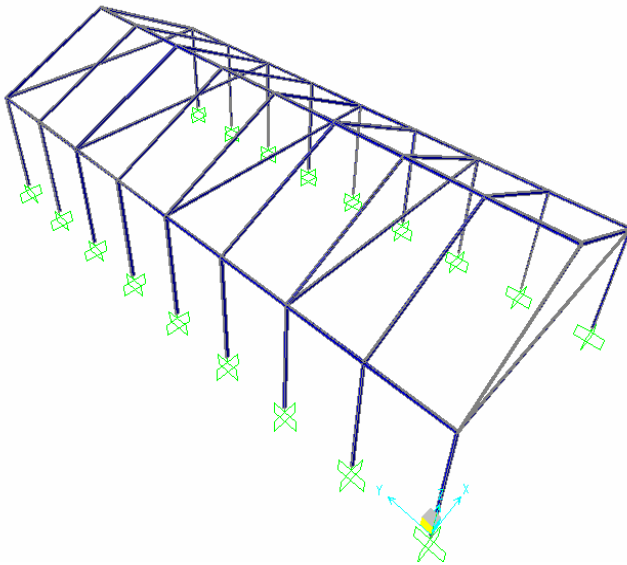
Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm ²	Kayma Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm ²	Eğilme Gerilmesi kN/cm ²
35x30x3,5	-61,643	54,570	0,920	8,153	39,417	56,06
40x30x3,5	-49,795	54,570	0,806	8,153	32,190	56,06
40x35x3,5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

4.3.3. 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 elamanı üzerine montaj kolaylığı amaçlanmıştır. Bu değişiklikler neticesinde statik ve dinamik yükler altında tasarlanan CTP seranın tahkikleri yapılmıştır. Tasarlanan CTP seranın özellikleri Tablo 4.7'de ve perspektif görünüşü Şekil 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.7. 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 4.3. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tasarlanan CTP sera modeli

Tahkik sonuçları Tablo 4.8’de özetlenmiştir. Yapılan tahkiklerde sadece 35x30x3,5 mm ebadındaki profilin, üzerinde oluşan basma çekme gerilmesi (-59,362), deneylerle belirlenen basma-çekme gerilmesinden (54,570) büyük olduğundan dolayı bu modelde kullanılamayacağı anlaşılmıştır (Tablo 4.8). Sera elemanları üzerine gelen gerilmelerin bir önceki modele göre (Bkz.Tablo 4.6) azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.8. Kolon aralıkları ve gergi kirişi azaltılmasına yönelik tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

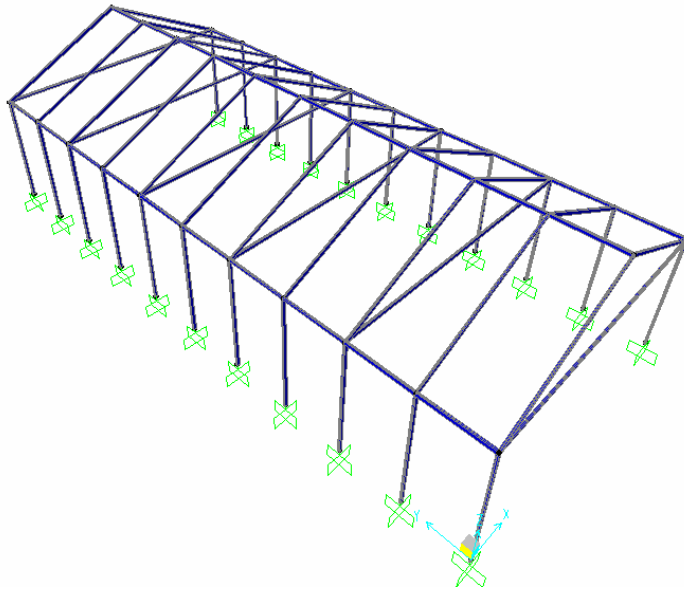
Profil Ebatları mm	Oluşan Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Basma-Çekme Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Kesme Gerilmesi kN/cm ²	Kayma Gerilmesi kN/cm ²	Oluşan Eğilme Gerilmesi kN/cm ²	Eğilme Gerilmesi kN/cm ²
35x30x3,5	-59,362	54,570	-0,864	8,153	-28,522	56,06
40x30x3,5	-47,902	54,570	-0,757	8,153	-25,405	56,06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

4.3.4. Kaplama montaj kolaylığı için kolon aralıklarının azaltılması

Bu çalışmada alternatif seranın profil üzerine montaj kolaylığı ve kaplamanın üzerine gelecek yükleri güvenli bir şekilde sera elamanlarına aktarımı düşünülerek kolon aralıkları 1,2 m'ye, sera genişliği ise 5,5 m'ye düşürülmüştür. Tasarlanan CTP seranın özellikleri Tablo 4.9'da ve perspektif görünüşü Şekil 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.9. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan sera modelinin özellikleri

Sera Tipi	Çatılı, Blok Sera
Sera Yapı Elemanı	CTP Profil
Sera Genişliği	5,5 m
Sera Uzunluğu	12 m
Sera Dış Kolonlar Arası Mesafe	1,2 m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	27°
Sera Mahya Yüksekliği	3,80 m
Sera Makas Aralığı	2,4 m
Sera Mertek Aralığı	2,4 m
Sera Gergi Kirişi Aralığı	2,4 m



Şekil 4.4. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan CTP sera modelinin perspektif görünüşü

Bu değişikler neticesinde tasarlanan seranın tahkikleri Tablo 4.10'da özetlenmiştir. Yapılan tahkikler sonucunda profil çeşitlerinin tamamının deneylerle belirlenen sınır değerlerini karşıladığı tespit edilmiştir.

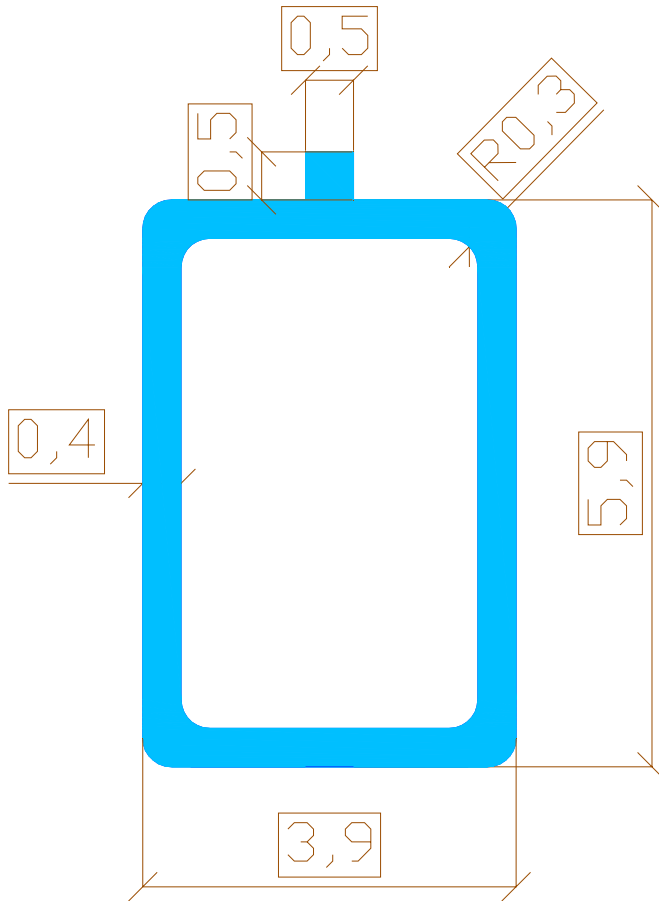
Tablo 4.10. Kolon aralıkları azaltılarak tasarlanan tahkik sonuçlarının deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılması

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.

4.4. CTP Sera Uygulama Projesi

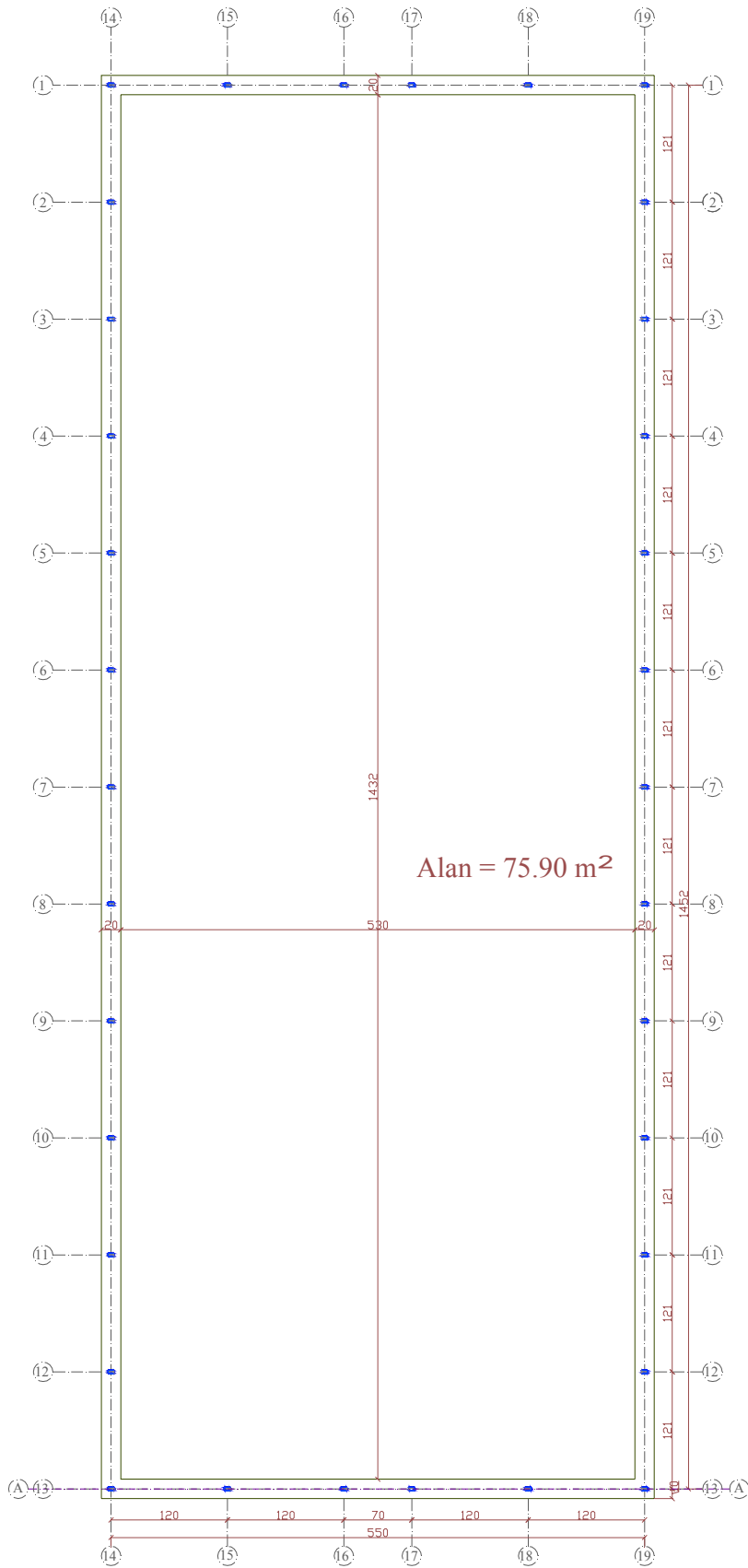
Yapılan model çalışmaları neticesinde arazide uygulanabilir bir model olarak ortaya konulan sera özellikleri uygulama kolaylığı, montaj kolaylığı ve birleştirme detayları dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiştir. Birleştirme elamanlarının oluşturulması için piyasada mevcut çelik kutu profiller dikkate alınarak (50x30 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 4.5) ve nümerik tahkikleri yapılmıştır. Arazide uygulanacak sera modeline ait özellikler Tablo 4.11'de, plan kesit ve perspektif görünüşleri Şekil 4.6-4.8'de verilmiştir.



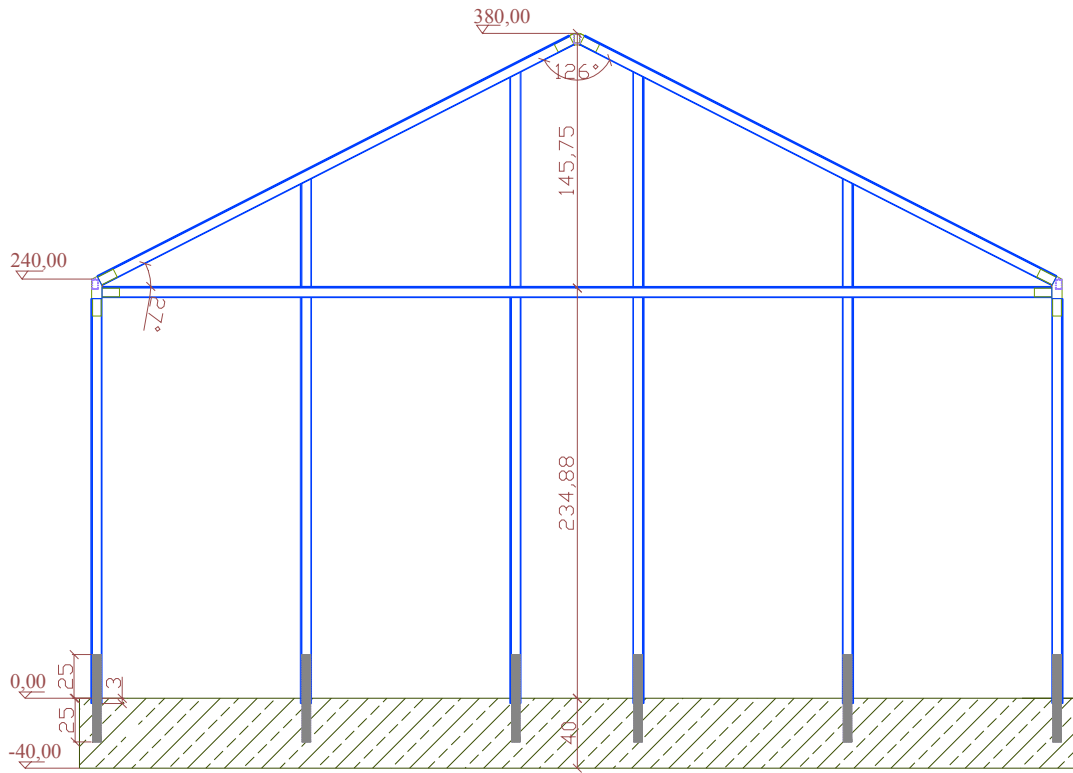
Şekil 4.5. Uygulamada kullanılacak CTP profil şekli ve ebatları

Tablo 4.11. CTP sera projesinin özellikleri

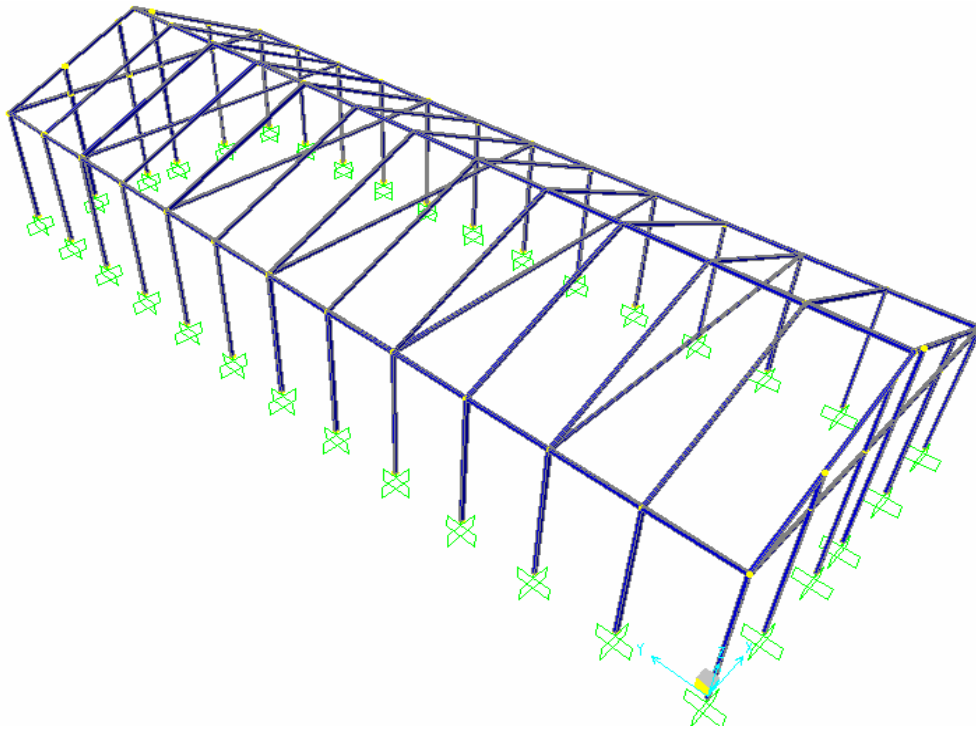
Sera Tipi	Çatılı, Blok Sera
Sera Yapı Elemanı	CTP Profil
Profil Ebadı	59x39x4 mm
Sera Genişliği	5,50 m
Sera Uzunluğu	14,52 m
Sera dış kolonlar arası mesafe	1,21 m
Sera Yan Duvar Yüksekliği	2,40 m
Sera Çatı Eğim Açısı	27°
Sera Mahya Yüksekliği	3,80 m
Sera Kullanım Alanı	75,90 m ²
Sera modelindeki kolon 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 4.6. CTP Sera Planı



Şekil 4.7. CTP Sera A-A Kesiti



Şekil 4.8. CTP sera modeli perspektif görünüşü

4.4.1. Model sera analizi

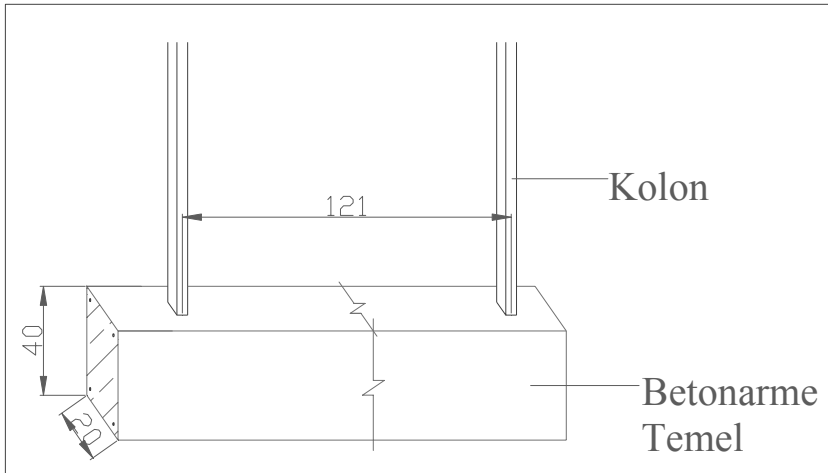
Alternatif CTP sera modelinde SAP2000 programından oluşturulan kombinasyonlara göre elamanlar üzerine gelen maksimum yükler alınmış ve sera elamanlarının tahkikleri yapılmıştır. Sera elamanlarının tahkik sonuçları Tablo 4.12’de sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yeni modeldeki elemanlar sınır değerleri ile karşılaştırıldığında alternatif sera modelindeki sera elemanlarının sınır değerleri içerisindeki bölgede kaldığı görülmektedir.

Tablo 4.12. 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		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

4.4.2. Model sera temel hesabı

Temellerin projelendirilmesinde, temele gelen yükü ağırlığı toplamının birim alana verdiği yükün toprağın zemin emniyet gerilmesinden ($\sigma_{em}=1,5$ kg/cm²) küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde temelde oturmalar meydana gelir ve seranın yapısı bozulabilir. Hesaplama kullanılan temel boyutları Şekil 4.9’da gösterilmiştir [16].



Şekil 4.9. Hesaplama için kullanılacak temel boyutları

4.4.2.1. Zemin taşıma gücü tahkiki

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

Betonarme özgül ağırlığı = 24,465 kN/m³

Betonarme hacmi = 1,21x0,20x0,40 = 0,097 m³

Betonarme toplam ağırlığı = 24,465 kN/m³ × 0,097 m³ = 2,373 kN

Zemine iletilen toplam yük = 4 + 2,373 = 6,373 kN

Temel alanı = 1,21x0,20=0,242 m²

$\sigma_{em} = 152,905 \text{ kN/m}^2$

$\sigma = \frac{6,373}{0,242} = 26,335 < \sigma_{em} = 152,905 \text{ kN/m}^2$ olduğundan zeminin taşıma gücü

emniyetli çıkmıştır.

4.4.2.2. 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 4.13'te özetlenmiştir.

Tablo 4.13. CTP Profil Miktarlarına ait bilgiler

	Adet	Uzunluk (cm)	Top. Uzunluk (cm)	Kesit Alanı (cm ²)	Ağırlık (kN)
Kolon	34	233	7922	7,45	1,03
Aşık ve mahya	36	117	4212	7,45	0,55
Mertek	26	303	7878	7,45	1,02
Gergi Kirişi	7	544	3808	7,45	0,49
İlave (sera ön ve arka makas dikmeleri)	1	720	720	7,45	0,09
Toplam			24540		3,18

2. CTP kaplama ağırlığı

CTP Sera projesinde sera örtüsü olarak kullanılan CTP kaplama malzemesine ait bilgiler Tablo 4.14'te özetlenmiştir.

Tablo 4.14. CTP kaplama malzemesine ait bilgiler

	Adet	Genişlik (cm)	Uzunluk (cm)	Kalınlık (cm)	Ağırlık (kN)
Yan Yüzeyler	26	120	240	0,2	2,60
Çatı Örtüsü	26	120	312	0,2	3,39
Ön ve Arka Yüzeyler	12	120	232	0,2	1,16
Toplam					7,15

3. Çelik birleştirme elamanı ağırlığı

CTP sera projesinde kullanılan Çelik birleştirme elamanlarının her birinin ağırlığı tartılmış ve Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15. 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 ağırlığı hesabı

$$\text{Betonarme hatıl ağırlığı} = (14,72 \times 2 + 5,1 \times 2) \times 0,20 \times 0,40 \times 24,465 = 77,58 \text{ kN}$$

5. Seranın toplam ağırlığı (W)

$$\text{Toplam CTP profil ağırlığı} = 3,18 \text{ kN}$$

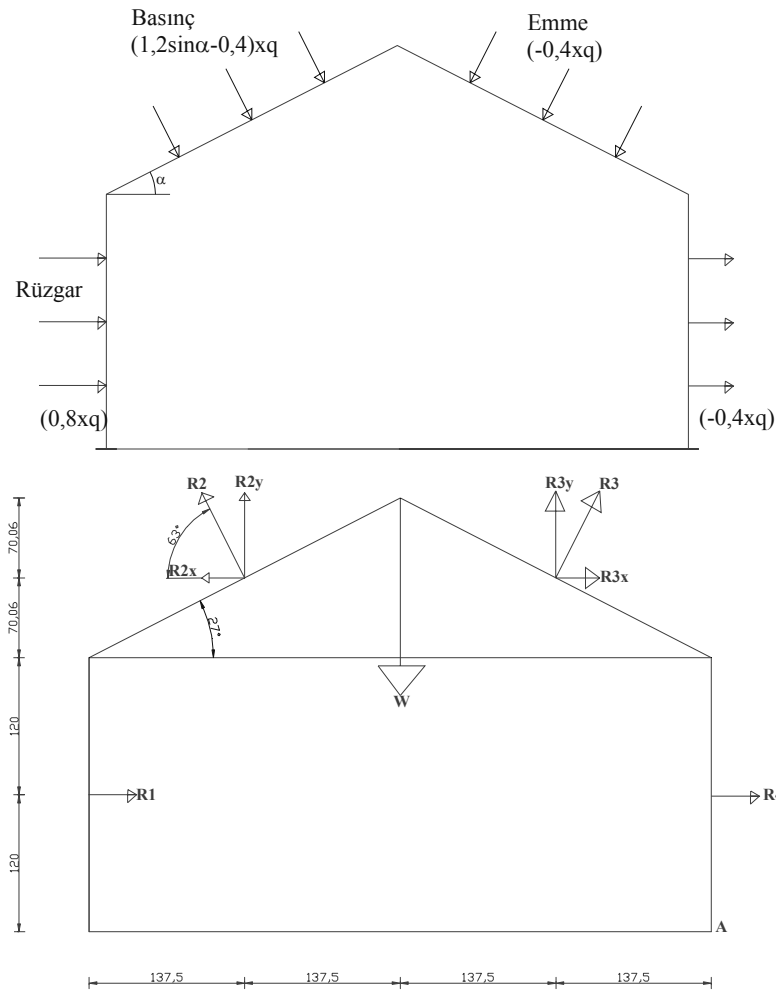
$$\text{Toplam Kaplama Ağırlığı} = 7,15 \text{ kN}$$

$$\text{Toplam birleştirme elaman ağırlığı} = 1,10 \text{ kN}$$

$$\text{Toplam betonarme ağırlığı} = 77,58$$

$$W = 3,18 + 7,15 + 1,10 + 77,58 = 89,01 \text{ kN}$$

Devrilme tahkiki için kuvvetler ve kuvvetlerin uygulanma noktaları Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu kuvvetlerin momentleri A noktasına göre alınmıştır.



Şekil 4.10. Devrilme tahkiki için kuvvetler ve kuvvetlerin uygulanma noktaları[16].

Serayı devirmeye zorlayacak kuvvet rüzgar yükü ve bunun oluşturacağı dinamik momenttir. Devrilmenin olmaması için sera ağırlığının A noktasına göre oluşturduğu momentin serayı devirmeye çalışan rüzgar yükünün oluşturduğu momente oranı ($\sum Ms / \sum Md > 1,5$)'ten büyük olmalıdır [16].

A. Seranın devrilmesine etki eden kuvvetler;

1. Kolonlara Gelen Rüzgar Yükü

$$W_{bas} = 0,8 \times q \quad (4.1)$$

Burada W_{bas} serada basmaya çalışan rüzgar yükünü ve q ise birim rüzgar yükünü ifade etmektedir.

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

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

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

2. Çatı gelen rüzgar yükü

Çatı yüzeyinde basmaya çalışan rüzgar yükü $R2$ ile gösterilmiştir. Çatıda m^2 'ye gelen rüzgar yükü temel formüllerle hesaplanmış ve çatı yüzey alanıyla çarpılarak çatıya etki eden rüzgar yükü bulunmuştur. Hesaplanan $R2$ yükü hesap kolaylığı için X ve Y bileşenlerine ayrılarak $R2x$ ve $R2y$ olarak gösterilmiştir.

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

$$\alpha = 27^\circ$$

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

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

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

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

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

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

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

Çatı yüzeyinde çekmeye çalışan rüzgar yükü $R3$ ile gösterilmiştir. Çatıda m^2 'ye gelen rüzgar yükü temel formüllerle hesaplanmış ve çatı yüzey alanıyla çarpılarak çatıya etki eden rüzgar bulunmuştur. Hesaplanan $R3$ yükü hesap kolaylığı için X ve Y bileşenlerine ayrılarak $R3x$ ve $R3y$ olarak gösterilmiştir.

$$W_{\text{çek.}} = -0,4 \times q \quad (4.2)$$

Burada $W_{\text{çek}}$ serada çekmeye çalışan rüzgar yükünü ve q ise birim rüzgar yükünü ifade etmektedir.

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

$$W_{\text{çek.}} = -0,16 \text{ kN / m}^2$$

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

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

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

Kolonlarda çekmeye çalışan rüzgar yükü

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

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

Serayı devirmeye çalışan ve serayı devirmeye karşı koyan kuvvetler temel formülde (3) yerine konularak seranın devrilmeye karşı tahkiki yapılmıştır.

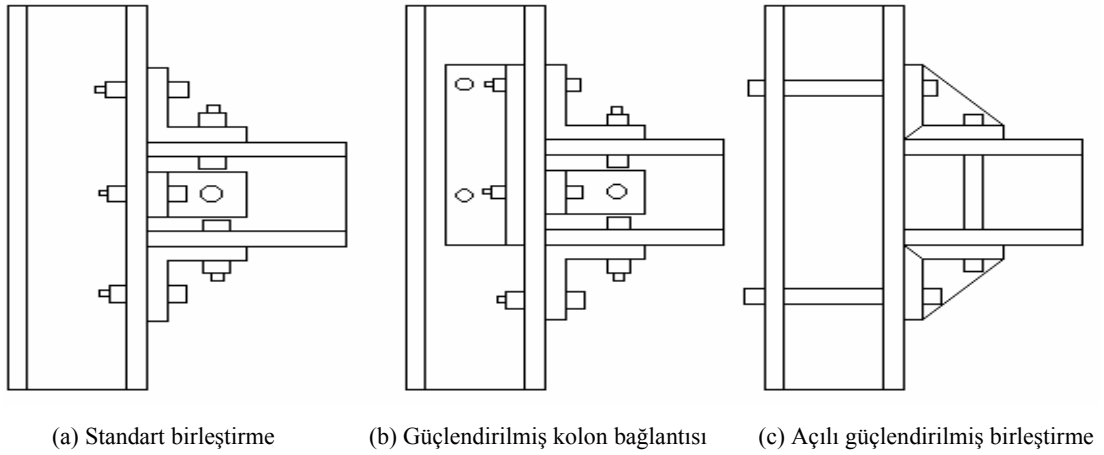
$$\sum Ms / \sum Md > 1,5 \quad (4.3)$$

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

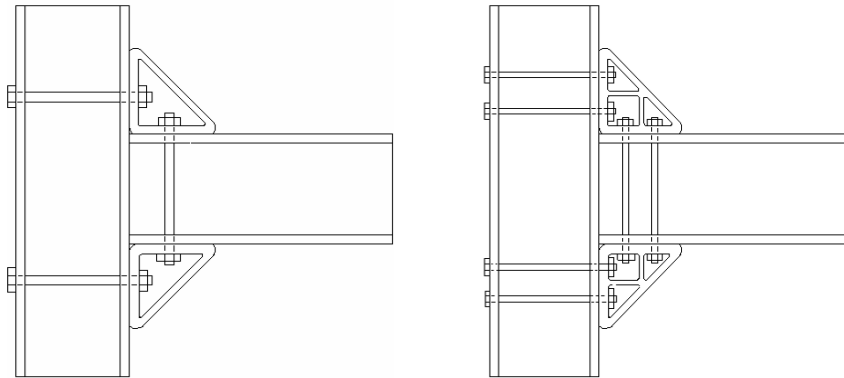
$$\sum Ms / \sum Md = (89,01) \times (2,75) / ((11,151) \times (1,200) + (-1,178) \times (3,101) + (2,312) \times (4,125) + (3,248) \times (3,101) + (6,375) \times (1,375) + (7,155) \times (1,200)) = 5,243 > 1,5 \text{ olduğundan sera devrilmeye karşı emniyetli çıkmıştır.}$$

4.5. CTP Birleştirme Detay Çalışmaları

Pultruzyon metodu ile başarılı bir şekilde üretilebilen 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 çeliktakilere benzer şekilde vidalı olarak yapılmış (Şekil 4.11) ve birçok uygulamada vidalı birleştirmeler kullanılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.11. CTP birleştirme detay gelişimleri [17]



Şekil 4.12. Paketlenmiş şekilde tasarlanmış birleştirme detayları [17]

Ancak araştırmacılar eliktakilere benzer birleştirme detaylarının CTP için uygun olmadığı kanısına vararak birleştirme elemanları üzerinde birtakım detay çalışmalar yapmışlardır (şekil 4.13). Yapılan alışmalar neticesinde vidalı birleştirmeler esnasında CTP elemanlarda açılan vida delikleri nedeni ile kesit azalması ve kayma düzleminin azlığından dolayı vidalı ve yapıştırıcı birleştirmeler önerilmiştir. Bu sayede birleştirmede kullanılan yapıştırıcının kuvvetli bir şekilde kayma direnci sağladığı, kullanılan vidalarınsa yapıştırıcı kuruyana kadar taşıma görevi yaptığı belirtilmiştir.



şekil 4.13. CTP birleştirme detay uygulamaları

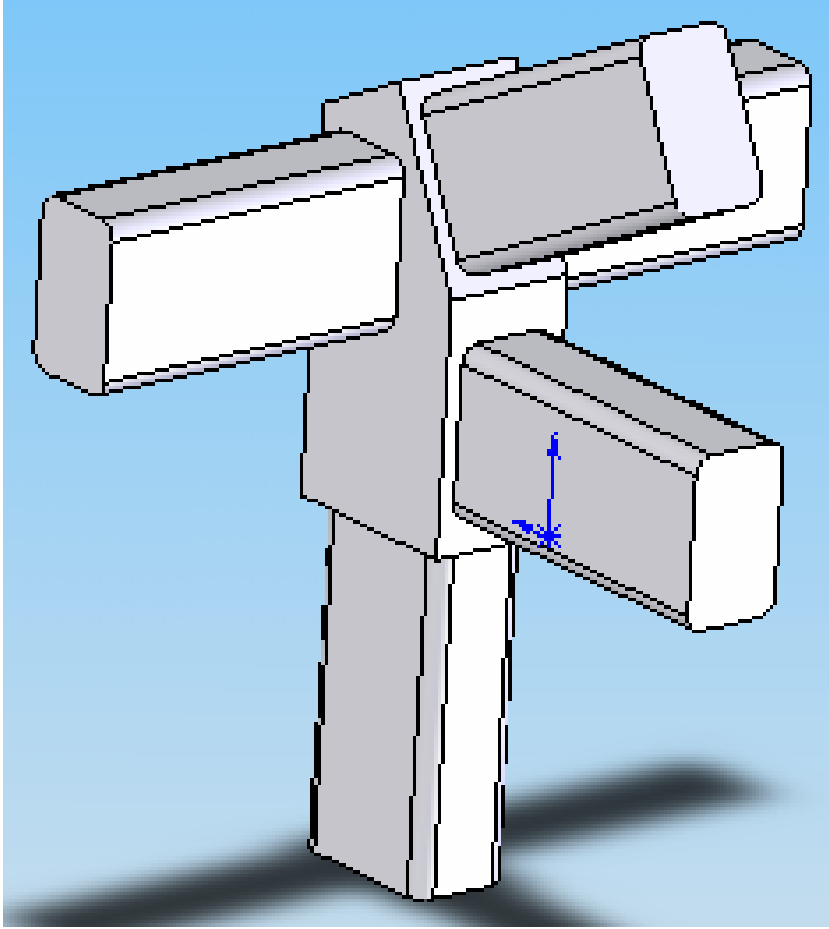
Özellikle kutu profillerde yapıştırırmalı birleştirmenin geçmeli birleştirme (Şekil 4.14) ile birlikte kullanmanın kayma yüzeylerinin artacağı ve sıyrılmaları engelleyeceği belirtilmiştir [18].



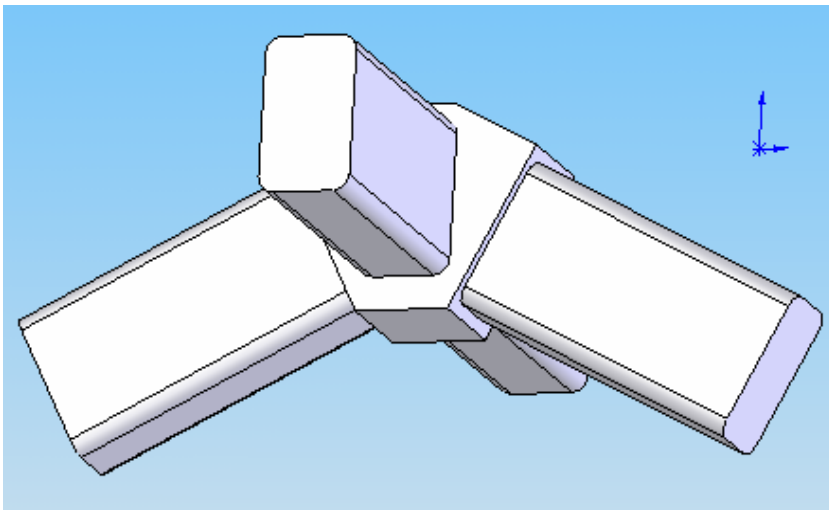
Şekil 4.14. Yapıştırırmalı-geçmeli birleştirmelerde kullanılan CTP birleştirme elemanı [18]

4.5.1. Sera birleştirme elamanlarının CTP ile tasarımı

Alternatif sera modeli için belirlenen 60x40x3,5 mm CTP kutu profili için yapıştırırmalı geçmeli birleştirme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.15). Sera birleştirme bölgelerinin dolu kesitli CTP olmasının seri üretime uygun olacağı ve malzeme özelliklerinin benzer olacağı düşünölmüştür. 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 üretilemeyeceği 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 4.15. CTP kutu profili için yapıştırırmalı geçmeli CTP birleştirme modeli çalışmaları

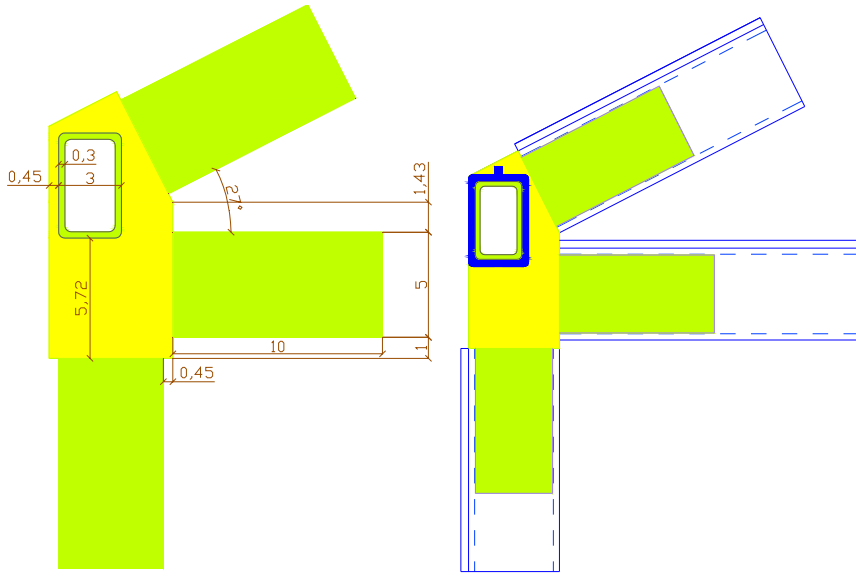
4.5.2. Sera birleştirme elamanlarının çelik profillerle tasarımı

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 4.16’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 4.16). 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 4.17). Bu tasarımla, CTP profillerin istenen ölçülerde kesim ve uygulama kolaylığı sağlanmıştır. Tasarlanan sera birleştirme detayları Şekil 4.17, 4.19’da birleştirme elamanları Şekil 4.18, 4.20’de, temel birleştirme detayı Şekil 4.21’de temel birleştirmesi elemanı Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



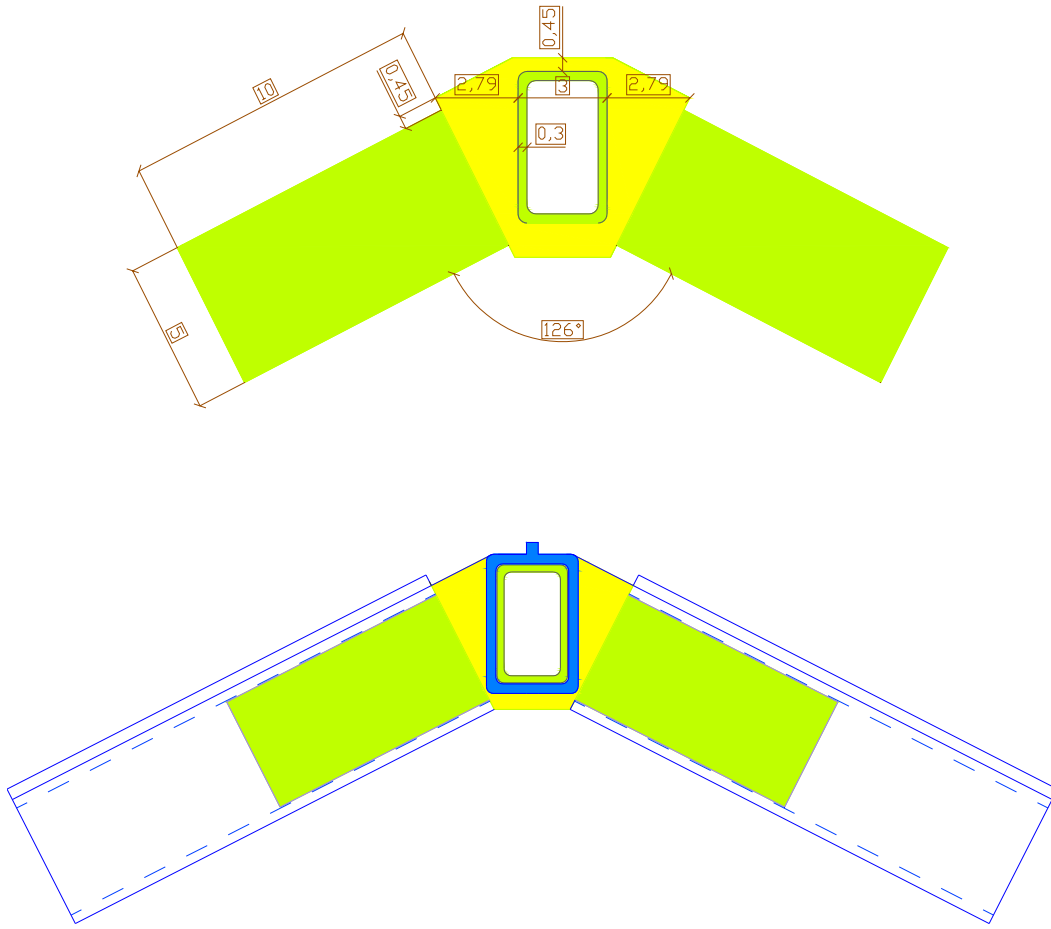
Şekil 4.16. Kutu profile uygun çelik bağlantı elemanı ve birleştirmesi



Şekil 4.17. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme detay dizaynı



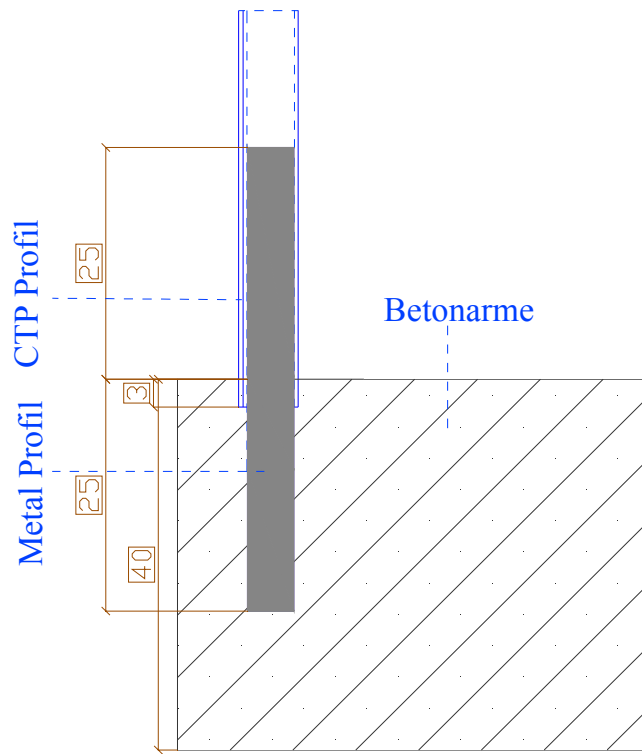
Şekil 4.18. Sera CTP profillerle kolon-çatı birleştirme elemanı



Şekil 4.19. Sera CTP profillerle çatı birleştirme detay dizaynı



Şekil 4.20. Sera CTP profillerle çatı birleştirme elemanı



Şekil 4.21. CTP sera kolon-temel birleşirme detayı



Şekil 4.22. CTP sera kolon-temel birleşirme

BÖLÜM 5. CTP SERA UYGULAMASI

5.1. 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 inşaatı için Sakarya İli, Pamukova İlçesi'nde 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. Samanlı dağlarının güney eteklerinde Sakarya Nehrinin aktığı geniş Pamukova Ovasının kuzey kıyısında 79 rakımda kurulmuştur. Pamukova ilçesinin yüzölçümü 432 km² dir. 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. Yıllık yağış miktarı en yüksek 111,9, en düşük 40,1 ortalama ise 55,4 m³/kg'dır. İlçe merkezinde kar ile örtülü günlerin sayısı ortalama 20 gündür.

İlçenin toplam tarım alanı 1,088 Hektar olup 5210 Hektar alanda sulu tarım yapılmaktadır. Tarımsal işletmeler küçük aile işletmeciliği şeklinde olup, arazi çok parçalıdır. Yağışlar mevsimlere göre dengeli dağılmadığından 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. İlçe köylerinde 79 dekarlık alanda seracılık yapılmakta olup, 246 adet sera mevcuttur. Genellikle seralarda salatalık ve marul üretimi yapılmaktadır[19].

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

5.2. Temel İnşaatı

5.2.1. 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 5.1). Sera temelini oluşturmak ve temel inşaatı sonrasında içerisinde verimli tarım toprağı ile doldurmak üzere 0,40 m derinlikte 6x15 m genişliğinde alan boşaltılarak sera temel inşaatına uygun hale getirilmiştir.



Şekil 5.1. SAÜ Pamukova Meslek Yüksek Okulu bahçesi sera temel kazısı

5.2.2. Temel kalıbının hazırlanması

Temel kazısı yapılan sera inşaatı alanı içerisine 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 5.2).



Şekil 5.2. Sera temel kalıbı hazırlanması ve demir donatının bağlanması

5.2.3. Birleştirme profillerinin temel donatısına ankraji

Kalıba yerleştirilen donatılar sabitlendikten sonra sera kolonlarının zemine ankraji için 50x30x3 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 5.3-5.4).



Şekil 5.3. Çelik kutu profillerin temele ankraji



Şekil 5.4. Çelik kutu profillerin donatıya ankraji

5.2.4. Temel betonunun dökümü

Temel inşaatında bölgede faaliyet gösteren beton firmalarından temin edilen C20 sınıfı beton kullanılarak temel betonu dökülmüştür (Şekil 5.5). Beton dökümü sırasında betonun sıkıştırılması ve yüzey tesviyesi yapılarak, çelik kutu profillerin düzgünlüğü kontrol edilmiştir (Şekil 5.6). Beton gerekli dayanımı sağladıktan sonra sera temel kalıbı sökülüştür (Şekil 5.7)



Şekil 5.5. Sera temel betonun dökümü



Şekil 5.6. Sera temel sıkıştırılması ve tesviye edilmesi



Şekil 5.7. Kalıbı sökülmüş temel betonu

5.3. 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 5.1’de belirtildiği gibi projeye uygun olarak hazırlanmıştır. CTP profiller ile çelik birleştirme elemanlarının yapıştırılması için elemanların geçme yüzeylerine çift bileşenli epoksi reçine (ARALDITE AW 106 TU – HARDENER HV 953 U) kullanılmıştır (Şekil 5.8). Kuruma esnasında ortaya çıkacak 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 5.1. 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 5.8. Birleştirmede kullanılan çift karışımli reçine

5.3.1. 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 5.9 – 5.10).



Şekil 5.9. CTP profillerin kolon-çatı birleştirme elemanlarına montajı



Şekil 5.10. CTP profillerin mahya birleştirme elemanlarına montajı

5.3.2.CTP kolonların temele montajı

CTP profillerin montajını kolaylaştırmak için temel ankrajı yapılmış olan 50x30x3 mm ebadındaki çelik kutu profil yüzeyleri temizlenmiş, CTP profillerin uçlarında parçalanma olmaması için de çelik profil kenarlarındaki beton 3 cm derinlikte açılmıştır. Çelik profil yüzeylerine çift bileşenli epoksi reçine sürülmüştür (Şekil 5.11). Daha sonra hazırlanan CTP kolonların temelde yer alan metal profillere montajı yapılmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.11. Çelik profil yüzeylerine çift karışimli epoksi reçine sürülmesi



Şekil 5.12. Kolonların temele montajının yapılması

5.3.3. CTP sera makaslarının montajı

CTP profiller ile çelik birleştirme elemanlarının yapıştırma işlemi yapıldıktan sonra 4 ve 6 kolonlu çerçeveler oluşturulmuştur (Şekil 5.13). Hazırlanan çerçeve sistemler taşınarak temele yerleştirilmiştir. CTP seranın yapım aşamaları Şekil 5.14-5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. CTP seranın çerçeve sistemlerinin oluşturulması



Şekil 5.14. CTP çerçeve sistemlerin taşınması ve kolonların temele montajı



Şekil 5.15. CTP sistemlerinin taşınması ve kolonların temele montajı



Şekil 5.16. Çerçeve aralarında kalan damlalık aşığı ve mahyaların montajı



Şekil 5.17. Taşıyıcı kısmı tamamlanmış seranın yan görünüşü



Şekil 5.18. 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. Ayrıca uygulanan seranın inşasının basit ve küçük aletler ile montajının yapılabilirliği ortaya çıkmıştır.

5.4. Model Sera Maliyet Analizi

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 5.2’de 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 5.2). 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, uzun ömürlü 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 5.2 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

5.5. 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.(ultraviolet) 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.

5.6. Model Sera Havalandırma Sistemi

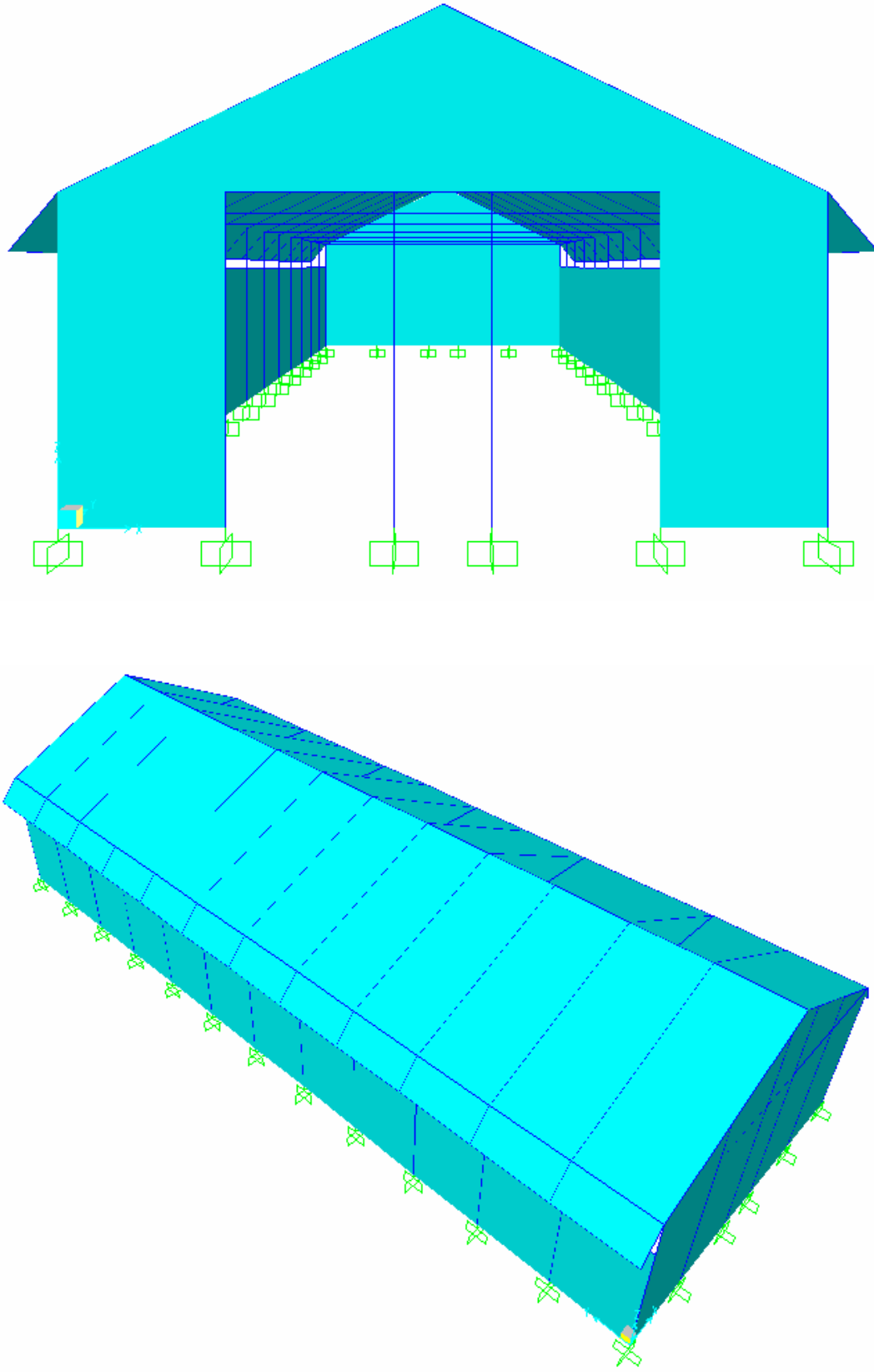
Seracılıkta havalandırma; seranın iç havasıyla dışarıdaki havasının değiştirilmesi işlemidir. Seraların havalandırılması yazın daha fazla kışın ise az olarak şu amaçlar için yapılır:

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 olması gerekmekte ve bu açıklıklar çevre koşullarına göre ayarlanabilmektedir. Bu oranlar soğuk yörelerde kurulması istenen seralarda % 10 - 12 oranlarında olması önerilmektedir [16].

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 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Sera CTP kaplama ve havalandırma sisteminin perspektif görünüşleri

BÖLÜM 6. 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, uzun ömürlü sağlam ve hızlı yapım olanağı bulunan malzemelerden biri olan pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerin alternatif bir çözüm olma durumu incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında; ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotlarıyla belirlenen mekanik özellikler kullanılarak sera sistemleri bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu ile modellenmiş ve statik ve dinamik yükler altındaki davranışı incelenmiştir. 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 gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. CTP malzemesinin belirlenen özellikleri kullanılarak bilgisayar ortamında (SAP2000) sera modellemesi gerçekleştirilmiştir. Modellemede öncelikle mevcut seraların büyük bir kısmı çelik profiller kullanılarak yapıldığı için, bilgisayar ortamında aynı model üzerinde Çelik ve CTP malzemeleri kullanılmıştır. CTP ve Çelik kullanılarak çalışılan model seranın yapılan tahkikler sonucunda taşıyıcı elamanları güvenli çıkmıştır.
2. Model serada tespit edilen eleman tahkiklerindeki güvenli durum dikkate alınarak bitki açısından gölgelemeyi azaltmak ve uygulanabilir bir sera modeli ortaya

koymak 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 seranın statik ve dinamik yükler altında her bir profilin tahkikleri ayrı ayrı yapılarak, sonuçlar deneylerle belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece sera modellemesinde kullanılacak kutu profil ebatlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır.

3. 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 bu sahada üretim yapan 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 (50x30 mm) sera uygulamasında kullanılacak CTP profil ebatlarının 59x39x4 mm olması kararlaştırılmış ve nümerik tahkikleri yapılmıştır.
4. 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.
5. 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.

6. 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.
7. 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.
8. 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, uzun ömürlü olması, kolay montaj ve düşük işçilik avantajı, yüksek fayda/maliyet oranı sayesinde kalıcı seracılıkta kullanılması seracılık açısından önemli avantaj sağlayacağı ve daha ekonomik olacağı ortaya çıkmıştır.
9. Model seraya ait taşıyıcı sistemlerin kurulması işlemleri tamamlanmış, kaplama ve havalandırma sistemleri modellenerek uygulamaya hazır hale getirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] HOLMES, M. and JUST, D.J., GRP in Structural Engineering, Applied Science Publishers Ltd., New York, 1983
- [2] ERKAN, M., Çelik Yapılar Ders Notları, Düzce, 2000
- [3] www.turkcadcaml.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html (02.05.2007)
- [4] ŞAHİN, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000
- [5] 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
- [6] ERSOY, H.Y., Kompozit Malzemeler, Literatür Yayın Evi, 2001
- [7] YÜCEL, M., Plastik ve Plastik Esaslı Kompozitlerin İnşaat Sektöründe Kullanımı, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya, 2004
- [8] www.sisecam.com (05.05.2007)
- [9] www.strongwell.com (05.05.2007)
- [10] www.pultrusiondynamics.com (05.05.2007)
- [11] MALLICK, P.K., Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker, New York, 1997 (10-11)
- [12] EUROCOMP, Structural Design of Polymer Composites - EUROCOMP Design Code and Handbook, Edited by Clarke, J. L., Chapman and Hall, London, 1996 (10-11)
- [13] www.fiberline.com (05.05.2007)
- [14] CUMHUR, A., Pultruzyon Metodu İle Üretilmiş CTP Profillerle Sera Modellemesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2007
- [15] JAVED M. A., Stability Analysis of G.R.P. Box Sections, PHD Thesis, University of Newcastle, 2003

- [16] YÜKSEL, N. A. Sera Yapım Tekniği, 2004.
- [17] 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.
- [18] SARIBIYIK, M. “Analysis of a Bonded Connector for Pultruded G.R.P. Structural Elements”, Ph.D. Thesis, University of Newcastle, U.K., 2000.
- [19] www.sakarya.gov.tr/yeni/pamukova.htm

ÖZGEÇMİŞ

Ali SARIBIYIK, 12.01.1982 Tarihinde Kahramanmaraş'ın Andırın İlçesi'nde doğdu. İlkokulu Kahramanmaraş'ta tamamladıktan sonra ortaokul ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü'nden fakülte birincisi olarak mezun oldu. 2006 yılında Sakarya üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi'nde yürütülmekte olan "Sera Tasarımında Pultruzyon Metoduyla Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastiklerin Kullanılması" başlıklı Tübitak projesinde yardımcı personel olarak görev aldı. Halen Fen Bilimleri enstitüsü, Yapı Eğitim Anabilim Dalı'nda öğrenimini devam ettirmektedir.