



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI**

**GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANILAN ETFE
ÖRTÜ SİSTEMLERİ VE UYGULAMA
ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN İSMAİL VAROL

İSTANBUL, 2021



FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI

**GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANILAN ETFE
ÖRTÜ SİSTEMLERİ VE UYGULAMA
ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Oğuzhan İsmail VAROL
(180201012)**

**Danışman
(Dr. Öğr. Üyesi Uğur ÖZCAN)**

İSTANBUL, 2021

16/07/2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı'nda 180201012 numaralı Oğuzhan İsmail VAROL'un hazırladığı "Günümüz Mimarisinde Kullanılan Etfе Örtü Sistemleri ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi" konulu Mimarlık Tezli Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 16/07/2021 Cuma günü saat 15:00 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:... da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının
.....
şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Uğur ÖZCAN	16/ 07/2021	KABUL
Dr. Öğr. Üyesi Emine Merve OKUMUŞ	16/ 07/2021	KABUL
Dr. Öğr. Üyesi Jülide ERDİNÇ	16/ 07/2021	KABUL
(İkinci Danışman)/ .../20...
*/ .../20...

*2. Danışman varsa doldurulacak

BEYAN/ ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Oğuzhan İsmail VAROL

TEŐEKKÜR

Yüksek lisans dönemim boyunca bilgi, tecrübe, destek ve yardımlarını esirgemeyen, akademik gelişmeme katkıda bulunan değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Uğur ÖZCAN'a, süreç boyunca beni motive eden dostlarıma, sevgisini her daim hissettirerek bana yardımcı olan sevdiğime, verdikleri destek sayesinde hayatımın her anında yanımda olan kız kardeşlerime, can annem Fatıma VAROL ve babam İsa VAROL'a, kıymetli aileme teşekkürü borç bilirim.

Oğuzhan İsmail VAROL

Annem'e

GÜNÜMÜZ MİMARİSİNDE KULLANILAN ETFE ÖRTÜ SİSTEMLERİ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Oğuzhan İsmail VAROL

ÖZET

21.yy'da artan küresel enerji sorunu, yapılarda malzeme kullanımını ve çeşitliliğini yakından etkilemiştir. Dolayısıyla enerji korunumu, mimari yapılarda gelecek için oldukça önemli bir konuyu temsil etmektedir. Yapılardaki şeffaf veya geniş açıklıkların enerji korunumuna doğrudan etkisi olduğu düşünülmektedir. Yapı tasarımında doğru malzeme kullanımı, maliyet ve enerji korunumu gibi sürdürülebilirlik kavramları bakımından önemli faktörler olarak görülmektedir. Günümüzde geniş veya şeffaf açıklıkların geçilmesi için kullanılan çelik, cam gibi malzemeler yapıya fazladan yük oluştururken, kullanılan gereçlerden dolayı maliyeti yükseltmektedir. İnsanoğlu yakın tarihte, yapılarda kullandığı taş, çelik, cam gibi geleneksel kabul edilen malzemelere çeşit oluşturabilecek membran malzemeleri ve yeni strüktürleri keşfetmiştir. Membran germe sistemler, esnek, hafif ve dayanıklı yapılarıyla geleneksel malzemelere karşı alternatif oluşturduğu söylenebilmektedir.

Etilen Tetrafloroetilen (ETFE) olarak adlandırılan floropolimer bazlı membran malzemesinin, performansı, işlevi, olumlu ve olumsuz özelliklerinin incelenmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır. ETFE folyo ile yapılan şişirilebilen yastık sistemler, yüksek ışık geçirgenliği özelliği nedeniyle camla kıyaslanabilmektedirler. ETFE sistemler, yalıtım olarak Low E II termal özelliği metoduyla çalışmaktadırlar. ETFE, ısı ve ışık bakımından düşük maliyet sağladığı için yapıların giderlerini de bu yönde etkilemektedir. Kullanılan folyo sayısını ve özelliklerini değiştirerek ışık ve ısı ayarlamaları ve geçirime müdahaleler yapılabilmektedir. Hafif ve esnek olması

tasarım açısından mimaride bir çok olasılığa imkan sağlamaktadır. ETFE'nin yapılarda kullanılmasıyla yerini aldığı taşıyıcı yapı malzemelerinin eksilmesi, yapı maliyetinde iyileştirmelere sebep olmaktadır.

Çalışmada asma germe yapı sistemlerin analizi, germe sistemlerde kullanılan membran örtü sistemlerin tasarım ve malzeme özellikleri ele alınmaktadır. Membran örtü çeşidi olarak kullanılan ETFE'nin malzeme özellikleri, ETFE folyoların fiziki özellikleri ve performansı, mimaride kullanım alanları ve ETFE folyo ile yapılan şişirilebilen yastık sistem (Inflatable Pillow System, IPS) yöntemleri incelenmektedir. IPS sistemle yapılan yahut içerisinde barındıran uygulama örnekleri ele alınmaktadır. ETFE folyoları kullanılarak hava ile şişirilen yastık sistemler, yapının tamamını oluşturduğu gibi, yapının belirli kısımlarında da kullanıldığı uygulamalar mevcuttur. ETFE folyo şişirebilir yastık sistemlerin, yerini aldığı diğer malzemelerle birlikte, uygulama örneklerindeki çalışma şekli, karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tüm bu özelliklerle birlikte tekil yapılarda kullanımı güç olsa dahi kompleks yapılarda açıklık geçme ve şeffaf boşluklar için kullanılacak seçenek olarak düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler; **Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir Mimarlık, Asma germe, ETFE, Uzak Mimarisi**

INVESTIGATION OF ETFE COVERING SYSTEMS AND APPLICATION EXAMPLES USED IN TODAY ARCHITECTURE

Oğuzhan İsmail VAROL

ABSTRACT

The increasing global energy problem in the 21st century has closely affected the use and diversity of materials in buildings. Therefore, energy conservation represents a crucial issue for the future of architectural structures. It is thought that transparent or wide openings in buildings have a direct effect on energy conservation. The use of correct materials in building design is seen as important factors in terms of sustainability concepts such as cost and energy conservation. Today, materials such as steel and glass, which are used to pass wide or transparent openings, create an extra load on the structure, while increasing the cost due to the materials used. In recent history, human beings have discovered membrane materials and new structures that can create a variety of traditional materials such as stone, steel and glass used in buildings. Membrane tensioning systems can be said to be an alternative to traditional materials with their flexible, light and durable structures.

It becomes inevitable to examine the performance, function, positive and negative properties of the fluoropolymer-based membrane material called Ethylene Tetrafluoroethylene (ETFE). Inflatable cushion systems made with ETFE foil can be compared with glass due to their high light transmittance. ETFE systems work with Low E II thermal property method as insulation. Since ETFE provides low cost in terms of heat and light, it also affects the expenses of the buildings in this direction. By changing the number of foils used and their properties, light and heat adjustments and interventions can be made. Its lightness and flexibility allows many possibilities

in architecture in terms of design. With the use of ETFE in buildings, the reduction of the carrier building materials it replaces causes improvements in building costs.

In this study, analysis of tensile structure systems, design and material properties of membrane cover systems used in tensile systems are discussed. The material properties of ETFE, which is used as a membrane cover type, the physical properties and performance of the foils, the usage areas in architecture and the inflatable pillow system (Inflatable Pillow System, IPS) methods made with ETFE foil are examined. Examples of applications made with or containing the IPS system are discussed. Cushion systems that are inflated with air using ETFE foils form the entire structure, as well as there are applications where they are used in certain parts of the structure. It is aimed to compare ETFE foil inflatable pillow systems with other materials it replaces, in terms of the way it works in application examples and to evaluate the results. With all these features, even if it is difficult to use in single structures, it is considered as an option that can be used for openings and transparent spaces in complex structures.

Keywords; Sustainability, Sustainable Architecture, Tensile structure, ETFE, Space Architecture

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvi
RESİM LİSTESİ	xix
KISALTMALAR	xxiii
GİRİŞ	1
TEZİN AMACI	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
HİPOTEZ	3
BİRİNCİ BÖLÜM	4
1. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİ	4
1.1. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN TARİHİ	4
1.2. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN TASARIM VE ÖZELLİKLERİ. 13	
1.2.1. Tasarım ve Özellikleri	13
1.2.2. Germe Sistemlerin İmalatı	18
1.2.3. Asma Germe Sistemlerin Strüktürel Çalışma İlkeleri	20
1.3. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	25
1.3.1. Boundary Asma Germe Yapılar	27
1.3.2. Pnömatik ve Hava Destekli Yapılar	28
1.3.3. Kablo Ağılı Sistemler	28
1.4. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	30
1.5. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ	31

İKİNCİ BÖLÜM	32
2. MEMBRAN ÖRTÜ SİSTEMLERİ	32
2.1. MEMBRAN ÖRTÜ SİSTEM ÇEŞİTLERİ	33
2.1.1. Kemer Destekli Yapılar.....	33
2.1.2. Birincil Destekli Yapılar.....	35
2.1.3. Tepe ve Çukur Yapılar.....	38
2.1.4. Direk Destekli Yapılar	38
2.2. MALZEME ÖZELLİKLERİ	40
2.2.1. Örgü Modelleri.....	41
2.2.2. Membran Özellikleri	43
2.2.2.1. Işık Geçirgenliği	45
2.2.2.2. Mekanik Özellikleri	46
2.2.2.3. Dayanıklılık	47
2.2.2.4. Alev Yürütmezliği	48
2.2.3. Membran Kumaş Çeşitleri.....	49
2.2.3.1. Polivinilklorür (PVC) Kaplı Polyester Kumaş	52
2.2.3.2. Politetrafloroetilen (PTFE) Kaplı Fiberglas	53
2.2.3.3. Etilen-tetra-floretilen (ETFE) film.....	55
2.3. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ	56
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	59
3. MEMBRAN ÖRTÜ ÇEŞİDİ OLARAK ETFE	59
3.1. ETFE YASTIKLAR.....	63
3.2. KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	67
3.3. MEKANİK ÖZELLİKLERİ	71
3.4. AĞIRLIK.....	75
3.5. YANGIN PERFORMANSI	79
3.6. ÇEVRESEL FAYDALARI.....	80
3.7. YALITIM PERFORMANSI	81
3.8. IŞIK GEÇİRGENLİĞİ	84
3.9. AKUSTİK ÖZELLİKLERİ.....	88
3.10. SERA KULLANIMI	89

3.11. BAKIM.....	90
3.12. ENERJİ VE GERİ DÖNÜŞÜMÜ	92
3.13. DEKORASYON KULLANIMI.....	94
3.14. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ.....	96
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	98
4. ETFE SİSTEMLERİNİN KULLANIMI VE MİMARİ İLE İLİŞKİSİ.....	98
4.1. AYAKLI YAPILAR	105
4.1.1. Jeodezik Kubbe – Eden Projesi, İngiltere	105
4.1.2. Çadırlar – Han Çadırı Eğlence Merkezi, Kazakistan	112
4.2. BİNA DESTEKLİ YAPILAR.....	116
4.2.1. Karkas Sistemler - Parkview Green Plaza, Çin.....	116
4.2.2. Kemer Çatı Sistemler - Anaheim Bölgesel Ulaşım Intermodal Merkezi (ARTIC), Los Angeles	121
4.2.3. Kablo Destekli Gergi Sistemler – Unilever Genel Merkezi, Almanya	125
4.3. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ.....	129
BEŞİNCİ BÖLÜM	130
5. UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ	130
5.1. ALLIANZ ARENA, ALMANYA, MÜNİH	130
5.2. ULUSAL SU SPORLARI MERKEZİ, ÇİN, PEKİN	141
5.3. KINGSDALE OKULU, İNGİLTERE, LONDRA.....	150
5.4. PIOTRKOWSKA STREET MERKEZ TRAMVAY İSTASYONU, POLONYA, ŁÓDŹ	156
SONUÇ.....	166
KAYNAKÇA	171
İNTERNET KAYNAKLARI	177

SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$: Derece santigrat
$^{\circ}$: Derece
F	: Mekanizmanın Serbestlik Derecesi
[A]	: Denge matrisi
{t}	: İç gerilme vektörü
kN	: Kilonewton
m²	: Metrekare
TiO²	: Titanyum dioksit
MPa	: Megapascal
g	: Gram
N	: Newton
cm	: Santimetre
%	:Yüzde
m	: Metre
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre
kg	: Kilogram
m	: Metre
nm	: Nanometre
Pa	: Pascal
E	: Elastisite modülü

U	: Isıl geçirgenlik katsayısı
kPa	: Kilopascal
dB	: Desibel
W	: Watt
R_w	: Ağırlıklı Ses Azaltım İndisi
K	: Kelvin
τ	: Işık Geçirgenlik Derecesi
€	: Euro

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Örgü model çeşitleri, avantaj ve dezavantajları	42
Çizelge 2.2: Membran yapılarda kullanılan malzemelerin genel özellikleri tablosu	51
Çizelge 3.1: Literatürdeki çeşitli kaynaklara göre ETFE'nin mekanik özellikleri	72
Çizelge 3.2: Çeşitli kaynakların derlemesine göre ETFE mekanik özellikleri	73
Çizelge 3.3: ETFE folyoların camla, katmanlarına göre özkütle kıyaslaması.....	77
Çizelge 3.4: ETFE katmanlarına göre cama kıyasla ısı geçirenlik oranları.....	82
Çizelge 3.5: ETFE katmanlarına göre cama kıyasla ışık geçirenlik yüzdeleri	87
Çizelge 3.6: ETFE folyo tiplerinin geçirenlik farkları tablosu	87
Çizelge 4.1: ETFE'nin mimari yapılardaki farklı kullanım şekilleri ve alanları .	100
Çizelge 5.1: Farklı kar türleri ve kar katmanlarının kalınlıkları	162

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Asma Germe Yapı Sistemlerinde yan eleman çeşitleri	14
Şekil 1.3: Asma Germe Yapılarda tipik köşe plaka detayı.	15
Şekil 1.2: Asma Germe Yapılarda destek detayı	15
Şekil 1.4: Örtü bilye yüklerini desteklere aktarmaktadır.	16
Şekil 1.5: Rüzgâr yükü bilyelerin yüklerinden fazla olduğunda örtü kubbe formu sergilemektedir.	16
Şekil 1.6: Bilye sayısı arttırıldığı zaman rüzgâr ve bilye yükleri dengeli olduğundan örtü kararlı denge formuna ulaşmaktadır.....	16
Şekil 1.7: Asma Germe Sistemlerdeki membran örtünün davranışı.....	17
Şekil 1.8: K3-Tent programında kesme kalıbı çıkarma işlemi	19
Şekil 1.9: K3-Tent programında kesme kalıplarının şematik plan oluşturulması .	20
Şekil 1.10: Yüzey eğriliklerinin farklı formları	24
Şekil 1.11: Strüktürel Sistemlerin sınıflandırılması.....	25
Şekil 2.1: Düzce Üniversitesi Amfi tiyatro kemer destekli üst örtü kapama tasarımı	34
Şekil 2.2: Konser alanı kemer destekli üst örtü kapama tasarım çalışmaları.....	35
Şekil 2.3: Kumaş çeşitlerinden şematik kesit	43
Şekil 2.4: Malzemenin mekanik özelliğini belirlemek için uygulanan çeşitli testler	47
Şekil 2.5: Membran ve film kumaş türleri numune örnekleri.....	50
Şekil 2.6: PVC Kaplı Polyester Kumaş Katmanları	53
Şekil 2.7: Öngörülen Şerit Çekme Dayanımı Tutulması	55
Şekil 2.8: ETFE yastığın çevre etkileşimi.....	56
Şekil 3.1: ETFE yastıkların çeşitli konfigürasyonlarının kesiti	61
Şekil 3.2: ETFE ve diğer malzeme türlerinde ışık geçirgenliğinin kıyaslanması... ..	62
Şekil 3.3: ETFE yastıkların detay kesiti.....	66
Şekil 3.4: ETFE'nin kimyasal formülü	70
Şekil 3.5: Malzemeler üzerinde Gerilim, Gerinim diyagramı okunuşu.....	71
Şekil 3.6: Sünme miktarı ile gerilim arasındaki doğru orantının test sonuçları	74

Şekil 3.7: ETFE folyolar arasına yerleştirilebilir yay modelleri.....	75
Şekil 3.8: ETFE Yastıktan taşıyıcı sisteme yük taşınması modeli.....	76
Şekil 3.9: Rüzgar emmesi altında çift katmanlı ETFE yastığın deformasyonu ve reaksiyon yönlerinin kesiti	78
Şekil 3.10: Standartlara göre yangın sınıflandırmaları	79
Şekil 3.11: ETFE yastığın ısı transferine davranışının şematik gösterimi.....	83
Şekil 3.12: ETFE yastıkta güneş ışınları konveksiyonunun ve yayılımının şematik gösterimi	84
Şekil 3.13: ETFE yastık sistemlerin otonom sensörlerle dinamik davranış prototipi	85
Şekil 3.14: ETFE yastığın orta katmanındaki puantiyeli folyonun hava basıncıyla ayarlanması.....	86
Şekil 3.15: Pnömatik ETFE folyo yapıları için dinamik üç katmanlı gölgeleme mekanizması kesiti.	86
Şekil 3.16: ETFE yastık cephenin ışık geçirgenlik diyagramını anlatan kesidi.....	88
Şekil 3.17: Esnek PV modüllerin ETFE yastıklarla birlikte kullanımı.....	93
Şekil 3.18: Prototip modüllerin katmanlar arasındaki fark.....	94
Şekil 4.1: Eden projesine ait çizimler	106
Şekil 4.2: Solda hex-tri-hex strüktür formu, sağda yusufluk kanadı.....	108
Şekil 4.3: Han Çadırı'nın kesidi ve fonksiyon alanlarının şematik gösterimi	115
Şekil 4.4: ETFE cephelerle kaplı Parkview Green Plaza kabuk yapının mevsimlere göre konveksiyonel havalandırma ve mikroiklim oluşturmasının şematik kesitlerle gösterimi	118
Şekil 4.5: ARTIC binasının Kuzey cephesi ve Kat planı çizimleri	124
Şekil 4.6: ARTIC binasının Batı cephesi görünüşü	125
Şekil 4.7: Unilever Binasında cephelere ETFE panellerin yerleşim planı	127
Şekil 4.8: Açılabilir kablo dikme yapısı (kesik çizgiler aktif kablolardır, noktalı çizgiler pasif kablolardır ve düz çizgiler dikmelerdir.....	128
Şekil 5.1: Allianz Arena'nın fonksiyon, teknik ve yapısal çözümlerini gösteren kesiti	134
Şekil 5.2: Yastık drenajının işlevi, (a); Düzenli iç basınca sahip yastık, (b); İşletim sisteminin arızalanması sonucu toplanan su, (c); Suyun boşaltıldığı drenaj borusu	137
Şekil 5.3: Batı standının çatıdan kesiti.....	137

Şekil 5.4: ETFE yastığın geniş köşelerinde sıcaklık genişmesini almak için yaylı çelik plakalı kenar bölümü ve detayı.....	139
Şekil 5.5: Su Küpü Projesi'nin detay çizimleri	146
Şekil 5.6: Kingsdale Okulu avlusundaki ETFE yastıklı çatının havalandırma kapakları şematik çizimi	153
Şekil 5.7: Kingsdale Okulu'nun avlu ve oditoryum kesit görseli	154
Şekil 5.8: Piotrkowska Tramvay İstasyonu, renklerin kullanımını anlatan görsel.	157
Şekil 5.9: Piotrkowska Merkez Tramvay Durağı'nın mimari konsept aşamasından render görseli	158
Şekil 5.10: Piotrkowska Merkez Tramvay Durağı kanopi çatısı için tasarlanan desen örneği	158
Şekil 5.11: Piotrkowska Tramvay İstasyonu , Polonya	159
Şekil 5.12: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu'nun kesit çizimi ve profil ölçüleri	160
Şekil 5.13: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu yapısının 3 boyutlu görünümü	161
Şekil 5.14: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu oluk detay çizimi	163

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 1.1: Geleneksel Kızılderili çadırı, Oklahoma, 1869	5
Resim 1.2: Türkistan'da bir Türkmen yurt çadırı.....	6
Resim 1.3: Okmeydanı'n da kurulan çadır kent tasviri, III. Ahmed Surnamesi, 1720.....	6
Resim 1.4: Vladimir Shukhov tarafından tasarlanan Oval Pavilyon'un germe çelik kafesi, 1896	7
Resim 1.5: Dymaxion evinin ilk modeli ile Fuller, 1927	8
Resim 1.6: Kenneth Snelson 1961'de stüdyosunda çalışırken.....	9
Resim 1.7: Buckminster Fuller'in Manhattan bölgesi için Jeodezik Kubbe önerisi	10
Resim 1.8: 1967 Dünya Expo Fuarı için Buckminster tarafından Kanada'da tasarlanan Biyosfer Montreal	10
Resim 1.9: Snelson tarafından 1967 yılında tasarlanan Needle Tower.....	11
Resim 1.10: Frei Otto tarafından tasarlanan Pritzker ödüllü Münih Olimpiyat Parkı, 1972.....	12
Resim 1.11: Dünyanın ilk kalıcı gerilmiş membran çatı sistemi, La Verne Üniversitesi,1973.....	12
Resim 1.13: Luxes Island Saddle Club, sınırlı gerilmiş asma germe yapısı, Çin .	27
Resim 1.14: Wallace Park Kapalı Tenis Merkezi, Birleşik Krallık	28
Resim 1.15: Münih Olimpiyat Stadyumu, kablo ağılı sistem örneği	29
Resim 2.1: Buz Pateni Pisti Olimpiyat Parkı, Münih	35
Resim 2.2: İçten askılı uçan kolon model örneği, Konya Havalimanı	36
Resim 2.3: İçten askılı PTFE germe sistem, Münih Atık Yönetimi Ofisi.....	36
Resim 2.4: Birincil destek olarak direkli asma germe örneği.....	37
Resim 2.5: Ters şemsiye uygulama örneği	37
Resim 2.6: Denver Uluslararası Havalimanı, Elrey Jeppesen Terminali	38
Resim 2.7: Kazakistan'da tasarlanan ETFE kaplı Han Çadırı	39
Resim 2.8: Richard Rogers tarafından tasarlanan Millenium Dome, İngiltere	39
Resim 2.9: Soldaki; tek eksenli gerilim testi, sağdakiyse Almanya Stuttgart Üniversitesi'nde çift eksenli gerilim makinesi	44

Resim 2.10: Membran kumaş alev yürütmezlik testi örneği	49
Resim 3.1: Mangrov Hall Burgers Hayvanat Bahçesi, Hollanda	60
Resim 3.2: ETFE yastıklar için kullanılan hava üfleme makinesi örneği	64
Resim 3.3: ETFE yastığa havalandırma boru bağlantısı	64
Resim 3.4: ETFE yastıkların havalandırma borularına bağlantısı.....	65
Resim 3.5: ETFE folyoların puantiyeli görünümü	65
Resim 3.6: ETFE'nin kalıplanmamış yumuşak granül hali.....	68
Resim 3.7: Zoom Macera Dünyası – Tropik Cennet, Almanya	90
Resim 3.8: ETFE yastık birleşim profili üzerindeki kuş kovucu tel örneği.	91
Resim 3.9: Seçilen prototip binaya İki farklı modülün monte edilmesi	95
Resim 4.1: Atlanta'daki ATLNext Merkez Yolcu Terminali Kompleksi ile Almanya'daki Aachen – DWI yapısında ETFE alanlar kırmızıyla gösterilmektedir.	99
Resim 4.2: Kuzey Swindon Okulu ETFE kubbe çatı uygulaması	104
Resim 4.3: Londra'daki Palm House ile İskoçya'daki Kibble Palas sera yapıları	105
Resim 4.4: Eden Projesinin genel görünümü	107
Resim 4.5: Eden Projesinin orta kubbe formdaki tekil ETFE yastık boyutları ..	108
Resim 4.6: Eden Projesi'nin içeriden görünümü	109
Resim 4.7: Eden Projesi'nin çatı üstünden görünüşü	110
Resim 4.8: Eden Projesi'nin panoramik görünüşü	110
Resim 4.9: Eden Projesi'ndeki nemli tropik biyomun içerisinden görsel.....	111
Resim 4.10: Astana'da gün batımında Han Çadırı'nın aydınlatması görünümü. 112	
Resim 4.11: Astana kış mevsiminde Han Çadırı'nın görseli.....	113
Resim 4.12: Han Çadırı'nın içerden ters koni şeklindeki hub halkanın görseli .	114
Resim 4.13: Han Çadırı'nda ETFE yastıkların yerleşimi ve kontrol aşaması	115
Resim 4.14: Han Çadırı'nın ana taşıyıcısı olan üçayak kulenin içeriden görünümü	116
Resim 4.15: Parkview Green Plaza kabuk yapının içerisindeki diğer binalar	117
Resim 4.16: Çin'deki Parkview Green Plaza primidal formunun dışarıdan görünümü.....	118
Resim 4.17: Parkview Green Plaza kabuk yapının çalıştırılabilir havalandırma şaftı.	119

Resim 4.18: Parkview Green Plaza’da radyant ısıtma örneği.	119
Resim 4.19: Basit bilyeli, soket bağlantısının yakın çekimi	120
Resim 4.20: Parkview Green Plaza, Çin.....	120
Resim 4.21: Kemer çatı formundaki ETFE yastıklarla ARTIC yapısı, Los Angeles.	121
Resim 4.22: ARTIC yapısının içerden ön cepheye bakışı	122
Resim 4.23: Soldaki görsel geleneksel çelik ve camla tasarlanan, ARTIC tasarımına ilham kaynağı olan Newyork Penn İstasyonu’nun iç görünüşü, sağdaki görselse çağdaş malzeme ve mimariyle yeniden yorumlanmış, ARTIC binasının içten görünüşü	123
Resim 4.24: Diya grid çerçeve ve kemer formundaki ETFE folyolardan meydana gelen ARTIC binası, Los Angeles	125
Resim 4.25: Unilever Genel Merkezi’nin doğu cephesi.....	126
Resim 4.26: Kablo gerdirme destekli ETFE folyolar, Unilever Merkez Binası, Hamburg	127
Resim 4.27: Kablo destekli ETFE folyo panellerin aşağıdan görünümü	128
Resim 5.1: Allianz Arena Stadyumu’nda maç oynanan takıma göre dış aydınlatma renklerinin değişimi.....	131
Resim 5.2: Allianz Arena Stadyumu’nun gece aydınlatmasındaki dramatik etkisi	132
Resim 5.3: Allianz Arena Stadyumu’nun maç esnasında içeriden görüntüsü	132
Resim 5.4: Allianz Arena’nın ETFE çatısına yakın çekim görseli.....	133
Resim 5.5: Allianz Arena’daki kısmen açılır kapanır güneş koruyucu sistemler	133
Resim 5.6: Allianz Arena’daki ETFE folyoların karkas sistem üzerindeki raya sıkıştırma işlemleri	135
Resim 5.7: Allianz Arena Stadyumu’nun giydirme ETFE cephe sistemi montaj aşaması	135
Resim 5.8: Allianz Arena Stadyumu’nun ETFE cephe giydirme yapılmadan önceki inşaat hali	135
Resim 5.9: Allianz Arena gün batımında dış cephe ETFE yastıkların görünümü	136
Resim 5.10: ETFE yastıkları şişiren hava borularının yakın çekim görseli	138
Resim 5.11: Ulusal Su Sporları Merkezi’nin çelik konstrüksiyon modeli	141
Resim 5.12: Su Küpü projesine ilham olan doğal sabun köpüğü	142

Resim 5.13: Ulusal Su Sporları Merkezi'nin perspektif görünüşü	142
Resim 5.14: Su Küpü projesinin kesit modeli	143
Resim 5.15: İnşaat halindeki Ulusal Su Sporları Merkez yapısına ETFE yastıkların montajı sırasında.....	144
Resim 5.16: Ulusal Su Sporları Merkezi yapısının ETFE yastık kaplı çatısından içeriye giren doğal aydınlatma.	145
Resim 5.17: Pekin 2008 Olimpiyatlar'ı sırasında Ulusal Su Sporları Merkezi yapısının içeriden görüntüsü	145
Resim 5.18: Ulusal Su Sporları Merkezi fuaye alanından bir görsel.....	147
Resim 5.19: Ulusal Su Sporları Merkezi yapısının kuzey batı köşesi.....	148
Resim 5.20: Su Küpü'nün farklı LED ışıklandırmalarla gece aydınlatmasında sunduğu görsel şölen.	148
Resim 5.21: Yapı içerisindeki galeri boşluğu ve bekleme alanından görseller ...	149
Resim 5.22: Üst görselde Kingsdale Okulu'nun yenilenmeden önceki hali, alt görselde yenilenmeden sonraki hali	150
Resim 5.23: Kingsdale Okulu avlu üstü ETFE yastıklı çatısı.....	151
Resim 5.24: Kingsdale Okul avlusunda ETFE folyoların yarı ışık geçirgen davranışı görseli	152
Resim 5.25: Kingsdale Okulu avlusunda sosyal etkinlik	152
Resim 5.26: Kingsdale Okulu avlusundaki ETFE yastıklı havalandırma kapakları	153
Resim 5.27: Kingsdale Okulu avlu üstü ETFE çatısının üstten görünümü	154
Resim 5.28: Kingsdale Okulu'nun kuş bakışı görseli.....	155
Resim 5.29: Kingsdale Okulu ETFE yastık kaplı sıralı çatısı	155
Resim 5.30: Piotrkowska Tramvay İstasyonu, tramvay hattı ve altındaki tünel	156
Resim 5.31: Piotrkowska Tramvay İstasyonu kanopi altından görünüşü.....	160
Resim 5.32: ETFE folyo altındaki destek gerilim kabloları	162
Resim 5.33: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu ETFE örtü yapının üstten görünümü ve oluk yapısı.	163
Resim 5.34: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu çelik strüktür yapının yakın çekimi	164
Resim 5.35: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu yan şeffaf cepheler	164
Resim 5.36: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu ön cepheden görünüşü ..	165
Resim 5.37: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu, Polonya.....	165

KISALTMALAR

IPS	Inflatable Pillow System, (Şişirilebilir Yastık Sistemler)
ETFE	Etilen Tetrafloroetilen
PTFE	Politetrafloroetilen, (Teflon)
PVC	Polivinil klorür
PVF	Polivinil Florür
PVDF	Polivinilidin Florür
UV	Ultraviyole
PE	Polietilen
PET	Polietilen Tereftalat
PV	Fotovoltaik
LED	Light Emitting Diode, (Işık Yayan Diyot)
PV	Fotovoltaik
EVA	Etilen-vinil Asetat
yy	Yüzyıl
DIN	Deutsches Institut für Normung, (Alman Standartlar Enstitüsü)
NFPA	National Fire Protection Association, (Ulusal Yangından Korunma Kurumu)
ASTM	American Society For Testing And Materials, (Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu)
NASA	National Aeronautics And Space Administration, (Ulusal Havacılık Uzay Dairesi)
MIPIM	Le Marché International des Professionnels de l'Immobilier, (Uluslararası Gayrimenkul Fuarı)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design, (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)

ARTIC	Anaheim Regional Transportation Intermodal Center, (Anaheim Bölgesel Ulaşım Intermodal Merkezi)
BIM	Building Information Modelling, (Yapı Bilgi Modellemesi)
NC	New Construction, (Yeni Yapı)
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning, (Isıtma, Soğutma ve Havalandırma)
BIPV Fotovoltaikler)	Building- Integrated Photovoltaics, (Binaya Entegre Fotovoltaikler)
CHS	Circular Hollow Section, (Boşluklu Dairesel Kesit)

GİRİŞ

Enerji sorununa ve tüketimine yol açan yapıların, günümüzde doğal kaynakların süratle azaldığı düşünülürse, sürdürülebilirlik kısıtları göz önüne alınarak tasarlanması gerekmektedir. Geleneksel yapılardaki şeffaf açıklıklar ve alışagelmış strüktürler, sürdürülebilirlik, enerji ve maliyet boyutlarında önemli faktörler olarak yorumlanabilmektedir. Bir yapının var olmasındaki ilk aşama olan tasarım sürecinde, mimarın ortaya koyacağı strüktür sistemi, yapının üretim ve kullanım fonksiyonlarını da etkileyeceğinden dolayı büyük önem arz etmektedir. Yapı teknolojileri günümüzde kıt gereçlerle geniş açıklıkları geçebilmeyi amaçlamaktadır. Bunu yaparken de doğal, geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir malzemelerden yararlanan sistemlere öncelik vermektedir. Örgü dokuma membran malzemeyle oluşturulan asma-germe membran sistemler hafif ve kolay kuruluma sahip oldukları için mimaride birçok olasılığa imkân sağlamaktadır ve farklı taşıyıcı formlara tercih edilmektedir. Membran sistemlerin geçmişi incelendiğinde eski toplumların meydana getirdiği çadırlarda görülen ilkel asma germe sistemler keçe ve deri örtü malzemeleriyle oluşturulurken günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte polimer membran malzemeler daha sık görülmektedir. Germe sistemin oluşumunu sağlayacak ip ve halat materyaller ise çelik kablolar, uzay kafes ve lamine ahşap kemerlere dönüşmektedir. Membran sistemler kapsamında aktüel çalışmalar, hareketli ve sürdürülebilir sistemler incelendiğinde karşımıza ETFE (etilen tetrafloroetilen) polimer malzemesi çıkmaktadır.

ETFE (etilen tetrafloroetilen), bina uygulamalarında giderek daha fazla kullanılan hafif bir malzemedir. Esas olarak gün ışığı geçirgenliği ve enerji tasarrufu potansiyeli nedeniyle popülerlik kazanmaktadır. Kaplama olarak kullanıldığında, strüktürel nedenlerden dolayı ETFE tabakaları genellikle kompresörler vasıtasıyla şişirilen yastıklara (Inflatable Pillow System) monte edilir. ETFE yastıklar (IPS), kullanılan folyo sayısına ve özelliklerine bağlı olarak ışık ve ısı geçişleri ayarlamaları yapılabilmektedir. Geleneksel camlı bir çatıya veya cepheye kıyasla daha düşük başlangıç maliyetleri ve daha az taşıyıcı destek ile ısı yalıtımı sağlayabilmektedir. Her biri bir modüle bağlı bilgisayar kontrollü pnömatik silindirler aşağı ve yukarı

hareket ederek gün ışığına göre form değiştirebilmektedir. Enerji optimizasyonu çalışmalarında yüzey gibi hareket eden bu sistemler, iklimsel verilere göre yönlenebilmektedir. Tüm bu özelliklerle birlikte tekil yapılarda kullanımı güç olsa dahi kompleks yapılarda cam ve benzeri materyaller için alternatif oluşturduğu söylenebilmektedir. Literatürde asma germe sistemler üzerinde yapılan akademik merkezli araştırmaların sayısı, bina uygulamalarında ETFE'nin modellenmesi ile ilgili sınırlı araştırma ve malzeme özellikleri hakkında sınırlı bilgi, betonarme yapılar ve çelik yapılar kadar karşımıza çıkmamaktadır. Bunun nedenlerinin başında asma germe sistemlerin yeni olması ve geçmişinin yaklaşık elli yıla kadar dayanması gelmektedir. Asma germe sistemlerin çeşitli çalışmaları, farklı akademisyenler tarafından yapılmış olmasına rağmen yönetmeliklerde çoğunlukla yer almamaktadır. ETFE (Ethlen Tetrafluoroethylen), performansı, işlevi, olumlu ve olumsuz etkilerinin incelenmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır. Büyük açıklıkların geçilebilmesi sistemlerin kendi içinde dengede olması nedeniyle gelecekte bu sistemlerin daha yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

TEZİN AMACI

Yapı tasarım süreçlerinde geniş açıklıkların geçilmesi, enerji korunumu, yapının ayakta durması ve konfor alanlarının oluşturulması, mimar ve mühendisin ele aldığı problem durumlarından bazılarıdır. Tasarlanan strüktür sistemi, yapının kullanımını, maliyetini, estetik kaygıları ve emniyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Şeffaf açıklıkların ve geniş açıklıkların yapıdaki enerji korunumuna dezavantaj oluşturduğu bilinmektedir. Dolayısıyla kullanılan malzemenin, sürdürülebilir, esnek, az gereçle çok fazla mesafe katedebilen özellikleri barındırması hedeflenmektedir. Germe sistemler, strüktür farklılıklarıyla günümüz mimarisinde cephe giydirme, gölgelik ve açıklık geçmek gibi farklı görevlerde kullanılabilir. Kullanılan örtü çeşitliliği, ihtiyaca göre farklı fonksiyonları bir araya getirebilmektedir. ETFE polimer membran malzemesi, geleneksel strüktürdeki geniş açıklıklara ve ısı yalıtımında sorun oluşturabilecek şeffaf boşluklara çözüm getirilebilecek bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tezde, asma germe sistem özellikleri ve mimaride kullanılan ETFE malzemesinin, günümüz mimari tasarımıyla olan ilişkisinin incelenmesi hedeflenmektedir. Çalışmada ETFE sistemi ve folyoların

fiziki özellikleri ve performansı, ETFE sistemle yapılan yahut içerisinde barındıran örnekler incelenmektedir. Yapının tamamını oluşturduğu gibi sadece yapının belirli kısımlarında kullanıldığı uygulamalar mevcuttur. ETFE folyo şişirebilir sistemlerin yerini aldığı diğer malzemelerin kıyaslanması, karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Asma germe sistemlerin ve ETFE'nin tarihi, günümüze yakın olmasından dolayı literatürdeki yayın çeşitliliği ve çalışmalar yetersiz kalmaktadır. ETFE malzemesinin günümüz mimarisi kapsamında, Asma Germe Yapı Sistemlerinin tanımlamaları, tarihi ve tasarım süreçlerinin incelenmesi; membran örtü sistemlerinin sınıflandırılması ve özelliklerinin analiz edilmesi için gerekli tez ve makaleler incelenmiştir. ETFE malzemesinin mimariyle olan ilişkisindeki uygulama örnekleri ile ilgili kurum ve kuruluşların çalışmaları, belgeselleri ve sunumları detaylı araştırmalar sonucu değerlendirilmiştir. Tüm çalışma kapsamında gerekli yayınlar ve kitaplar taranarak okunmuş ve açıklamalar getirilmiştir.

HİPOTEZ

Günümüzde enerji kaynaklarının zamanla azalmasından dolayı sürdürülebilirlik kavramı oldukça önem kazanmaktadır. Bu bağlamda enerjinin korunumu, sürdürülebilir mimarinin temel konularından birisi olarak görülmektedir. Yapılardaki enerji korunumuna engel oluşturabilecek strüktürel boşluklar ve açıklıklara, geleneksel yöntem ve malzemeler yetersiz kalabilmektedir. Teknolojinin ilerlemesinde yeni malzemeler arayışıyla sonuçlanan buluşlar, mimarideki ihtiyaç oluşturabilecek detaylar için çözüm oluşturabilmektedir. Teknolojinin geometrik artışı, mimaride kullanılan geleneksel çözümleri yetersiz kılmaktadır. Mimari tasarımcının yapılarda bu paradigmaları göz önünde bulundurarak çalışmalar ortaya koyması beklenilmektedir. Kompleks yapılardaki geniş açıklıkların ve şeffaf boşlukların enerji korunumuna doğrudan etkisi olduğu düşünülürse, ETFE gibi sürdürülebilir, esnek, camla kıyaslanabilecek şeffaf ve dayanıklı malzeme türünün, mimariyle uyumunun incelenmesi tasarımcılara yeni çözüm önerileri sağlayabilecektir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİ

Asma Germe sistemler, literatür araştırmalarında birden farklı tanımlamaları içermektedir. Asma Germe sistemlerin İngilizce kelime kökeni Tensegrity sözcüğüdür. Tensegrity sözcüğü ‘tension’ (çekme) ve ‘integrity’ (bütünlük) sözcüklerinin birleşiminden meydana gelmiştir. ‘Tension’ çekme gerilmesini, ‘integrity’ bütünlüğü ifade etmektedir (Üzer, 2015).

Asma germe sistemler kararlı denge formunu bozmadan, sürekli öngermeyi hedefleyen strüktürlere sahiptirler. Asma germe sistemlerde kuvvetlerin dağılımı dengeli olduğu takdirde, formunu koruyarak ayakta kalabilmektedir. Diğer geleneksel rijit strüktürlerdeki formun genel yapısını etkileyemeyecek deplasman farkları göz ardı edilebilirken, asma germe sistemlerde oluşabilecek küçük kuvvet farklılıkları tüm formun şekil yapısını etkileyebilmektedir.

1.1. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN TARİHİ

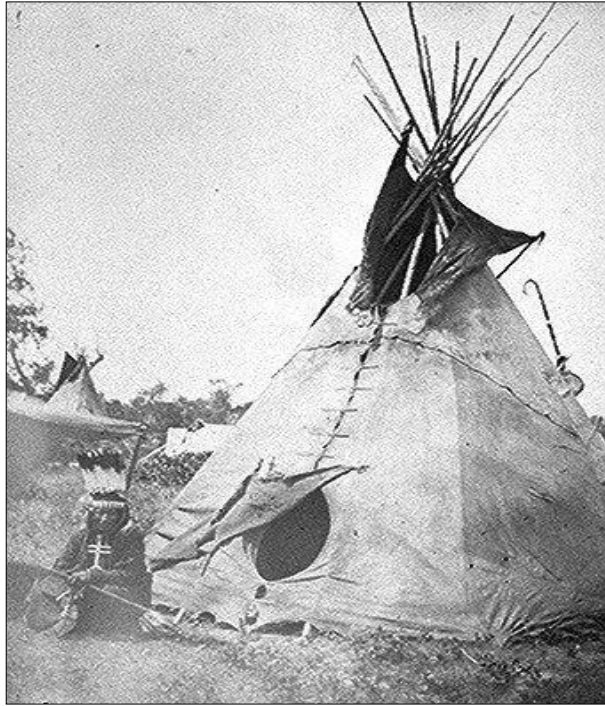
İnsanoğlu temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına kaynak olarak doğanın imkânlarını değerlendirmiştir. Ancak insanoğlu evriminin tezahürü olarak gelişimi, istek ve ihtiyaçları, doğanın yeterliliğini tekrar tekrar test etmiştir. Bu tekrarlar sonucu, doğayı taklit ederek, korunmak için farklı çeşitlerde barınak yapıları boy göstermiştir. İnsanoğlunun coğrafi ve sosyolojik şartlardan ötürü göçebe hayat yaşama şekli, inşası pratik ve taşınabilen çadır yapıların kullanılmasını sağlamıştır.

“Tarih boyunca çadır, göçebe toplumlar tarafından değerik formlarda kullanılmıştır. İlk çadır destek elemanları olarak ağaç gövde ve dalları kullanılırken örtü elemanı olarak ta hayvan derilerinden yararlanılmıştır. Daha sonra örtü malzemesinin yerini keçe ya da dokunmuş kumaş almıştır.” (Dansık ve şahin, 2015)

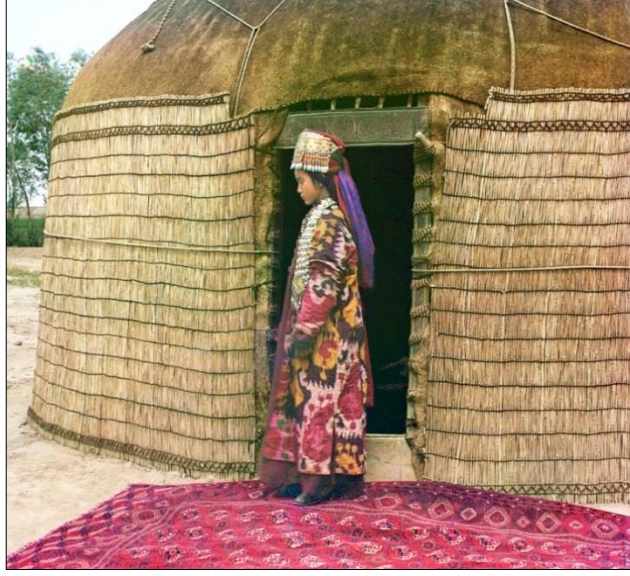
Yapılar bulunduğu coğrafi şoşullara göre kerpiç, hayvan derileri, buz ve taş gibi malzeme çeşitliliğine neden oluşturduğu bilinmektedir. İnsanoğlu malzemeyi kullanırken zamanla malzemenin temel özelliklerini de tecrübe ederek, katı, yumuşak, sert ve benzeri somut nitelikleri öğrenmiştir. Bu nedenle insanoğlu

barınmanın temel fonksiyonlarından birisi olan güvenlik için rijit gördükleri ahşap ve taş malzemelere ağırlık vermiştir.

“Yerleşik düzene geçiş ve daha sağlam yapı malzemelerinin bulunuşu çadıra verilen önemi azaltmıştır. Örgü dokuma malzemenin veya hayvan derilerinin kullanıldığı bu tip barınaklar ve örtüler hafif ve kolay kurulup-sökülebilen, iklim değişikliklerine kolay uyum sağlayabilen yapılara ihtiyaç duyan göçebe kavimlerde kullanılmaya devam edilmiştir.” (Sarıay, 1999) Farklı malzemelerin kullanılmasıyla çadırda da farklı inşa teknikleri ve malzeme kullanımları gözlenmiştir. Çadır strüktüründe destek elemanları olarak ahşap malzemeler kullanılırken örtü sistemi olarak hayvan derileri kullanılmıştır. Günümüzde ise bu elemanların yerine sentetik membran örtü sistemleri ve çelik strüktürler dâhil edilmektedir. Dolayısıyla çadır, ilk germe sistemler örneği olarak karşımıza çıkmaktadır (Resim 1.1) (Resim 1.2). Çadır yapılar, kurulumu ve sökülmesi kolay olduğundan dolayı göçebe hayat yaşayan toplumlar için oldukça kullanışlı barınak yapıları olarak kabul edilmiştir. Farklı toplumlara ve coğrafi koşullara göre çadır formlarında değişiklik gösterebilmektedir. Ancak ayakta durması için gereken temel kurallar neredeyse tüm çadırlarda aynı benzerlikte oluşmaktadır.



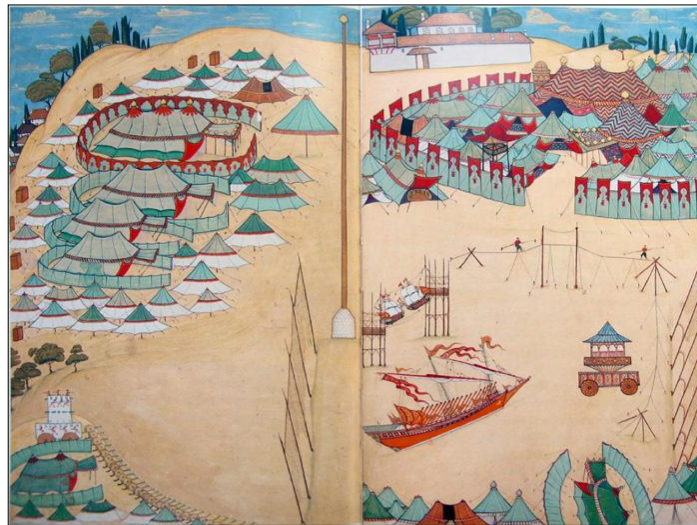
Resim 1.1: Geleneksel Kızılderili çadırı, Oklahoma, 1869 (Url-1).



Resim 1.2: Türkistan'da bir Türkmen yurt çadırı. (Url-2).

“Çadır, diğer bir deyişle tente insanoğlunun mağaradan sonra ilk barınma mekânıdır. Ukrayna civarında bulunan 40.000 yıldan eski mamut kemikleri ve hayvan derilerine ait bulgular bu düşüncüyü kanıtlamaktadır.” (Berger, 1996).

Endüstri Devrimi'nin tüm alanlarda gerçekleştirdiği makineleşme yenilikleri, yün, pamuk ve keten malzemelerinin dokumasında da görülmüştür. Geniş alanları örtme amacıyla kullanılan membran malzemeli üst örtüler, Endüstri Devrimi'nin seri üretim ve maliyet avantajları oluşturmasından ötürü, askeri depo, sirk gibi yapılar için kullanılmasında ve yaygınlaşmasında ilerleme kaydetmiştir.(Resim 1.3)

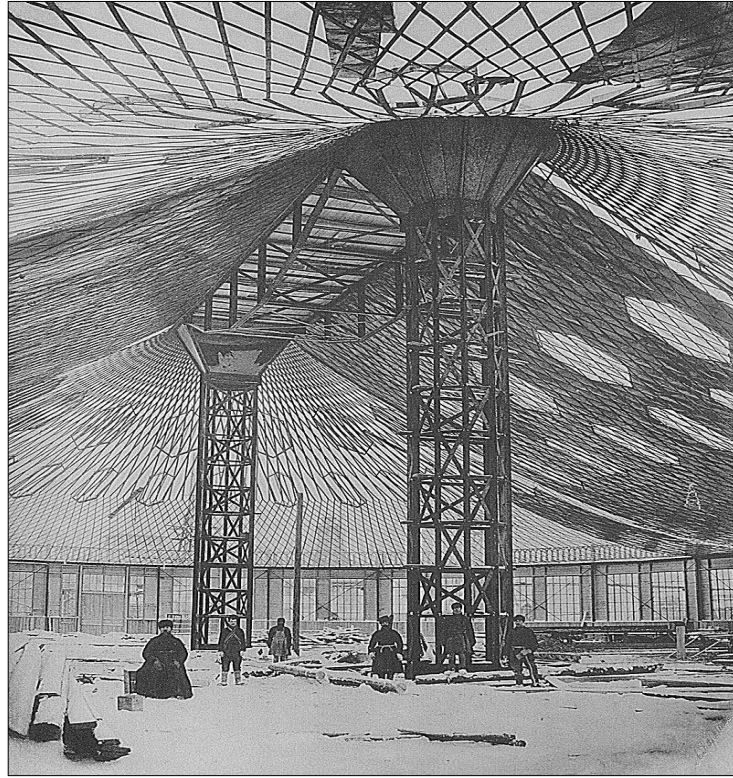


Resim 1.3: Okmeydanı'n da kurulan çadır kent tasviri, III. Ahmed Surnamesi, 1720 (Url-3).

“Endüstri Devrimi ile II. Dünya Savaşı arasındaki süreçte örgü dokuma membran malzemeli örtüler ve yapılar; sirklerde, havacılık alanında; balon, zeplin ve hangarlarda, küçük çaplı hastane ve depo işlevli yapılarda kullanım bulmuştur.” (Sarıay, 1999)

“II. Dünya Savaşı’ndan sonra asma-germe membran üst örtülerin kullanımı askeri alanda karargâhlarda, radar ve haberleşme merkezlerinde, üniversite kampüslerinde, spor tesislerinde, uluslararası bina sergilerinde, turizm tesislerinde, yani kısa süreli-geçici üst örtülerin ya da açık sistemlerde gölgeleme amaçlı kullanımın gerektiği alanlarda çok yaygınlaşmıştır.” (Sarıay, 1999)

Endüstrinin gelişimiyle birlikte membran yapılar kendini göstermeye başlamıştır. Ancak insanoğlunun rijit yapı gelenekselciliği, esnek membran malzemelerinin birer yapı sistemi olma konusunda ön yargıları oluşturmuştur. 20.yy başlarında bu germe sistemlerin verimli çalışması için kullanılan örtü malzemelerinin mukavemeti, geçilebilen açıklıklar ve teknoloji bakımından yetersiz kalmıştır (Resim 1.4).

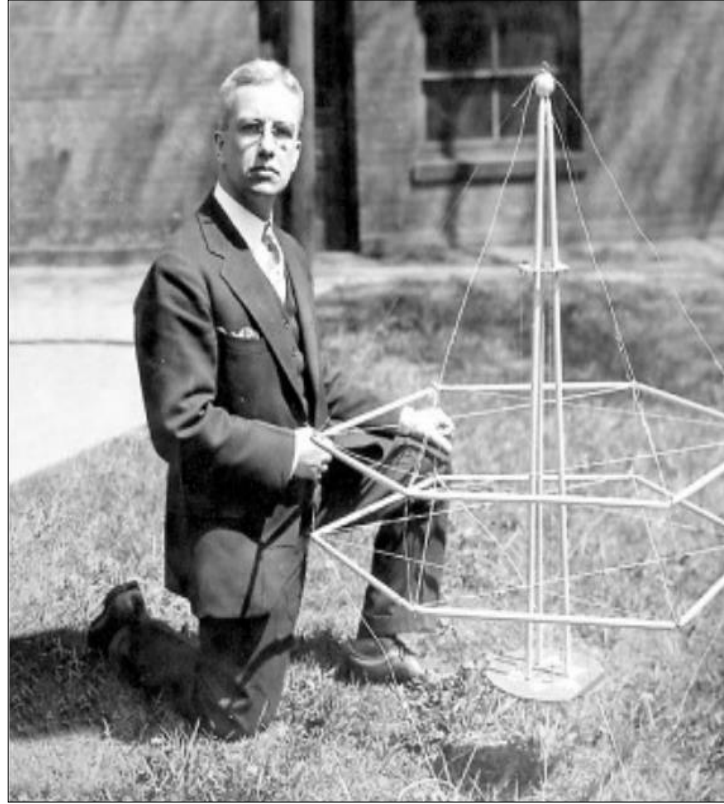


Resim 1.4: Vladimir Shukhov tarafından tasarlanan Oval Pavilyon’un germe çelik kafesi, 1896 (Url-4).

NASA'nın 1930'lu yıllarda yörüngeye uzay aracı yollama çalışmaları sonucu uzayın kozmik radyasyonu araçların PVC kullanılan mekanizmalarına zarar vermiştir. Bu sorun için DuPont firması çözüm çalışmalarına başlamıştır. 1938'de Roy J. Plunkett, yanlışlıkla, ticari adı Teflon olan politetrafloroetilen (PTFE) polimerini keşfetmiştir.

Asma germe yapı sistemlerinin öncülüğünü yaptığı Buckminster Fuller, "Gerilim Bütünlüğü" terimi üzerinde çalışmalar yapmıştır. "Fuller 1927 yılında, bir direğe asılmış çift kablo çember ile dengede duran bir yapı tasarlamıştır. Bu tasarımı, asma germe sistemlerin temel prensiplerini ortaya çıkaran ilk çalışmasıdır." (Üzer, 2015) (Resim 1.5).

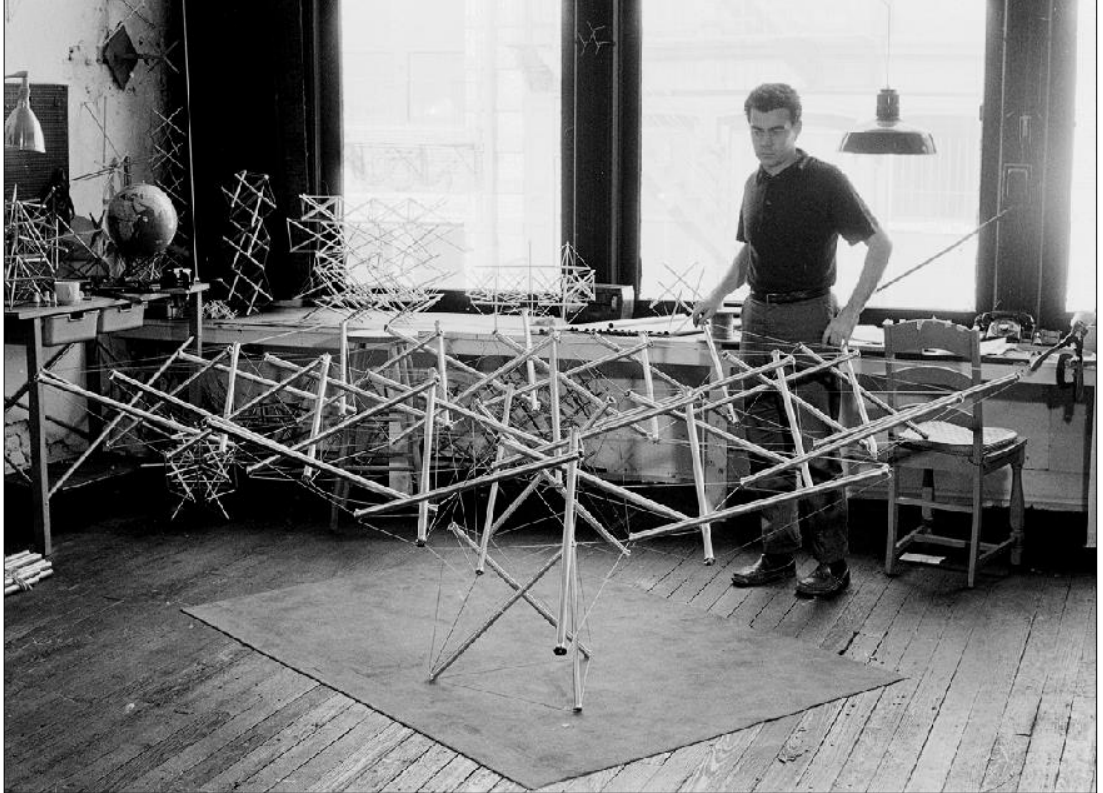
"Richard Buckminster Fuller, David Georges Emmerich ve Kenneth D. Snelson asma germe sistemlerin kurucuları olarak kabul edilmektedir."(Üzer, 2015)



Resim 1.5: Dymaxion evinin ilk modeli ile Fuller, 1927 (Url-5).

1950’li yılların sonlarına doğru, asma germe yapı sistemleri daha hafif ve farklı tasarımlarıyla dikkat çekmiştir. Günümüzde dahi bu tasarımlara farklı bakış açısı hem sosyolojik olarak hem akademik mecrada devam etmektedir. Fuller öncülüğünde “Dünyada daha uzun ve başarılı yaşama.” şansını arayan fikirler atılmıştır. Bu fikirlerden en akılda kalanı Manhattan için Buckminster tarafından tasarlanan "Jeodezik kubbe” formu olmuştur (Resim 1.7). Jeodezik kubbe formu bir mekânı en az gereçle örtme olanağı sağlamaktadır. Fuller asma germe sistemleri için “Gerilim okyanusu içindeki basınç adaları” tanımlamasını yapmıştır.” (Fuller, 1975)

“Asma Germe” ismi ilk olarak 1960’larda Buckminster Fuller tarafından kullanılmıştır. (Kaya ve Arun, 2005). Bu gerilim okyanusu kavramı Snelson’un üzerinde çalışmalar yaptığı bir süreç doğurmuştur (Resim 1.6). Gerilim kuvvetlerini yakından inceleyen Snelson, Fuller’le çalışmalara başlayarak asma germe yapı sistemlerinin temel kuvvet yasalarını açıklamaya çalışmıştır.



Resim 1.6: Kenneth Snelson 1961’de stüdyosunda çalışırken (Jauregui, 2009).

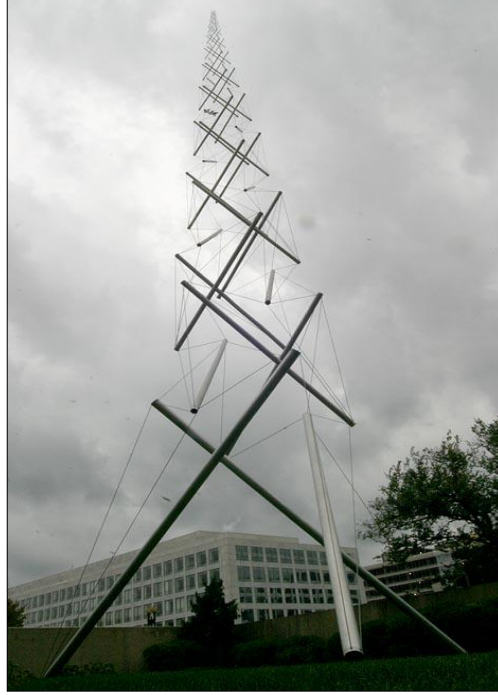


Resim 1.7: Buckminster Fuller'in Manhattan bölgesi için Jeodezik Kubbe önerisi (Url-6).



Resim 1.8: 1967 Dünya Expo Fuarı için Buckminster tarafından Kanada'da tasarlanan Biyosfer Montreal (Url-7).

1965 yılında Snelson germe sistemler üzerinde Fuller ile birlikte çalışmalara devam ederek asma germe sistemlerin temel prensiplerini içeren ilk patenti almıştır. Snelson'un patentinin başlığı "Sürekli çekme gerilimi ile süreksiz basınç gerilmesi altındaki yapılar"dır. Asma Germe sistemlerin temel prensiblerini açıklayan bu ifade ile Snelson Asma Germe sistemlerini keşfeden kişi olarak tarihe geçmiştir. (Üzer, 2015) (Resim 1.9).



Resim 1.9: Snelson tarafından 1967 yılında tasarlanan Needle Tower (Url-8).

Modern asma germe sistemlerin en önemli yapılarından biri olan Almanya'nın Münih kentinde uygulanan Olimpik Stadyum, Frei Otto ve Günther Behnisch ile birlikte 1972 yılında tasarlanmıştır. Halat destekli ağ sistemiyle kurulan bu strüktür, germe mühendisliğinin bilgisayar destekli ilk yapılarından biridir. Birbirine bağlanan halatların oluşturduğu ağ sisteme pleksiglas malzemesi asılarak entegre edilmiştir (Resim 1.10).

Polimer ürünlerin kullanım alanları teknolojinin ilerlemesiyle oldukça genişlemiştir. PTFE kaplı cam lifi dokuma membran üst örtünün, 1973 senesinde örtünün La Verne Üniversitesi Öğrenci Merkezi'nde ilk kez kullanılması ile membranların sadece tekil gölgeleme amaçlı sistemler olarak değil hacimsel kapalı mekânlarla da bütünleşik çalışabileceğini kanıtlamıştır (Resim 1.11).

Membran sistemlerin kullanılabilirliğinin kanıtlanması, yapının zamanla dayanıklılığını test etmesine bağlı olduğundan, asma germe yapı sayısı da test edilen zamanla doğru orantıda artmaktadır.



Resim 1.10: Frei Otto tarafından tasarlanan Pritzker ödüllü Münih Olimpiyat Parkı, 1972 (Url- 9).



Resim 1.11: Dünyanın ilk kalıcı gerilmiş membran çatı sistemi, La Verne Üniversitesi,1973 (Url-10).

Günümüzde ise kimya ve çelik sanayinin teknolojik ilerlemesi ve mühendislikte sayısal hesaplama yöntemlerinin bilgisayar aracılığıyla kolaylaştırılması asma germe yapı sistemlerinin, daha sık görülmesine ve farklı fonksiyonlar verilerek değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Asma germe sistemler popülerliğini kazandığı yıllarda, çoğunlukla gölgeleme görevlerini üstlendiler de daha sonraki yıllarda örtü için kullanılan malzeme çeşitliliğinin artması ve strüktüründeki çubuk elemanlarındaki detay teknolojisinin gelişmesi, günümüze kaplama, yalıtım, üst örtü hatta barınma olarak kapalı mekânlara uygulanabilirliği ile birçok alanda çalışılabilir strüktür niteliğini kazanmıştır.

1.2. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN TASARIM VE ÖZELLİKLERİ

1.2.1. Tasarım ve Özellikleri

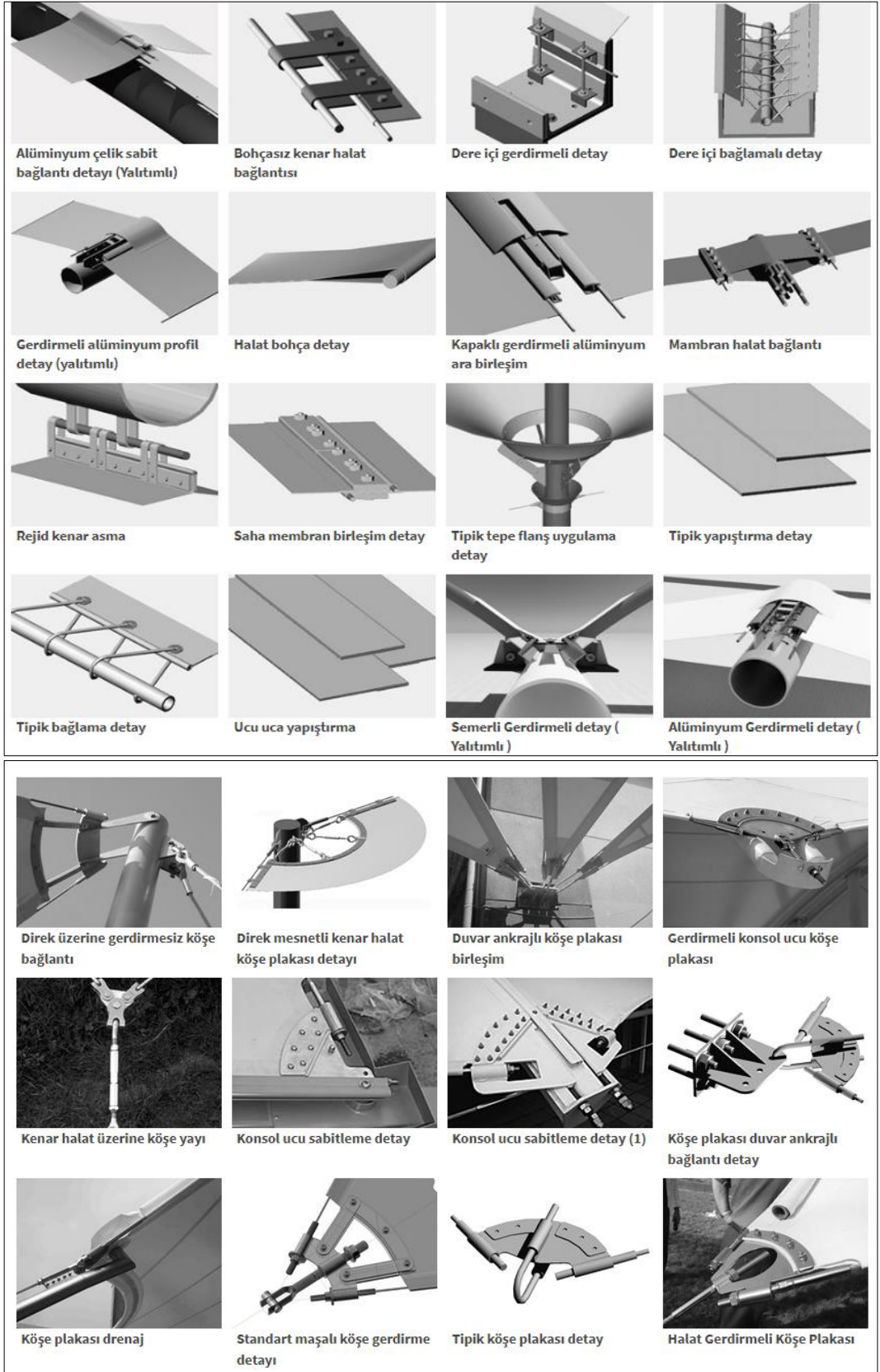
Mimarlık tarihinde alışagelmış yapılar olan betonarme, kargir, ahşap ve çelik yapıların ayakta durma prensipleri dinamik ve statik yüklerin, yapının eğilme ve taşıma dirençlerinin minimize edilerek temele aktarılması mantığıyla çalışmaktadır. Rüzgâr gibi yanal kuvvetlere karşı tepkileri yapının kendi ağırlığıyla ve yanal çalışan yapı elemanlarının dirençleriyle alakalıdır.

Geniş açıklıklar için yapılan kemer, tonoz gibi yapı formları basınç kuvvetine karşı çalıştırılarak yük aktarımı sağlanmaktadır. Betonarme yapılar, çelik yapıların eğilmeye karşı rijit davranışları ile betonun basınca karşı direnç performansları bütünleşik kullanılarak iki temel yük direncine karşı dayanıklı strüktürü oluşturmaktadır.

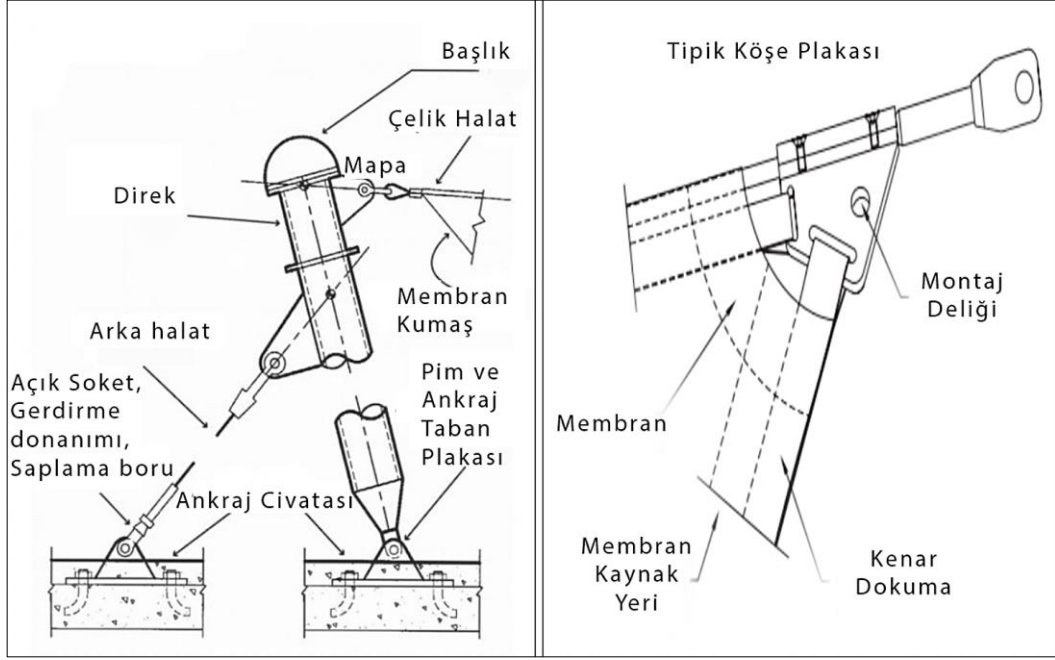
Asma germe yapılar için kullanılan esnek örtü malzemelerin özkütle ağırlığı, geleneksel yapılarda kullanılan taş, demir, ahşap gibi malzemelere nazaran oldukça hafiftir. Dolayısıyla ayakta durması için çalışma prensibi, ağırlık ve eğilme rijitlikleri gibi fonksiyonlardan farklıdır.

Asma germe taşıyıcı sistemleri “temel” ve “yan” elemanlar olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Temel eleman olarak, genellikle polimer malzemelerden oluşan esnek ve yüksek mukavemetli örtü formu kullanılmaktadır. Temel elemanlar yapıda, geniş açıklıkların geçilmesinde ve yağmur, kar gibi hava koşullarından korunmasında etkili olmaktadır. Örtü çeşitleri PVC, PTFE ve ETFE gibi polimer bazlı ürünler seçilmektedir. Yan elemanlar olarak ankraj, destek ve halatlardan oluşmaktadır (Şekil 1.1).

Örtü kısmı, yardımcı elemanların yardımıyla üzerine gelen yükleri çekme kuvvetleri ile destek noktalarına aktarmaktadır. Dolayısıyla örtü, çelik halatlardan oluşturulan bir ağ sistemine asılarak veya çelik halatlarca çevrelenerek, destek mesnetlerine taşıtılabilmektedir. (Şekil 1.2)(Şekil 1.3).



Şekil 1.1: Asma Germe Yapı Sistemlerinde yan eleman çeşitleri (Url-11).



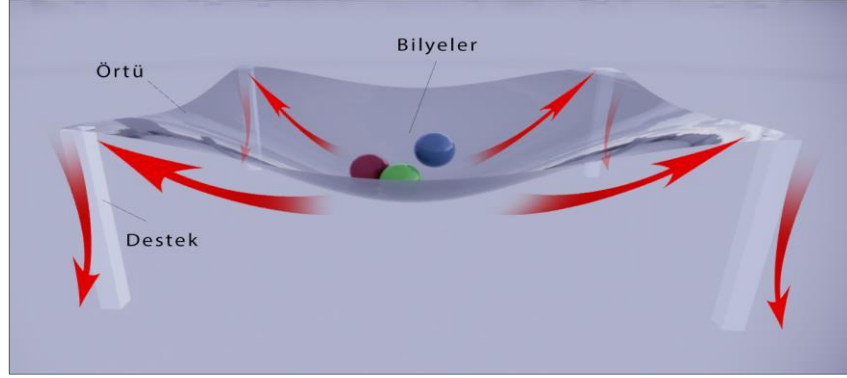
Şekil 1.3: Asma Germe Yapılarda destek detayı (Url-12).

Şekil 1.2: Asma Germe Yapılarda tipik köşe plaka detayı (Seidel, 2009).

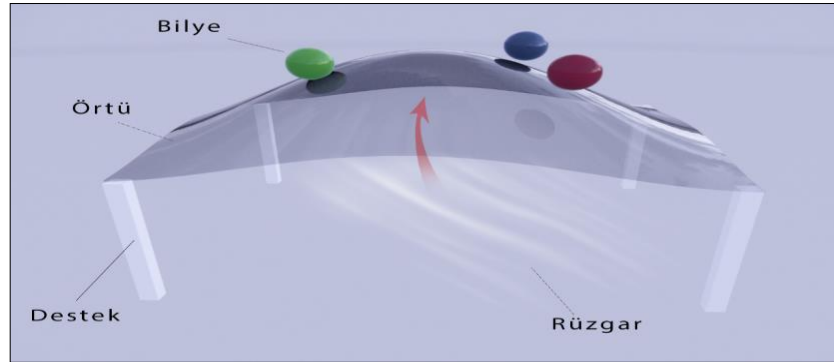
Yerçekimi kuvvetine dik olarak konumlanan ve her iki ucundan kolonlarla yük aktarımı sağlanan bir kiriş, sehim yapma eğiliminde olacaktır. Kiriş mesafesi arttıkça sehim daha net görülecek ve kırılma noktasına kadar direncini ve gerilimini devam ettirecektir.

Aynı şekilde kare bir masa örtüsünün üzerine ağırlık olarak bilyeler konularak, köşelerinden eşit yükseklikteki destek noklarına asıldığında, tüm yükler destek noktalarına aktarılacaktır (Şekil 1.4). Form olarak gerilim ve sehim gösterecektir. Eğer yükler kaldırıldığında ve rüzgâr örtünün altından desteklediğinde bu sefer örtü, gerilimini ters pozisyonda yaparak kubbe formunu alacaktır (Şekil 1.5). Örtünün potansiyel formu rüzgâra bağlı olmasından kaynaklı, bu tipin yapı sistemlerinde taşıyıcı olarak kullanılması güçtür. Örtüye rüzgârın kaldırma etkisine karşın ağırlık olarak daha fazla bilyeler konulursa, rüzgâr olmadığı zaman örtü daha fazla gerilecektir. Rüzgâr olduğu zamansa örtü kubbe formu almak isteyecek ancak bilyeler gerilmeye engel olacaktır. Bu durumda örtü, hem aşağıdan rüzgâr kuvveti hem yukarıdan bilyelerin kuvvetiyle kararlı bir dengede kalacaktır (Şekil 1.6).

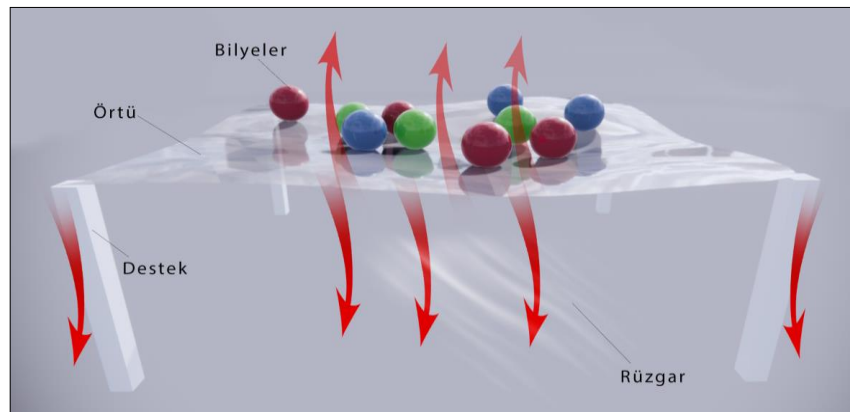
Kararlı dengenin bozulmaması için rüzgârın kaldırma etkisiyle, bilyelerin ağırlığının birbirlerini geçmemesi gerekmektedir. Örtüye eklenen bilyeler, örtüye ve destek noktalarına ilave yükler getireceği için örtünün dengeli çalışması verimli olmayabilir. Sistemin dengeli olabilmesi için sehim ve kemer formlarının birlikte çalıştırılması ve sürekli gerilim sağlanması gerekmektedir.



Şekil 1.4: Örtü bilye yüklerini desteklere aktarmaktadır.



Şekil 1.5: Rüzgâr yükü bilyelerin yüklerinden fazla olduğunda örtü kubbe formu sergilemektedir.

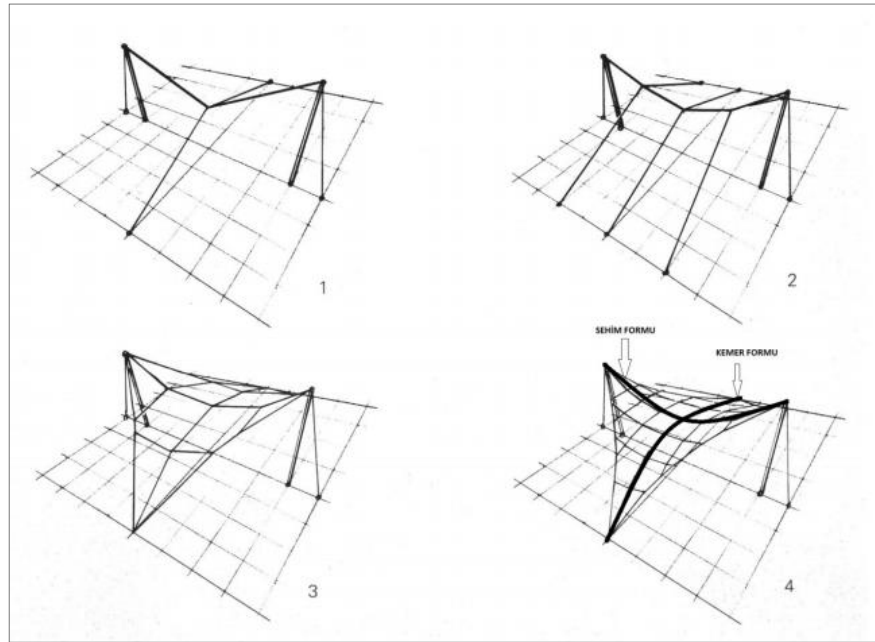


Şekil 1.6: Bilye sayısı artırıldığı zaman rüzgâr ve bilye yükleri dengeli olduğundan örtü kararlı denge formuna ulaşmaktadır.

“Yüzey öngerme yüklerinin dengelendiği bir formda olmalıdır. Bu forma “denge formu” denir. Germe yapıların yapısal tasarımı, bu formun bulunması ve yüzeydeki öngermenin belirlenmesi ile başlar.” (Dansık ve Şahin, 2015)

Asma köprüler, dengeli çalışma prensiplerine uygun olarak örnek gösterilebilir. Bu sistemlerde, ipler arasında basınç çubukları kullanılarak hem kemer formu hem de sehim formu arasında öngerme sağlanmaktadır. Köprüye yük bindiğinde sehim formu olan çelik halatlar gerilerek çalışırken, rüzgâr yükü devreye girdiğinde kemer formundaki çelik halatlar gerilim oluşturmaktadır. Bu şekilde köprü, kararlı dengeyi oluşturarak, statik sürekliliğini sağlamaktadır.

Kare masa örtüsünün köşelerinden ikisinin destek noktalarına çapraz olarak asıldığı, diğer ikisinde aynı şekilde çapraz olarak yere bağlandığı bir sistem oluşturulsa, masa örtüsünde, hem kemer formunun hem de sehim formunun birlikte çalıştığı gözlemlenebilecektir. Kemer ve sehim formundaki gerilmiş masa örtüsünün örgü modeli, birbirlerine dik şekilde bağlanan ve öngerme uygulayan liflerden oluşmaktadır. Germe sistemlerin kararlı dengede çalışabilmesi için yüzeyi oluşturan eğriliklerin (ip) birbirlerine zıt çalıştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla germe yapıların form arayışlarında, kararlı denge prensiplerinin ihmal edilmemesi gerekmektedir.



Şekil 1.7: Asma Germe Sistemlerdeki membran örtünün davranışı (Dansık ve Şahin, 2015)

Kararlı dengeyi sağlayan formlara gelebilecek her türlü kar ve rüzgâr yükleri, formun şeklinde değişiklikler ve farklı gerilme dalgaları oluşturabilir. Germe sistemlerde gerilim devamlılığı önem arz etmektedir. Sisteme gelen kar yükünde, sehim formu çalışırken, kemer formunu oluşturan ipler yük olarak boşa çıkmaktadır. Aynı şekilde rüzgâr yükünde ise, kemer formu çalışırken, sehim formundaki ipler boşa çıkmaktadır.

Boşalma oluşan doğrultuda elemanların kuvveti sıfır ya da negatif olmamalıdır. Gerilmenin sıfır ya da negatif olması o halatta burkulma ya da örtüde kırılma olduğunu gösterir. Bu da yerel stabilitenin bozulduğunu gösterir. Diğer taraftan da gerilmenin arttığı doğrultuda oluşan kuvvet elemanın taşıma gücünden fazla olmamalıdır (Dansık, 1999). Masa örtüsünde olduğu gibi germe sistemlerdeki membran örtü dokumalarında da, liflerin her biri bir halat fonksiyonu oluşturmaktadır. Bundan dolayı örtünün kendisi taşıyıcı olarak çalışmaktadır.

1.2.2. Germe Sistemlerin İmalatı

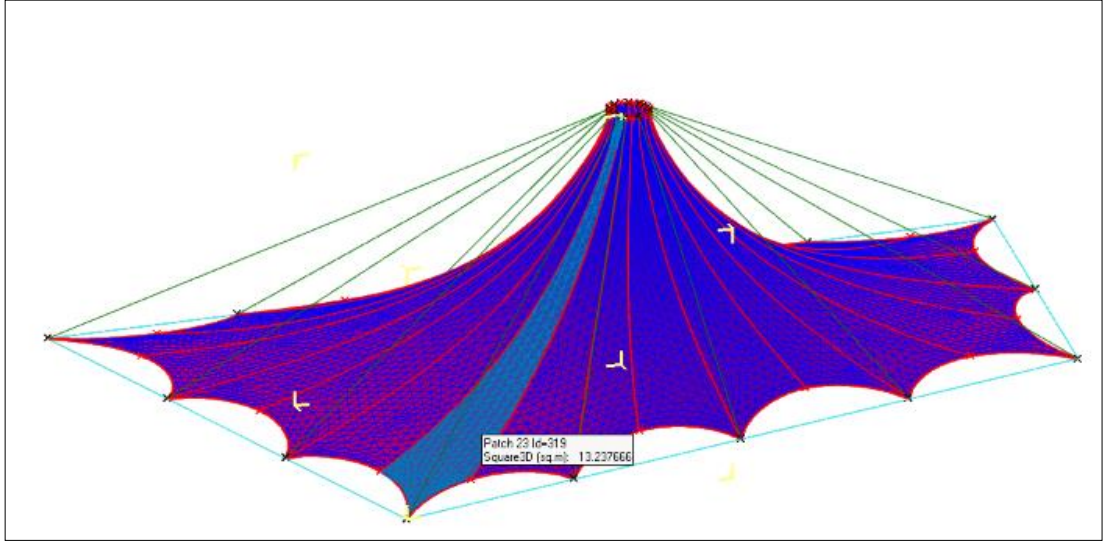
Asma germe sistemlerin eğrisel ve organik tasarım merkezli olmasından kaynaklı form farklılıkları, imalat konusunda standardizasyonu sınırlamaktadır. Tasarımın statik analizi ve denge formu sağlandıktan sonra temel ve yan elemanların imalatının nasıl yapılacağı belirlenmektedir. Yüzey kaplaması olarak membran tasarlanması üç aşamadan meydana gelmektedir;

-Biçim (form) bulma teknikleri kullanılarak kararlı şekiller elde edilebilmesi.

-Uygulanan yükler altındaki kararlı şekillerin üzerinde oluşan gerilmelerin bulunması.

-Membran imalatında kullanılan kesme kalıplarının oluşturulması.

Biçim (Form) bulma sürecinde kablo ve/veya membranın bağlantı noktalarına uygulanan ön gerilmeye bağlı olarak yapının fiziksel biçimi elde edilmektedir. Membran elemanın nihai biçimi uygulanan ön germe değerlerine göre değişmektedir (Bakbak, Özakça ve Göğüş, 2016). Örtü kısmı için kullanılacak olan membran kumaş toplarından, tasarıma göre ölçüleri belirlenip, kesme kalıpları çıkarılmaktadır. Kesme kalıplarını çıkarmak için genellikle Forten, Easy, WinTess, Membranes24, Dlubal, K3-Tent gibi ticari yazılımlar kullanılmaktadır (Şekil 1.8)(Şekil 1.9).

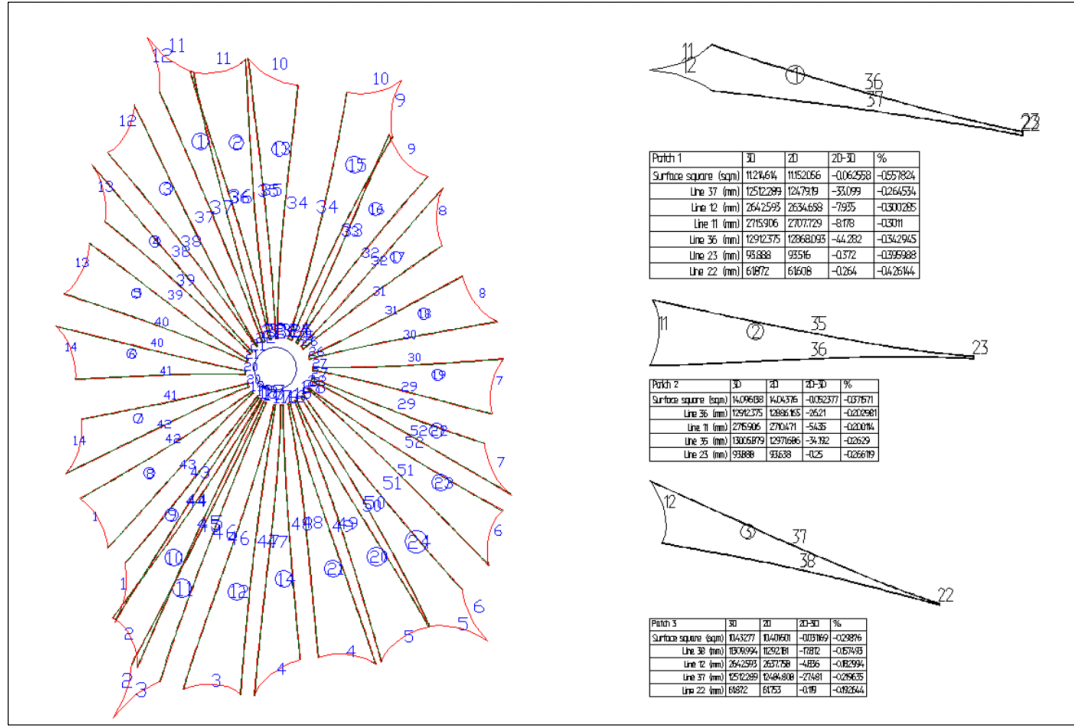


Şekil 1.8: K3-Tent programında kesme kalıbı çıkarma işlemi

Form bulma işlemini yapan pek çok program bulunmakla birlikte yük analizi ve imalat kalıplarının üretimini yapan program sayısı azdır (Bakbak, Özakça ve Göğüş, 2016). Germe sistemlerin örtüsü, genellikle geniş yüzeylerden oluşmaktadır. Bundan dolayı geniş yüzeyler, kumaş toplarının en ve boylarına göre panellere ayrılmaktadır. Panel parçaları, yüzeyde dilimler halinde, kumaş topunun genişliğine uygun biçimde bölünmektedir. Paneller, kâğıt şeritler yardımıyla eğrisel formdaki yüzeyden ayrılarak düz bir zemine konumlandırılmaktadır. Düzlemdeki paneller eğrisel formdaki haliyle indirildiğinden uzamış ve gerilmiş yapıdadır.

Bundan dolayı henüz gerilmemiş kumaştan, gerildikten sonraki oluşacak uzama payının kaldırılması için kesilerek, küçültme işlemi uygulanır. “Küçültme oranı, sadece ilk andaki öngerme değil, malzemenin zaman içerisinde esnemesinden ve yüklemeler altında uzayıp kısalmasından oluşacak gerilme kayıpları ile birlikte ilave uzamalar da göz önünde tutularak belirlenmelidir.” (Dansık ve Şahin, 2015). Bu şekilde yüzeyin sürekli öngerme kuvveti etkisi altında olması sağlanmaktadır.

Membran kesim imalatlarında bırakılan kaynak payı oldukça önemlidir. Bazı kaynak makinalarının kaynak yapabileceği mesafe kısıtlı olabilmektedir. Ayrıca bırakılan kaynak payı mesafesi önemli olduğu kadar genel membran çizimin nerelerden pay edildiği de yırtılma mukavemetini ve statik değerlerini etkileyebilmektedir.



Şekil 1.9: K3-Tent programında kesme kalıplarının şematik plan oluşturulması

“Yapılan kaynağın, membran yüzeyinde oluşan gerilmeleri taşıyabilecek kapasitede olması gerekir. Buna göre kaynak genişlikleri ayarlanabilir. Ayrıca, uygulanacak kaynağın membran yüzeyinde bulunan, membranın dış etkilere karşı direncini belirleyen koruyucu tabakaları eritmemesi de önemlidir.”(Dansık ve Şahin, 2015)

Statik analizi yapılan germe sistemin maksimum ve minimum gerilmelere karşı direnci test edilmektedir. Kumaşın kesilme oranı örtü malzemesine uygulanacak çift yönlü çekme testine göre belirlenmektedir. Bu test sonuçlarına göre kalıp imalatı ve panel küçültme işlemleri başlatılmaktadır.

1.2.3. Asma Germe Sistemlerin Strüktürel Çalışma İlkeleri

Asma germe sistemler, genellikle kablo ve çubukların birbirlerine ankraj edilerek gerilmiş ağ sistemlerinden oluşmaktadır. Bu ağ sistemlerine gerekli örtüler asılarak forma, fonksiyon verilmektedir. Kararlı denge formu arayışlarında üçgen prizmalar kullanılarak tensegrity hücreleri oluşturulmuştur. Prizmanın kenarlarını basınç çubukları, alt ve üst tabanı, çekme kabloları oluşturmaktadır. Oluşan bu yapı statik olarak stabil değildir. Çubuklar ve kablolarda kuvvet iletimi olmadığı için

asma germe prensiplerine uymamaktadır. Çubuklar üçgen prizmanın yan yüzeyleri üzerinde belli açı yaparak çapraz konumlandırılırsa çubuk ve kablolarda kuvvet iletimi oluşmaktadır. Fakat bu sistem stabil olmayıp, dengede durmamaktadır (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe prensibine uyan yapı, prizmanın ağırlık merkezinden geçen aks çevresinde saat yönünde veya ters yönde, prizmanın herhangi bir üçgen yüzeyinin sabit tutularak minimum 30° çevrilmesi ile oluşturulur. Bu yapıya “ Basit asma germe hücre” adı verilir. Birbirini kesmeyen basınç çubukları, çekme kablolarının oluşturduğu iç gerilme sayesinde rijit olup dengededir. Bu denge hücrelerin tutarlı bir geometri oluşturmasına bağlıdır (Üzer, 2015).

Asma germe sistemini oluşturan basınç çubuklarının birbirlerine değmeden sadece kablolar yardımıyla dengede kalabilmesi sistemin çalışma ilkesini gözler önüne sermektedir. Düşey izdüşümde bakıldığında çubukların birbirleriyle temasının olmaması çekme kablolarının iç gerilmesi ve çubuklarda meydana gelen sürekli gerilimle açıklanmaktadır.

Uzaysal kablo ağı görünümündeki asma germe sistemler, x, y, z düzlemlerinde üç boyutlu olarak ifade edilir. Asma germe sistemlerin geometrik denge ve stabil durumlarını kontrol etmek için üç boyutlu ortamda “Form Bulma” yöntemlerinden yararlanılır. Eğer sistemler geometrik ve kuvvet iletimi bakımından dengede olmazsa, tutarsız formlar oluşabilir. Bu tür formlara “tanımsız” ya da “sonsuz” formlar denir. Tutarsız formlarda sistem dengede kalmamaktadır (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe sistemlerde, çubuk ve kablolarla oluşan ağdaki bağ yerlerinin şekli, sistemin formunu belirlemektedir. Asma germe sistemlerin sınıflandırılması, sistemdeki basınç çubukların ve gergi kabloların sayısı ile ilgilidir. Bağ şekilleri sonucu oluşan yüzeyler sistemin genel formunu meydana getirmektedir.

Betonarme, çelik, ahşap gibi geleneksel olarak kabul edebileceğimiz yapı sistemleri, dışarıdan gelebilecek yükler karşısında strüktürlerinin rijit davranması ve direnç göstermesi beklenmektedir. Strüktür yük miktarına göre yatay veya düşey olarak göz ardı edilebilir deplasman sergileyebilmektedir. Asma Germe yapı

sistemlerde ise bu durum farklıdır. Asma germe sistemler bağıl bir yapı olarak çalışmasından dolayı bütüncül germe kuvvetleri açısından oluşmaktadır. En ufak kuvvet farklılıkları, kuvvet ağıını oluşturan basınç çubukları ve çekme kablolarının bağlanma şekillerinde değişiklikler meydana getirebilmektedir. “Şekil değiştirmeler ihmal edildiği durumda, sistemde statik ve mekanik belirsizlik ortaya çıkmaktadır. Statik belirsizliği önlemek için sisteme ön germe kuvvetlerinin uygulanması gerekmektedir.”(Üzer, 2015)

Asma Germe sistemlerin bileşenleri arasında kuvvet iletimi söz konusudur. Kuvvet iletimi sonucunda, yapı elemanlarının oluşturduğu mekanizmanın çözümü için “Kinematik” analizin yapılması gerekir. Kinematik analiz, sisteme etki eden dış kuvvetleri düşünmeksizin, bileşenlerin yer değiştirme geometrilerinin incelenmesidir (Kaya ve Arun, 2005).

Kinematik tasarım yapı formunu oluşturabilecek hareket mekanizmanın belirlenmesini içermektedir. Hareketli yapılarda birçok farklı mekanizma çeşidi kullanılmaktadır. Mimar tarafından belirlenen yapı işlevleri dikkate alınarak formu oluşturacak mekanizma çeşidi belirlenir. Mekanizmanın, belirlenen formu oluşturabilecek mekanizmanın tasarımı 2 boyutlu olarak yapılır. Mekanizma tasarımı süresince; eleman boyutları, sayıları, düğüm ve sabit noktaları değiştirilerek ve farklı başlangıç hareket hızları verilerek mekanizmanın çalışması ve uygulanabilirliği ortaya konulur (Bakbak, Özakça ve Göğüş, 2016).

Asma germe sistemlerin kinematik analizi yapılabilmesi için sistem içindeki elemanların kuvvet ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Asma germe sistemlerin tasarımı, denge formunun arayışına bağlı olmasından kaynaklı, kullanılacak olan elemanların ölçüleri tasarım aşamasında değişiklikler gösterebilmektedir. Bundan dolayı kinematik analizi geleneksel yöntemlerle yapmak oldukça zordur. Günümüzde ticari veya araştırma amaçlı yazılımlarla bu tür analizleri yapmak mümkündür.

Mekanizmanın tasarımı için mevcut birçok program; kullanım kolaylığı, hareketli yapıların tasarımına uygunluğu, erişilebilirliği ve bütüncül tasarımın diğer aşamalarında kullanılacak programlar arasında veri akışı gibi kriterler göz önünde bulundurularak en uygun program seçilebilir (Bakbak, Özakça ve Göğüş, 2016).

Kablo, çubuk ve membran elemanlarında, bağlantı ve düğüm noktalarının serbestlik derecelerine ve ön gerilme değerlerine göre form bulma işlemi yapılmaktadır. İstenilen form elde edilemediği takdirde kablo, çubuk veya kullanılacak örtü malzemesi değiştirilerek geçerli ön gerilim değerlerine ulaşılması amaçlanmaktadır. Amaçlanan form sonuçlanıncaya kadar form arayışı devam edebilmektedir.

Kinematik açıdan incelenen bir mekanizmanın, tüm elemanlarının konumunu ya da herhangi bir noktasının yerini belirlemek için gerekli bağımsız değişken olan “mekanizmanın serbestlik derecesi”nin değeri (F) biliniyorsa, mekanizma kinematik olarak belirlidir (Üzer, 2015).

Kaya ve Arun (2005), bu mekanizmaları serbestlik derecesi birden büyük olan, ancak kontrol edilen parametre sayısının mekanik serbestlik derecesine eşit olduğu mekanizmalar olarak tanımlamaktadır.

Belirlenmiş olan parametre sayısının serbestlik derecesinden az olduğu durumlarda mekanizma kinematik olarak belirsizdir. Bu durumda mekanizmada bulunan elemanların hareketi sadece kinematik olarak değil, etki eden dış kuvvetler ve sistemin dinamiği ile belirlenir. Kinematik diyagramda mekanizmanın hareketi açıkça izlenebilmelidir. Geometrik yapısı tanımsız sistemler kinematik olarak belirsizdir (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe sistemler uzaysal olduğu için bazı noktalardaki elemanların konumu belirlense bile, diğer noktalardaki elemanların konumlarının geometrik bağlantılar ile saptanması zordur. Bu tip sistemlerin çözümü için detaylı çalışmalar yapılması gerekir.(Üzer, 2015)

Kinematik zincirler, serbestlik derecelerine göre $F \geq 1$ ise hareketli, $F < 1$ ise kilitlenmiş fakat statik olarak belirsiz, $F = 0$ ise kilitlenmiş zincir statik olarak belirli bir yapıyı temsil eder. Eğer $F = -1$ gibi değerlerde ise kinematik zincir olarak belirsizdir (Akçalı, 2002). Rijit asma germe sistemlerin, çubuklar ve kablolar arasında oluşan iç gerilme kuvvetleri ile dengede olmaları gerekir. Sistem mekanizmasının statik belirli olma zorunluluğu vardır. Tüm sistemin dengesi, iç

gerilmeler olan basınç ve çekme kesin değerlerinin eşitliğine bağlıdır. Sistem, iç gerilmeler sayesinde dengededir. (Üzer, 2015)

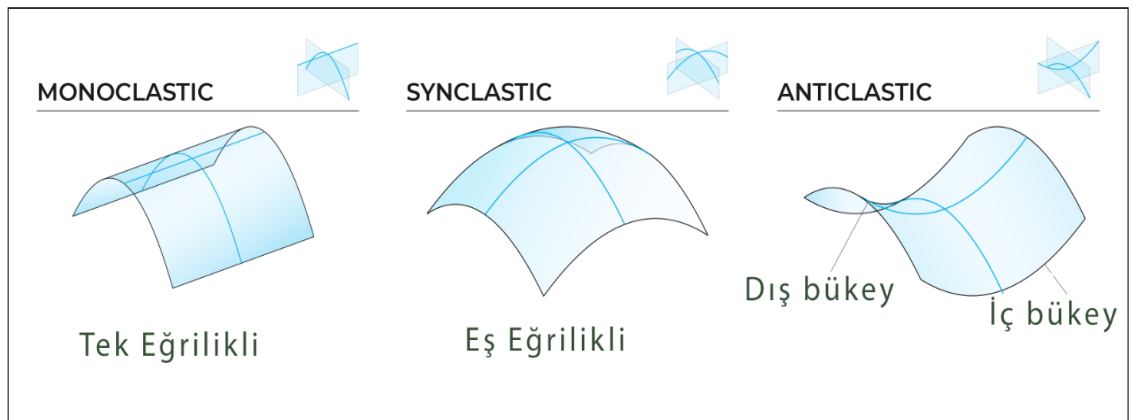
Asma germe sistemlerin denge eşitliği:

$[A] \cdot \{t\} = \{0\}$ Burada $[A]$, sistemin geometrik parametrelerine bağlı denge matrisi, $\{t\}$ ise iç gerilme vektörünü ifade etmektedir. Dış kuvvetlerin etkisi düşünülmezse, sistem içindeki vektörel kuvvetlerin bileşkesi sıfır değerini alıyorsa sistem dengededir (Kaya ve Arun, 2005).

Asma germe yapı sistemlerinin analiz ve tasarım süreçlerine diğer yapı strüktürlerine kıyasla daha titiz yaklaşılmaktadır. Asma germe sistemlerde öngermeli halat olmasından dolayı kusurlu yapı olarak kabul edilmektedir. Asma germe sistemlerdeki yer değiştirmeler, sistemin sürekli gerilim devamlılığı için birer tehdit unsuru görülerek dikkat edilmesi gerekmektedir.

Asma germe sistemlerdeki yüzey eğrilikleri belirli matematiksel ifadelerle açıklanmaktadır. Asma germe sistemlerde denge formu, yüzeylerin Gauss eğriliklerine göre tanımlanabilmektedir. Eğriliğin negatif veya pozitif olması durumunda bir yönde dışbükey ve diğer yönde içbükey "Anticlastic", eş eğrilikli "Synclastic" formlar olarak nitelendirilmektedir.

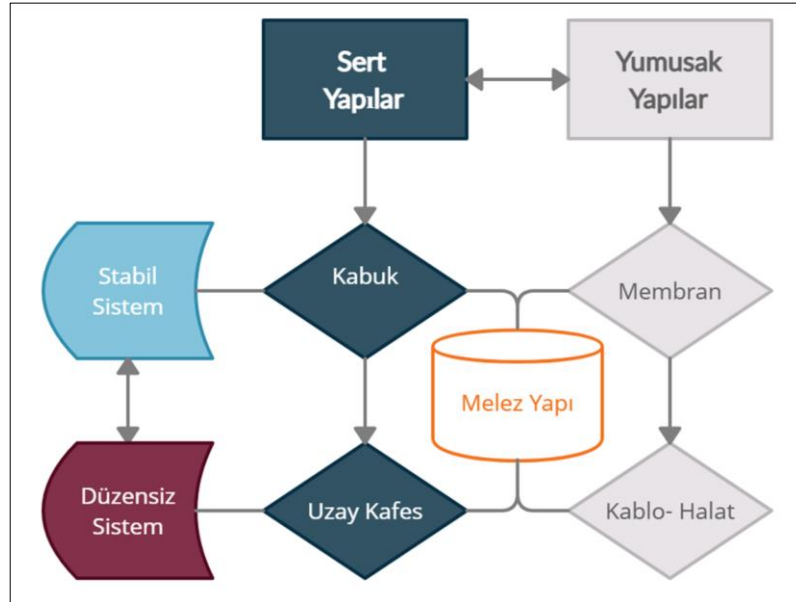
“Bir yüzeyin Gauss eğriliği; yüzeyi tanımlayan iki ana doğrultudaki eğriliklerin çarpımıdır. Eğer bu eğrilikleri belirleyen yayların birinin merkezi yüzeye göre ters yönde ise bu eğriliklerden biri negatif olarak kabul edilir ve Gauss eğriliği negatif olur.” (Dansık ve Şahin, 2015)



Şekil 1.10: Yüzey eğriliklerinin farklı formları (Url-16)

1.3. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Çeşitli strüktürel sistemlerin kolaylıkla sınıflandırılabilceği basit bir figür önerilmektedir (Şekil 1.11). Bu şekle göre malzemeler iki bölüme ayrılabilir. Birincisi, betonarme, çelik çerçeve vb. malzemeler ile yapılan sert yapılardır; yük altındaki ilk yapısal şekilleri sabit bir form olarak belirlenmiştir. Diğeri ise kumaşlar, kablolar vb. malzemeler ile yapılan yumuşak yapılardır; yük altındaki ilk yapısal şekilleri belirlenmemiştir. Bu iki yapısal sistem farklı davranış biçimleri sergilemektedir. Birincisinde, dış yük seviyesi yükseldikçe ve belirli bir kritik noktaya ulaştıkça yapısal stabilite, stabilden düzensizliğe doğru değişmektedir. Ancak ikincisi, gerilimsiz bir durumda kararsızdan kararlıya, zıt fenomeni göstermektedir. Bu nedenle yapısal tasarımda sert yapıların, bükülme eylemine karşı kritik yükü kontrol etmesi gerekmektedir. Ancak yumuşak yapılar, başlangıç gerilmelerinin ortaya çıkması nedeniyle şekil bulmaya ihtiyaç duymaktadır. İkinci olarak, mekânsal yapılar nasıl birleştirileceğine göre gruplandırılır; biri kabuk ve membran yapılar gibi sürekli bir sistemle inşa edilmekteyken diğeri ise uzay çerçeveleri ve uzay kabloları gibi farklı sistemlerden oluşabilmektedir.



Şekil 1.11: Strüktürel Sistemlerin sınıflandırılması

Son yirmi yılda, gerilme mimarisinin uygulama sayısı ve kapsamında hızlı bir artış görülmektedir. Çoğunlukla, germe yapılar, performans ve açık hava sergi

alanları, tiyatrolar, müzik sahneleri, giriş garaj yolları, park alanları, yürüyüş yolları, stadyumlar, kubbeler ve havaalanları üzerinde dramatik bir etki yaratmak için kullanılmaktadır. Asma germe sistemlerdeki tasarım özgünlüğü ve oldukça yüksek form çeşitliliği asma germe sistemlerin sınıflandırılmasında riziko oluşturmaktadır. Bu yüzden sınıflandırma çalışmalarında geometrisi matematiksel ifadelerle tanımlı biçimler kullanılması gerekmektedir. Geometrik teoremi yöntemi, asma germe sistemlerin sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle, sistem içindeki elemanların birleşimleri doğrultusunda oluşan kuvvet iletimi gözlemlenir. Çekme ve basınç elemanları tespit edilir. Düğüm noktalarındaki kuvvet bileşkeleri belirlenir. Denge de duran sistemin geometrisi tanımlanır (Üzer, 2015).

Asma germe sistemler, bükülme, sıkıştırma veya burulmanın olmadığı, ancak gerilme kuvvetlerinin mevcut olduğu çekme malzemelerden, kablolardan veya zarlardan yapılmaktadır. Yapı malzemelerinin hafif olması ve eğimli yapılarda ankraj olabilecek büküm elemanlarının bulunmaması nedeniyle genellikle geniş açıklıklı bir yapı olarak kullanılmaktadır. Asma germe yapılar farklı boyut, ölçek, şekil ve formda gelerek, aynı temel unsurlardan oluşmaktadır:

- Stabilité için gerilmiş ve genellikle çatı kaplama malzemesi olarak kullanılan hafif ve esnek yapıdaki kumaş membran.

- Genellikle sınırlarda veya kenarlarda kullanılan bağ veya kablo gibi esnek doğrusal elemanlar.

- Genellikle sıkıştırmada yükleri arttıran, direkler, çerçeveler, halka, kemerler ve kenar kirişleri gibi sert destek elemanlarından oluşmaktadır. Sert destek elemanları genel olarak çelik, beton ve ahşap gibi geleneksel yapı malzemeleriyle uygulanmaktadır.

Asma Germe Yapı Sistemleri üç ana grupta sınıflandırılabilir (Bakbak, 2011)

- Boundary Asma Germe Yapılar

- Pnömatik ve Hava Destekli Yapılar

- Kablo Ağı Sistemli Yapılar

1.3.1. Boundary Asma Germe Yapılar

Sınırlı gerilmiş membranların sınırları, esnek gergi kablolarından veya sınırı karşılamak için sert bir çerçeve kirişten oluşmaktadır. Sınır unsurları, sadece sınırın değil, bütün olarak yüzeyin şeklini ve gerilim belirledikleri için asma germe yapı sistemlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Yüzeydeki ön gerilim seviyesi, bir yandan yapının ömrü boyunca olası bir gerilim kaybını önlerken diğer yandan malzemenin elastik deformasyon aralığında kalmasını sağlamak için uygun seviyede olmalıdır. Rüzgâr ve kar gibi dayatılan yükler altında, yüzeydeki gerilme 6-8 değer artışı sağlayabilir. Hatta gergi membranlarının 10 kat tasarımı, ilk ön gerilimde kumaşın kopma mukavemetinin yaklaşık 1/20'sinde tutmayı amaçlamaktadır. (Lewis, 2003)

Bu yapılar kenar kabloları veya sert çerçeveler gibi sınır elemanlarının üzerine gerilmiş membran örtülerden oluşmaktadırlar. Biçimleri ve boyutları bu sınır koşulları tarafından kontrol edilebildiği için, yeni ve ilginç form bulma olasılık sayısı sonsuz şekilde olabilmektedir. Sınır gerilmiş membranlar ile hava destekli yapılar arasındaki temel fark, ön gerdirme yöntemidir. Her ikisi de stabilite için membran ön gerilimlerine sahip olsa da, sınır gerilimli membranlar genellikle mekanik olarak gerilirken, hava destekli yapılar iç hava basıncı ile pnömatik olarak gerilmektedir.



Resim 1.12: Luxes Island Saddle Club, sınırlı gerilmiş asma germe yapısı, Çin (Url-13).

1.3.2. Pnömatik ve Hava Destekli Yapılar

Pnömatik yapılar fanların ürettiği iç hava basıncıyla gerilen ince zarlardan oluşmaktadır. Şekilleri, sıcaklık değişimleri, rüzgar ve kar yükü koşullarının bir sonucu olarak sürekli değişirken dış ve iç basınçlar arasındaki farktan çok güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Membran yüzeyler, yapay olarak verilen hava basıncıyla şişirilir. Hava basıncı yüzeyin her yerine stabil olarak yayılmaktadır.

Hava destekli yapılar, sınır gerilmiş membran yapılarına ve kablo ağlarına çok benzer görünseler de, aslında tasarım ve yapım açısından oldukça farklıdır. Hava destekli yapılar iç hava basıncı ile gerilen ince kumaş membranlara sahiptir. Dış kumaşta gerilimi korumak için basınç gradyanlarına dayandıklarından, sıcaklık, rüzgar ve kar gibi dış hava koşullarına diğer kumaş yapı türlerinden daha fazla duyarlıdır. Pnömatik yapılar, uygulanan kar yükleri $1,2 \text{ kN} / \text{m}^2$ ila $2,4 \text{ kN} / \text{m}^2$ arasında değişse de $0,2 \text{ kN} / \text{m}^2$ ila $0,55 \text{ kN} / \text{m}^2$ arasında değişen iç basınçlar için tasarlanmıştır. (Lewis, 2003)



Resim 1.13: Wallace Park Kapalı Tenis Merkezi, Birleşik Krallık (Url-14).

1.3.3. Kablo Ağı Sistemler

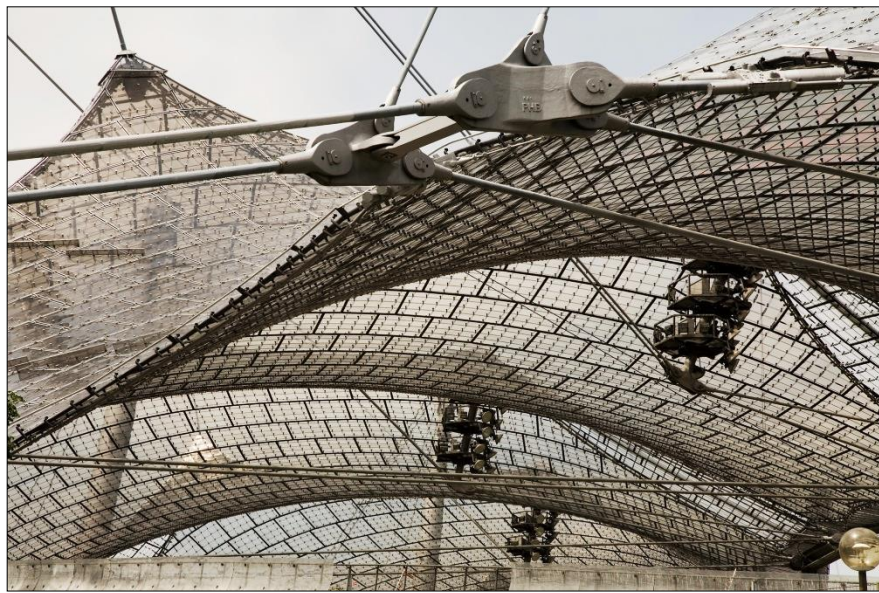
Kablo ağı sistemler, tasarım ve yapım açısından, sınır gerilmeli membran yapılarına çok benzemektedirler. Kablo ağı sistemlerini oluşturan kablolar ile kumaş membranın temel yapısal elemanı olan çift yönlü hareket edebilen kablo lifleri benzer yük taşıma davranışı sergilemektedir. Bundan dolayı temelde, bu yapıların analizi için fiziksel benzerlikleri, ayrı tipte bir membran olarak kabul edilebilmektedir.

Kablo ağları ile kumaş membranlar arasında ayırım yapılmasının ana nedenleri, kablo ağlarının makaslama gerilimlerini iletmemesi ve yakından örölmüş çözüğü ve atkı ipliklerin arasındaki yer değiştirmelerin doğru bir şekilde hesaplanamamasından kaynaklanmaktadır.

“Yapısal bakış açısından, kablo ağları ile kumaş yapılar arasındaki temel fark, kumaş yapıların membran kesme kuvvetlerini destekleyebildiği halde, yüzeyin deforme olmasından dolayı kablo ağlarının dayanıklı olmamasıdır.”(Sanchez, Serna ve Morer, 2007).

Kablo ağları, basınç halkası ve çekme halkası kirişleri gibi sert destekler veya destekleyici direk ve bağları olan esnek kenarlı kablolar kullanılarak doğrudan gerilebilmektedir. Kompleks çatı kaplaması olarak asma yapı şeklinde olabilir veya betonla kaplanabilmektedirler. Öngerilmeli kablo ağı beton bir kabuğun bir parçasını oluşturuyorsa, hafif bir asma germe değildir ve esneklik avantajını kaybetmektedir.

“Genelde hiperbolik paraboloid yüzey geometrisine sahip çift eğrilikli kablo ağ biçimindeki asma çatılar zıt eğrilikte ve birbirini dik kesen kablolardan oluşur. Bu tür sistemlerde bir grup kablo sistem yükünü taşırken diğer bir grup taşıyıcı kabloların stabilitesinin sağlanması ve sisteme öngerilme verilmesi amacıyla kullanılırlar.” (Nuhoğlu, 2004).



Resim 1.14: Münih Olimpiyat Stadyumu, kablo ağlı sistem örneği (Url-15).

1.4. ASMA GERME YAPI SİSTEMLERİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Asma germe sistemler kullanım açısından olumlu veya olumsuz birçok özellik barındırmaktadır. Asma germe sistemlerde yapının tasarım boyutu, diğer yapılarda olduğu gibi avantajları ve dezavantajları bakımından önemli rol oynamaktadır. Uygun ve iyi tasarlanmış yapısal formların kullanılmasıyla, asma germe yapılar çok ilgi çekici mimari yapılar haline gelebilmektedir. Kullanılan örtü sistemlerinin hafif olması ve çekme kuvvetlerinden kaynaklı taşıyıcı özellik barındırması, çelik, ankraj gibi taşıyıcı detay elemanların az kullanılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla oluşabilecek fazla ağırlıkların azalması ekonomik ve statik açıdan yapıya olumlu çözümler sağlamaktadır. Asma germe sistemlerin strüktür olarak geniş açıklıkları geçebilmesi kolon kullanımını aza indirerek esnek tasarım fırsatı sunmaktadır. Asma germe sistemler farklı avantajları da ortaya koymaktadır:

-Sınırsız form alternatifleriyle neredeyse her koşula uygun tasarlanabilmektedirler

-Kullanılan örtü çeşidine ve kullanıldığı yere göre çatıdan ve cephelerden doğal aydınlatmayı mümkün kılabilirler.

-Strüktüründe kullanılan malzemelerin kesitlerinin diğer strüktürlere nazaran küçük olması, imalatını ve malzeme tedariklerini kolaylaştırmaktadır.

-Hafiftirler ve nispeten düşük maliyetle taşınabilmektedirler.

-Birim alan başına oldukça düşük maliyetlerle geniş alanları kaplamak için kullanılabilirler.

- Prefabrik üretilmektedir.

-Bükülme veya burkulmanın dikkate alınmasına gerek olmadığından, malzemelerin verimli bir şekilde kullanılmasına neden olmaktadır.

Öte yandan asma germe membran yapılarının bazı dezavantajları vardır:

-Ağır hava şartlarından olumsuz etkilenebilirler.

-Çekme dayanımı ve gerilim kaybı stabiliteyi bozabilmektedir.

-Asma germe sistem strüktürlerinde bağlantı noktalarında, iklim değişikliklerinden dolayı kablolarda gerilim ve salınım meydana getirebilmektedir. Bundan dolayı belirli zaman aralıklarında kontrollü bakım gerekebilmektedir.

-Üretimde ve imalatta kalifiyeli işçilik tedarigi ve teknolojik altyapı sınırlıdır.

1.5. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ

Mimari yapılar, insanoğlunun yerleşik hayata geçmesiyle, daha çok barınma odaklı ve dayanıklı strüktür biçimlerini benimsemiştir. Rijit malzemelerle yapılan yapıların yaygınlaşması ve birer kültür oluşturması, asma germe sistemler için tasarım süreçlerinin alışlagelmişin dışında görülmesine ve birçok tanımlamalar yapılmasına neden olmuştur. Asma germe sistemlerin çalışma prensibi olarak atası kabul edilen ve mimarlık tarihi genlerinde önemli konuma sahip olan çadır yapıların tarihi, yerleşik hayattan çok daha öncelerine dayanmaktadır. Asma germe sistemler, 20.yy başlarında teknolojinin hızlı ivmesi sayesinde, çadır yapıların bilim ve teknoloji etrafında yeniden yorumlanmasıyla günümüz mimarisine kazandırılmıştır. Asma germe yapı sistemlerinin diğer yapı strüktürlerinden ayıran temel özelliklerinden bazıları, kararlı denge formu ve statik farklılıklardır. Yapıların kendini taşıması ve ayakta durması, tarih boyunca birçok farklı strüktürel tasarıma olanak sağlamıştır. Yapılarda kullanılan malzemenin çeşidi, ağırlığı, kesiti yapı strüktürüne doğrudan etkisi olmaktadır.

Mimarlıkta yapısal evrim, iklimsel değişikliklere, doğal afetlere karşı en başarılı sonuçları ortaya koyan ve insanoğlunun kendini güvende hissettiği rijit, sağlam malzemelere doğru yönelim göstermiştir. Bundan dolayı mimarideki doğal seleksiyona göre, yapıların taşıyıcı sistemleri içeriğinde yumuşak malzemelerin barınması oldukça güç görülmüştür. Endüstri devriminden sonra gelen teknolojinin geometrik artış hızı, sanayileşme ve üretim hızının artmasına ve yeni malzeme türlerinin keşfine yol açmıştır. Polimer ürünler, icadıyla birlikte, günümüz araç gereçlerinde en yaygın kullanılan malzeme türlerinden biri haline gelmiştir. Teknolojideki bu atılım, yumuşak, katı, sert, esnek gibi malzeme niteliklerindeki alışagelmiş tanımlamalarda karmaşıklıklara yol açmıştır. Öyle ki yumuşak ve esnek bir malzeme türü olarak kabul edilen PVC, PTFE, ETFE gibi polimer malzemeler

belirli koşullarda sert, rijit ve dayanıklı davranışlar sergileyebilmektedirler. Malzemelerdeki bu çeşitlilik, taşıyıcı sistemlerin ve yapı strüktürlerin, hafiflik, maliyet ve fonksiyonellik bakımından yeniden ele alınmasını sağlamıştır. Asma germe sistemlerin, geniş açıklık geçmede veya şeffaf boşluklar oluşturmada kullanılması, çelik ve cam malzemelerini tekel olmaktan çıkarmaktadır. Yapıya fazladan yük bindirme dezavantajlarını da hafifletmektedir. Yapı strüktüründe organik esnek bir malzeme kullanılması, tasarımda farklı olasılıkları arttırmaktadır. Ancak yine de kararlı denge formu arayışı asma germe sistemlerin tasarımında hatırı sayılır bir kısıtlama uygulayabilmektedir. Diğer strüktürlerdeki deplasman, gibi küçük yer değiştirmelerin genel yapı taşıyıcı sisteme etkisindeki gözardı edilebilirlik, asma germe sistemlerdeki salınım ve gerginlik kayıplarında kabul edilmemektedir. Asma germe sistemlerdeki hassas dengede, kaos ile düzen harmonik bir şekilde çalışmaktadır. Kablo, çubuk ve örtü elemanlarının kuvvet iletimleri arasındaki iletişimini çıplak gözle görebilmek, estetik anlamda mimarinin isteklerine cevap verebilmektedir. Asma germe sistemlerin farklı nitelikleri barındıran malzemelerle bir araya gelmesi, diğer yapı türleriyle birleşimlerinde kolaylık sağlamaktadır. Birçok malzemenin bir arada bulunması sistemin sınıflandırılması anlamında zorluk ortaya koyabilmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. MEMBRAN ÖRTÜ SİSTEMLERİ

Membran örtü sistemleri, Gauss eğriliği negatif olan "Anticlastic" yüzeyler, ve eş eğrilikli "Synclastic" yüzeyler olarak karşımıza çıkmaktadır. Negatif Gauss eğriliği yüzeyde iki yönlü kuvvetin, koni, eyer veya hiperbolik parabaloid gibi zıt yönlerde olduğu anlamına gelmektedir.

Kumaşa her iki yönde ön gerilim uygulanarak ortaya çıkan zıt yön kuvvetleri birbirini dengelemektedir. Eş eğrilikli yüzeylerdeyse durum tam tersi şekilde görölmektedir. "Synclastic" yüzeyler pozitif Gauss eğriliğine, yani aynı yönde, kubbe eğriliğine sahiptirler. Kuvvetler aynı yönde olduğundan, bu kuvvetlerin hava basıncı

ile dengelenmesi gerekmektedir. Antiklastik yüzeyler, doğrusal, katener veya eğimli olarak üç genel tipe ayrılmaktadır. Yüzeyler, sınırlarındaki eğriliklere göre sınıflandırılmaktadır. Farklı sınırlardan oluşan yüzeylerin kombinasyonları, çeşitli membran formları oluşturmaktadır.

2.1. MEMBRAN ÖRTÜ SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Asma germe membran sistemlerin, örtü kısmı temel, diğer destekleyici kısımları ise yan elemanlar olarak çalışmaktadır. Membran örtü ile destek elemanları bir arada kapsayan membran yapılarla, oldukça geniş açıklıklar sağlanabilmektedir. Membran örtülerin malzeme özellikleri, genellikle dış etkenlere dayanıklı ve bulunduğu konuma elverişli olarak tercih edilmektedir.

Asma germe membran sistemler için kabul edilen birkaç sistem bulunmaktadır. Asma germe sistemlerde kararlı denge formunun bulunması birçok etkene dayanmaktadır. Tüm bu detayların çokluğu asma germe sistemlerdeki benzerlik oranlarını düşürmektedir. Her çalışan sistem teknik olarak benzersizdir. Bu sistemler, ilginç ve daha karmaşık tasarımlar oluşturmak için birbirleriyle birleştirilebilmektedir.

2.1.1. Kemer Destekli Yapılar

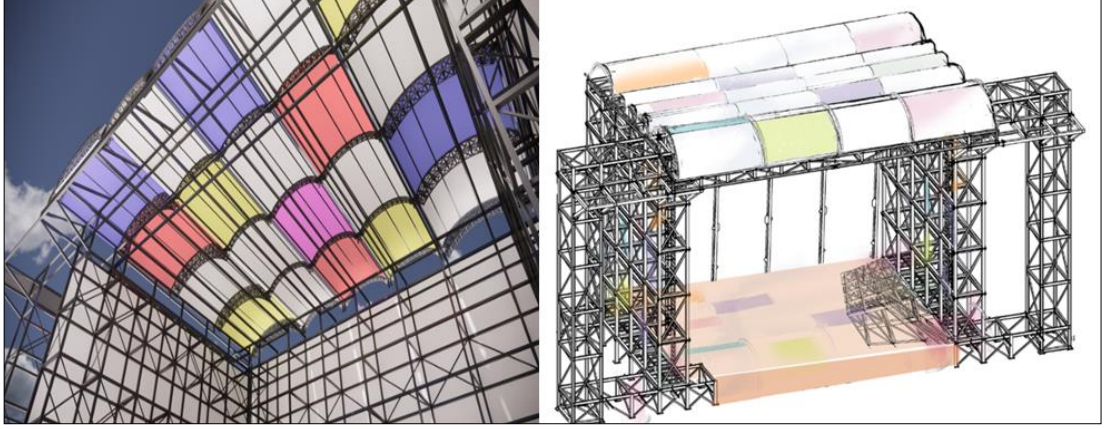
Kemer destekli membran yapılar, üç düz sınır ve bir kıvrımlı sınıra sahip eyer formundan oluşmaktadır. (Huntington, 2004). Kemer destekli membran yapılarda, ana destekleri için birbirine paralel yerleştirilmiş kavisli elemanlar kullanılarak ek iç destek ihtiyacı ortadan kaldırılmaktadır. Kemer destekli membran yapılarda, membran tam gerilimle çalışırken, kemer en uygun biçimde tam basınçla çalışmaktadır. Böylelikle konsept verimli strüktür biçimi ortaya koymaktadır. Çapraz kemerler veya çapraz bağlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistemler, yaklaşık 7-8 metrelik açıklıklar için oldukça verimli bir şekilde tasarlanabilmektedir. Membran kumaştaki eyer eğrilğini oluşturan kemer ve membran arasındaki etkileşim, burkulmaya karşı yeterli direnç sağlamaktadır. Bu direnci sağlayabilmek için kemerin nispeten sert ve düşük bükülme sertliğine sahip çelik boru elemanlardan oluşması gerekmektedir. Boru şeklindeki çelik elemanların enine kesiti, strüktürel

yapısı ile membranın ön gerilmesi ve özellikleri gibi diğer faktörler, gerilmiş membran ile destekleyici yapı arasındaki yüklerin etkileşim derecesini ve aktarımını etkileyebilmektedir. Membranın eğri yönünün kemere dik açılarda tutulması, mafsallı kemer destekleri tasarımında çok önemlidir. Membran ve kemer yapısının başarılı bir tasarımı, kemeri dengede stabil şekilde tutacak kuvvetlerle sağlanmaktadır. Açıklık mesafesi arttıkça kemer yapısı için kullanılan çelik makas boruların kesiti, sertliği ve sayısı arttırılmaktadır. Bu bükülme sertliği arttırılırken, zemine bağlantı menteşeli olmaktadır. Böylece kemerin yüklenmesi ile ortaya çıkabilecek küçük farklılıklar ve istenmeyen tepki kuvvetleri kontrol altında tutulabilmektedir. Büyük ölçekli kemerli çatı sistemlerinin çeşitli nedenlerden dolayı katener veya ideal kemer formunu yakalayamaması sonucu, bazı dezavantajları oluşturmaktadır.

“İlki, form bulurken kar ve rüzgâr yükleri gibi hareketli yükler, ön gerdirme ve sabit yüklerden kaynaklanan yüklerle birlikte dikkate alınır. Ayrıca kar ve rüzgâr ile oluşan asimetrik yüklenme, kemerde eğilme gerilmelerine neden oluşturur. İkincisi, kemerli çatının stabilizasyonu önemlidir ve bazen oldukça zordur. Ancak, daha önce bahsedildiği gibi, membran, kemerin stabilize edilmesine yardımcı olabilir. Bu nedenle, tabanda yapıya zarar verebilecek yüksek geri tepme kuvvetlerini önlemek için taban bir menteşe olarak bağlanabilir ve bağlanmalıdır.” (Son, 2007)



Şekil 2.1: Düzce Üniversitesi Amfi tiyatro kemer destekli üst örtü kapama tasarımı



Şekil 2.2: Konser alanı kemer destekli üst örtü kapama tasarım çalışmaları



Resim 2.1: Buz Pateni Pisti Olimpiyat Parkı, Münih (Url-17).

2.1.2. Birincil Destekli Yapılar

Genellikle ana destekli yapılar, merkezinde birincil destek görevinde olan taşıyıcı direktten ve etrafında basit koni formunda gerilen membrandan oluşmaktadır. Kemer destekli yapılarla farklılıkları bulunmasına karşın ana destekli yapılarda da eyer formu ve yüzeyler oluşturulabilmektedir. Yüke bakılmaksızın kablo desteklerinin gergin olmasına dikkat edilmektedir. Daha geniş alanları çevrelemek

için koni formu gruplar halinde tekrarlanabilmektedir. Ana destekli yapılar birçok uygulamayı yerine getirebilmesine ve geniş form yelpazesini sunabilmesine rağmen, kullanılan alanın merkezinde büyük bir yapısal taşıyıcı elemanın varlığı, estetik ve fonksiyonellik bakımından engel oluşturabilmektedir. Bu problemlere çözüm olarak içten askılı uçan kolon model geliştirilmiştir. Bu model tasarımında, ortadaki direk, kablolar tarafından desteklenerek havada bulunmaktadır. Direk kabloların gerilmesini sağlayarak kendi üzerinden yük aktarımını gerçekleştirmektedir. Kablolar yükleri yapının dışına doğru aktarır (Resim 2.2)(Resim 2.3).



Resim 2.2: İçten askılı uçan kolon model örneği, Konya Havalimanı (Url-18).



Resim 2.3: İçten askılı PTFE germe sistem, Münih Atık Yönetimi Ofisi (Url-19).



Resim 2.4: Birincil destek olarak direkli asma germe örneği (Url-20).



Resim 2.5: Ters şemsiye uygulama örneği (Url-21).

Ters şemsiye olarak bilinen, koni formunun ters çevrilmiş halindeki huni membran formu, ana destek yapıların başka bir örneğidir. Yüksekteki noktalar aşağı yönlü kuvvetleri, alçaktaki noktalar ise yukarı yönlü kuvvetleri üstlenir. Bu yapısal sistemi tasarlarken bazı hususlar dikkate alınması gerekmektedir. İhtiyaç duyulan ek yük taşıma destek yapılarının analizi sağlanarak, membranın yanılabilite üzerindeki etkileri gözden geçirilmelidir. Farklı yük bindirme, özellikle asimetrik yükleme ve başarısızlık senaryoları iyi hesaplanmalıdır (Resim 2.5).

2.1.3. Tepe ve Çukur Yapılar

Tepe ve çukur yapılar kavramı, kabloları birbirine zıt eğrilikte ve bitişik düzende döşeyerek hafif bir eyer oluşturmaya dayanmaktadır. Tepe kısımları yapının mahyasını oluşturmaktadır. Çukur kısımlar ise oluk görevi olarak değerlendirilmektedir. Membran yüzeyler, dönüşümlü tepe ve çukur kabloları tarafından oluşturularak sınırlandırılmaktadır. Tepe ve çukur yapılarda oluşturulan eğriliğin oldukça az olması nedeniyle, bu tür yapıların her koşulda uygulanabilmesi zor olmaktadır. Dolayısıyla tepe ve çukur yapıların tasarım kararı verilmeden önce birçok test ve yük bindirme analizleriyle fizibilitesinin gözden geçirilmesi gerekmektedir.

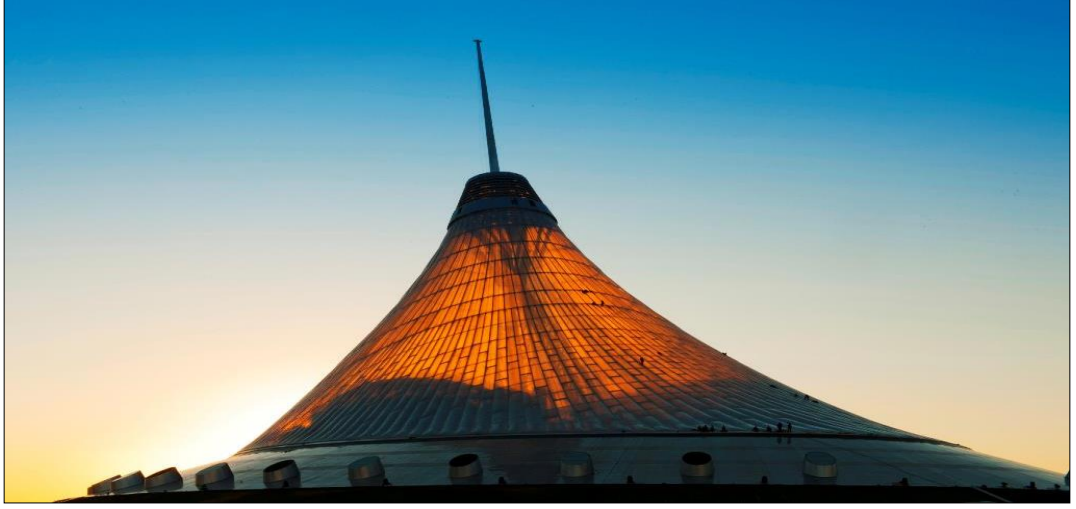


Resim 2.6: Denver Uluslararası Havalimanı, Elrey Jeppesen Terminali (Url-22).

2.1.4. Direk Destekli Yapılar

Destek yapısının direklerden oluştuğu membran yapılarda, membran kumaş direklerden veya diğer sıkıştırma elemanlarından sarkan kablolarla asılmaktadır. Bu tür bir sistem, uzun açıklıklı çatılar için idealdir. Direk yapılarının birçok formu vardır. Genellikle kullanılan ana üç biçim şunlardır: kablo destekleriyle sabitlenmiş menteşeli desteklere sahip direkler, membran tarafından sabitlenmiş menteşeli desteklere sahip direkler ve sabit desteklere sahip direkler. Direklerin hem aksel yükleri hem de yanal rüzgâr yükleri ve eğer direk açılysa hareketsiz yükleri

desteklemesi beklenmektedir. Direkler, moment gerilmelerini artıran eksenel kuvvetler sonucu, son derece hassas olduğu burkulmaya direnebilmesi için kafes şeklinde inşa edilmektedir. “Menteşeli taban, direkler döndüğünde başlangıçta yuvarlanabilmelidir. Ancak 2 derece döndükten sonra menteşenin kayabilmesi gerekmektedir. Aşırı sürtünmenin bu eylemi engellememesini sağlamak için inşaat ve malzemelerde dikkatli olunmalıdır.” (Son, 2007)



Resim 2.7: Kazakistan’da tasarlanan ETFE kaplı Han Çadırı (Url-23).

Direk destekli yapılara, 80.000 metrekarelik bir alanı kaplayan İngiltere, Greenwich’teki örnek olarak gösterilebilir. 72 ışınal kablo hattının desteklediği 12 kafesli çelik direkten oluşan tek bir modüldür. Rüzgâr ve yukarı kaldırma kuvvetlerine direnmek için membran ve direğin alçak noktalarına dengeleyici kablolar bağlanmıştır (Resim 2.8).



Resim 2.8: Richard Rogers tarafından tasarlanan Millenium Dome, İngiltere (Url-24).

2.2. MALZEME ÖZELLİKLERİ

Membran örtü malzemeleri barındırdığı özelliklerden dolayı 1970'lere kadar mimaride, göçebe barınakları, askeri çadırlar, sirk çadırları ve hatta Frei Otto'nun ilk eserleri dâhil olmak üzere, geçici yapılarda kullanımı amaçlanmıştır. Teknolojinin ivmesiyle son zamanlarda bu durum değişmektedir. Sentetik membran malzemeleri kullanan çoğu yapının artık on yıllarca dayanması beklenmektedir. Asma germe membran örtü sistemlerin dayanıklılığı, geleneksel yapı malzemelerini geçebilecek noktaya kadar gelmektedir. Ayrıca kullanılan malzemenin fazla olması bakımından ağır geleneksel yapılara, benzer ömürde ve yarı sürekli olacak şekilde tasarlanabilmektedirler.

Malzeme teknolojisi geliştikçe membran malzemelerin kullanım potansiyel alanları genişlemektedir. Dayanıklı ve yüksek mukavemetle kaplanmış dokuma kumaşların ve yüksek gerilme mukavemetine sahip çelik kabloların ortaya çıkmasıyla membran örtü sistemleri, büyük ölçüde gelişme kaydetmiştir.

Tekstil malzemeleri ilk olarak 18. yüzyılda farklı doğal esanslar kullanılarak kaplanmıştır. Daha sonraları kauçuk karışımlar, kaplamada kullanılmaya başlanmıştır. Kaplamalar sayesinde tekstil ürünlerine, su ve rüzgâr geçirmez özellikler kazandırılmıştır. 20. yüzyılda, yapay lifler icat edilerek, tekstillerin kaplanması ve katmanlaştırılması için yeni polimerler, yapay kauçuklar ve yapıştırıcılar piyasaya sürülmüştür. Bu fabrikasyon malzemelerle, doğal liflerin özelliklerinin geçilmesi amaçlanmıştır.

Membran malzemelerindeki önemli gelişmeler arasında 1933'te PVC'nin; 1938'de PTFE'nin; 1939'da naylonun; 1947'de polyester elyafın, 1972'de PTFE kaplı cam elyafların ve 1980 sonrası ETFE'nin geliştirilmesi yer almaktadır. Membran malzemelerin diğer geleneksel yapı malzemelerine alternatif oluşturabilmesi için geleneksel malzemelerdeki minimum avantajları elde etmesi gerekmektedir. Membran malzemeler polimer bazlı ve elastik oldukları için ısı dirençleri ve darbe dayanımları oldukça düşük sayılmaktadır. Bilim insanları, bu tür dezavantajların ortadan kaldırılması için, polimer membranların ısı direncini artırarak çift katmanlı, alev yürütmezliği yüksek, polimer malzemeleri geliştirdiler. Membran örtülerdeki bu

gelişmeler, asma germe yapıların, uzun ömürlü yapılar olarak hayatımıza girmesinde önemli rol oynamıştır.

Asma germe sistemlerde membran kumaş seçimi yapının tasarımı için büyük önem taşımaktadır. Malzemenin türü, yapısal işlevlerinin yanı sıra dayanıklılık, yalıtım, ışık geçirgenliği ve yangından korunma gibi diğer önemli özelliklere de katkıda bulunmaktadır. Ayrıca yapının membran kısmı, yapının görünümünde mimari kimlik olarak ana unsuru oluşturmaktadır. Günümüzde popüler olarak cam ve polyester laminatlar, kompozitler ve floroplastik filmler tercih edilmektedir. Membran kumaşlarda tercih edilirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli nitelikler, mekanik gerilme mukavemeti ve elastik özelliklerdir. Bundan dolayı, asma germe membran yapı projelerinde genellikle tüm hava koşullarına dayanıklı üç belirli membran kumaş malzemesi kullanılmaktadır: Politetrafloretilen (PTFE), polivinilklorür (PVC) ve etilenetetrafloretilen (ETFE). Bu malzemeler, birçok nedenden dolayı asma germe membran yapılarda ilk tercih sebebi olmaktadır. Bu malzeme türlerinin asma germe yapılarda sıklıkla kullanılma sebebi, strüktür destekleyici malzeme özelliklerinin yanı sıra mimari alanda uzun yıllar kullanımıyla, malzemenin davranış verilerinin bilinmesi ve tasarımcılar için kolaylık oluşturmaktadır.

2.2.1. Örgü Modelleri

Membran kumaş malzemesinin, yapısal bileşenleri genellikle, naylon, polyester, cam ve aramid liflerin dokunması ile oluşturulmaktadır. Lifler tek başına membran olarak dayanamadıkları için, birçok lif birbirine döndürülerek, bükülerek ya da paralel olarak bir araya getirilmektedir. Bu ipliklerin farklı üretim yöntemleri, membranın uzama ve esneme kabiliyetinde önemli rol oynamaktadır. Dokuma yöntemleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. İplerin birbirlerine paralel olacak şekilde alt şeritler ve dik şekilde gelen üst şeritler, üst üste dizilerek düz dokuma oluşturulabilmektedir. Düz dokuma dışında iplerin birbirleri içinden geçirilerek atkı ve çözgülerle oluşturulan serili örgü şekli de bulunmaktadır (Çizelge 2.1).

Dokumadaki düz gergin iskelet görevi gören ipliklere çözgü (weft / fill) denilmektedir. Atkı (warp) iplikleri ise çözgü yönündeki iplerin etrafından

geçirilerek örülmektedirler. Atkı ve çözümlü iplikleri fiziksel davranış olarak farklı mukavemet değerleri gösterebilmektedirler. Kumaşa, ipliklerin değişken kuvvetler karşısında farklı davranışlar sergilediği için ortotropik malzeme etkisi görülebilmektedir. “Dokuma ipliklerin birbirlerine etkileri nedeni ile ortotropik malzeme davranışı görülür. Bu davranışı ortadan kaldırmak için bazı dokumalarda kaplama öncesi öngerme uygulanabilir.” (Dansık ve Şahin, 2015).

Membran kumaşın, ortotropik malzeme davranışı sergilemesi yüzünden membran yapının henüz tasarım ve analiz aşamasında kumaş türünün değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Düz örgü şeklinde, ipliğin çözümlü yönü gerilirken, atkı yönü, çözümlü yönündeki ipliğe girip çıkmaktadır. Bükülmüş atkı iplikler, çözümlü ipliklerden daha esnektir ve uzatılabilmektedir. Kumaşın çözümlü yönü yük altında gerilirken atkı yönü genişlemektedir.

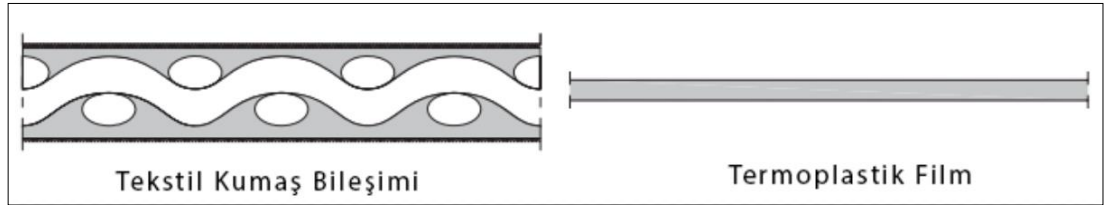
Çizelge 2.1: Örgü model çeşitleri, avantaj ve dezavantajları (Shaffer, 1996).

Tip	Gevşek Dokuma Kumaşlar	Sıkı Dokuma Kumaşlar Düz Örgü	Düz Örgü
Desen			
Avantajları	Yüksek mekanik yapışma Yüksek yırtılma mukavemeti	Yüksek çekme dayanımları Sıvı sistemlerle kolay yönlendirilebilir kaplama	İki katman kalınlığı Çok yüksek yırtılma mukavemeti Yırtılma ve çekme özelliklerinin mükemmel dengesi Mekanik ve kimyasal yapışma dengesi
Dezavantajları	Düşük çekme mukavemeti İplik açıklıkları arası kaplama Aşırı aşınmaya maruz kalma	Mekanik yapışma yok, Tüm kimyasallar Düşük yırtılma mukavemeti Üç katman kalınlığı Yüksek doldurma mukavemeti	Hem çözümlü hem de atkıda düşük uzama Çözümlü ve dolgu iplikleri arasında zayıf etkileşim

Düz dokuma kumaşlar için, kumaş yük taşımaya başlamadan önce atkı yönünün düzleştiği ve eğriliğinin bir kısmını çözümlü yönündeki ipliklere aktardığı zaman "kıvrım değişimi" adı verilen iplik arasında iki yönlü bir değişim

gerçekleşmektedir. Kıvrımlı değişimin olumsuz tarafı, atkı yönünün eğrilerini doldururken ön gerilmesinin bir kısmını kaybetmesidir. Genel anlamda dokumayı oluşturan atkı ve çözgü liflerin gerginliği, dokuma yöntemi ve kalınlığı dokumanın gerginliği ve davranışı hakkında bilgi verebilmektedir.

PVC, PTFE veya silikon gibi kaplama malzemeleri, sıvı, rüzgâr veya darbelere dayanıklılık için dokumanın üzerine sıvı veya filmler halinde uygulanmaktadır. Sıvı kaplama, dokuma üzerine dökülerek düzgün şekilde sertleştirilmeye bırakılmaktadır. Film kaplama şeklindeki yöntem de dokuma ve kaplama basınçla sıkıştırılarak, kompozit ürün haline getirilmektedir. Bu durumda kaplamanın çekme dayanımına bir katkısı olmamaktadır. Kaplamanın üzerine membranı çeşitlendirecek ve yeni özellikler kazandıracak ilave PVF, PVDF veya TiO_2 laklar kaplanabilmektedir. Membran kumaşlar, kaplamalar sayesinde, nano teknolojiyle yüzeyin kendi kendini temizlemesi, ultraviyole ışıklara veya sert darbelere karşı dayanım sağlayabilecek yeni özellikler eklenerek farklı iklim ve coğrafyalarda kullanılacak düzeyde zenginleştirilebilmektedir.



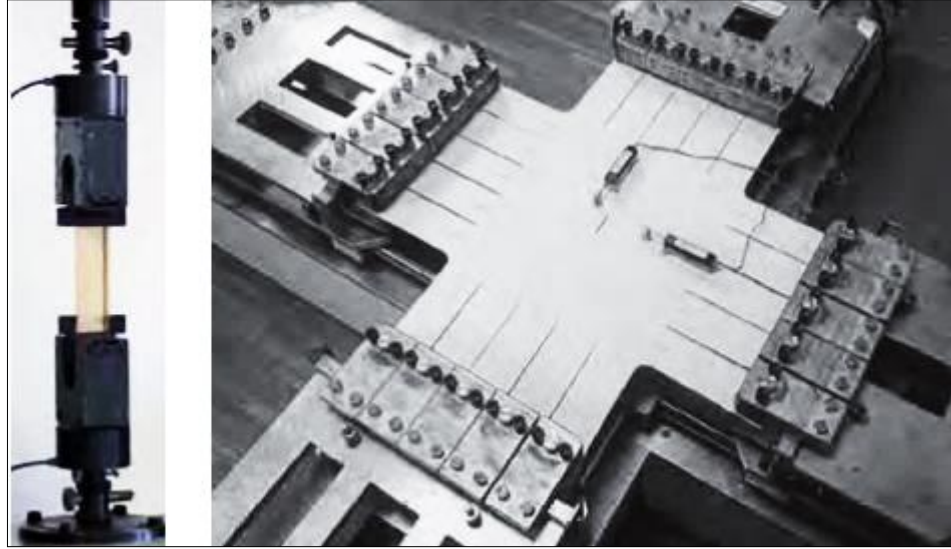
Şekil 2.3: Kumaş çeşitlerinden şematik kesit (Seidel, 2009).

2.2.2. Membran Özellikleri

Yapıda kullanılacak membran kumaş türü seçilirken dikkate alınması gereken parametreler, yapının verimliliğiyle doğru orantılıdır. Bunlardan en önemlileri mekanik özellikler, dayanıklılık, ışık geçirgenliği, alev yürütmezlik, ekonomik fizibilite ve sürdürülebilirliktir. PTFE, PVC ve ETFE gibi pratikte kullanılan yaygın malzemelerin davranış ve özelliklerine rahatlıkla ulaşılabilmektedir. Bununla birlikte, daha yeni malzemeler ve yenilikçi uygulamalarda, malzemenin özellikleri ve nitelikleri hakkında bir fikir edinmek için yapılabilecek çok çeşitli testler bulunmaktadır.

Membran örtüler malzeme bakımından diğer geleneksel taşıyıcı malzemelerle kıyaslandığında çok daha hafif kalmaktadır. Membran örtülerin ağırlığının az olmasından kaynaklı, membran örtü strüktürlere sismik yükleme testleri ihmal edilebilmektedir. Membran örtülerin yırtılmalara karşı çekme dayanımları oldukça yüksektir. Çekme dayanımı, sistemin üzerine gelen yükleri hasar görmeden taşıyabilecek büyüklükte olmalıdır. Membran malzeme sistemde sadece çekme yükünü aldığı için çekme dayanımı geleneksel malzemelere göre en önemli özelliğidir (Dansık ve Şahin, 2015).

“Çekme modülü, malzemenin çekme yükleri altında yapabileceği deformasyonu belirleyen bir ölçüdür. Malzemenin çekme dayanımı, numuneler üzerinde yapılan çekme testleri ile belirlenen kopma değerinin güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilir.” (Dansık ve Şahin, 2015)(Resim 2.9).



Resim 2.9: Soldaki; tek eksenli gerilim testi, sağdakiyse Almanya Stuttgart Üniversitesi'nde çift eksenli gerilim makinesi (Seidel, 2009)

Membran malzemeler, genellikle örtü veya kaplama olarak kullanıldığı için dış etkenlere sıklıkla maruz kalmaktadır. Yağmur, kar gibi nemli doğal etkenlere karşı su geçirmez özelliği barındırması gerekmektedir. Membran örtülere lak kaplamaları uygulanarak hem bu tür dış etkenlere karşı, hem de UV ışınlarının dokumaya verebileceği zararlara karşı güçlendirilmektedir. Kaplamalarla birlikte yüzeyin kendi kendine temizlenebilmesi ve kumaş ömrünün uzatılması sağlanabilmektedir.

Membran malzemelerin genellikle polimer ve karbon bazlı olmasından dolayı yangına karşı zafiyet gösterebilmektedir. Yangına karşı, alev yürütmezlik özellikleriyle oluşabilecek herhangi bir yangın durumunda alevin ilerleyip büyümesine engel oluşturmaktadır. Alev yürütmezlik özelliği tüm membran kumaşlar için aranan başlıca niteliklerden ve güvenlik önlemlerinden biridir. Membran örtüde ışık geçirgenliği değerleri, kullanılacak mekâna göre değişiklik gösterebilmektedir. Işık geçirgenlik oranları, atkı ve çözümler arası mesafelere, dokuma çeşitliliğine ve kullanılan polimer malzemenin türlerine göre ayarlanabilmektedir.

“Membran malzemelerin akustik performanslarını değerlendirirken ses dalgalarını yansıtma özelliğine bakmak gerekir. Membran örtüler genelde 500 ile 2000 Herz arasında ses dalgalarını yansıtırlar.” (Dansık ve Şahin, 2015)

Yüksek yansıma potansiyelinden kaynaklı akustik performansı diğer kullanılan malzemelere göre daha az etkili olsa da membranın esnek ve organik yapısından dolayı formun uygun akustik koşullarına bürünebilmesi başarılı sonuçlar oluşturacaktır.

2.2.2.1. Işık Geçirgenliği

Asma germe yapıların tarihi incelendiğinde, membran yapı kullanım amaçlarının temelini gölgelendirme oluşturmaktadır. Gölge, dış mekânlarda gerçekleşen herhangi bir aktivitenin sağlıklı devamlılığı için, gerekli konforu oluşturmada etkin rol oynamaktadır. Sıcaklık ve UV ışınlarından korunmak için membran yapıların kullanımı oldukça etkilidir. Bu nedenle gölgeleme için kullanılan asma germe membran yapıları, sıcak iklim şehirlerinde kentsel dokunun bir parçasını oluşturmaktadır. Asma germe yapı sistemleri, kent mekânlarında zararlı güneş ışınlarından ve yüksek sıcaklıklardan korunma sağlayarak toplum sağlığına doğrudan olumlu etkisi bulunmaktadır.

Hareketli membran yapılar iklim durumuna göre açılıp kapanarak fonksiyonel avantajlar oluşturabilmektedir. Cephe veya çatı kaplama sistemleri olarak kullanılan membran yapılarda ışık geçirgenliği kullanılan malzeme türüne göre ayarlanabilmektedir. Membran kumaşlar, sadece gölge amaçlı olarak değil, ETFE

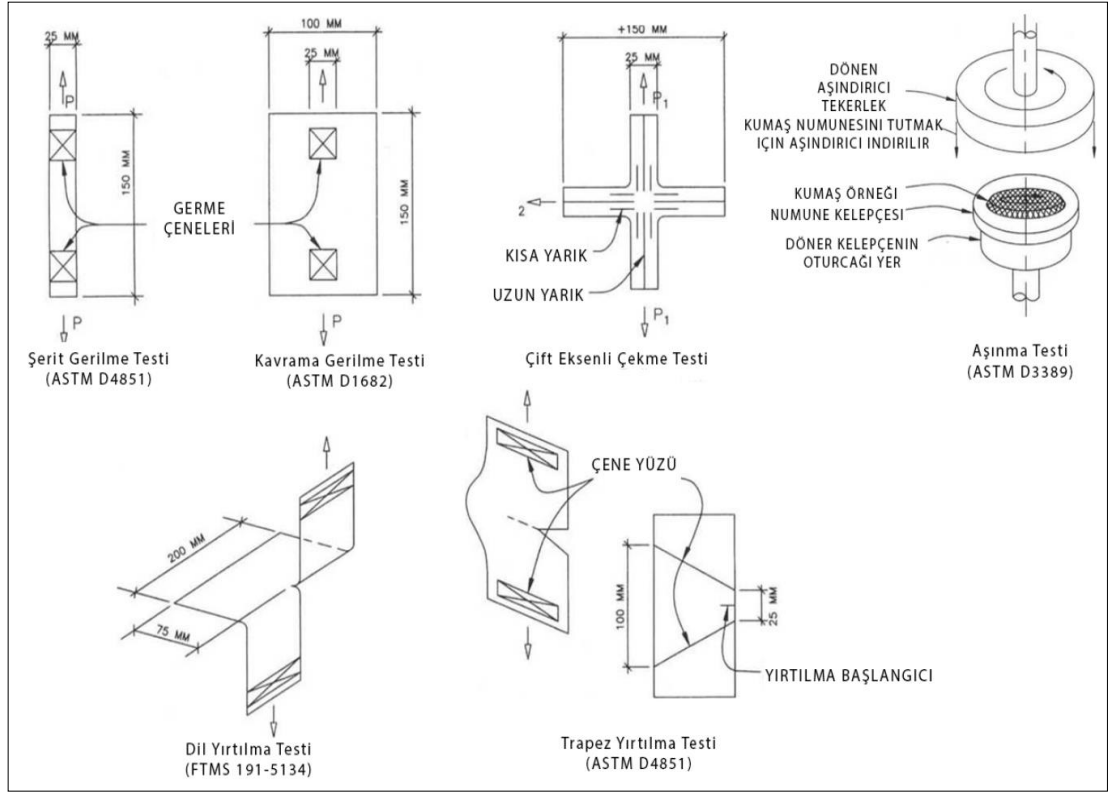
gibi ışık geçirgenliği yüksek malzeme türleri kullanılarak seracılık ve şeffaf açıklıklarda rol üstlenebilmektedirler. Asma germe yapısı tasarlanırken, yapının ışık geçirgenliğine, soğurulmasına ve yansımaya büyük önem verilmektedir. Işık geçirgenliği enerji korunumunda ve sürdürülebilirlik kavramında önemli derecede etkinlik göstermektedir. Yarı saydamlık, membran kumaşların önemli özelliklerindedir. Yarı saydam membran yapılar, içeriye giren gün ışığının kontrollü alınmasında yapıda enerji tasarrufu sağlayarak hem teknik hem estetik anlamda avantaj oluşturmaktadır.

2.2.2.2. Mekanik Özellikleri

Kumaş malzemelerinin uzama ve elastik özelliklerinin doğru bir şekilde anlaşılması, istenen bir şekli oluşturmada oldukça önem arz etmektedir. Özelliklerden biri yeterli değilse, genellikle farklı iplikler ve dokuma teknikleriyle tamamen yeni bir kumaşın geliştirilmesi gerekmektedir. Bazen ortaya çıkan yeni kumaş, daha önce belirtilenden tamamen farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Dolayısıyla yeni malzemelerin uygulanması meşakatli olabilmektedir.

Geleneksel yapılar genellikle daha düşük güvenlik faktörlerini meydana getirmektedir. Bu durum kullandıkları malzemelerin daha güvenilir mukavemet özelliklerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Membran kumaş malzemeler, hava koşullarına, UV bozulmasına ve tekrarlanan yüklemeye bağlı olarak özellikleri zaman içinde büyük ölçüde değişebileceğinden, güvenilir davranış ve duruma göre düşük dayanıklılık sergileyebilmektedirler.

Tasarımcı için en önemli mekanik özellikler, malzemeyi yırtmak için gereken kuvveti ölçen gerilme mukavemeti, mevcut bir yırtılmayı yayma direnci olan yırtılma mukavemeti ve arasındaki ilişki olan sertlik gibi elastik özellikleri içermektedir. Bu özellikler, Şerit Gerilmesi, Kavrama Gerilmesi, Çift Eksenli Çekme, Dikiş Gerilme Dayanımı, Trapez Yırtılma, Dil Yırtılma Mukavemeti, Yapışma ve Aşınma Direnci içeren bir dizi test ile ölçülmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Malzemenin mekanik özelliğini belirlemek için uygulanan çeşitli testler (Huntington, 2004).

2.2.2.3. Dayanıklılık

Yırtılma ve gerilme mukavemeti, bir kumaşın düzlemi boyunca yükü taşıma kabiliyetini tanımlamaktadır. Gerilme mukavemeti, zıt uçlardan uzanan kumaşın bir ölçüsü iken, yırtılma mukavemeti, kuvvetler bir konumda zıt yönlerde uygulandığında kısmi bozulmayı ifade etmektedir. Bu özellikleri belirlemek için kullanılan bir dizi test uygulanmaktadır. Kumaşın yırtılma ve gerilme mukavemeti dolaylı olarak ilişkilendirilebilmektedir. Çekme mukavemeti arttıkça yırtılma mukavemeti azalmaktadır. Bu ilişkilendirme ip kesilme örneğiyle açıklanabilmektedir. Gergin bir ipin kesilmesi, gevşek bir ipten daha kolay sağlanmaktadır. Benzer şekilde, daha yüksek düzlemsel gerilmeleri taşıyabilen bir kumaş, düşük yırtılma mukavemetiyle daha kolay yırtılacaktır. Gerilme mukavemeti, çözgü ve atkı yönleri arasında büyük ölçüde değişiklik gösterir ve genellikle çözgü yönlerinde daha güçlü olmaktadır. Ayrıca, yüklerin tekrarlanmasıyla ilk gerilim mukavemeti farklılık gösterebilmektedir.

Membran yapısının kullanım ömrü, membran kumaşın dayanıklılığıyla ilişkilendirilmektedir. Kumaş dayanıklılığı, UV radyasyonundan, su emiliminden ve kimyasal maddelerden gelebilecek zararlardan etkilenebilmektedir. Membran kumaşın kaynak veya dikiş yerlerindeki mukavemetin korunması, kumaş dayanıklılığı için önem arz etmektedir. Yırtılmalar ve yüzey kirlenmeleri de membranın dayanıklılığını etkileyen faktörlerdendir. Bu etkenlere karşı, çevre koşulları kullanılarak hızlandırılmış hava testleri ve temizlenebilirlik testleri uygulanmaktadır.

Kumaş malzemelerinin gerilme mukavemetini ölçmek için tek eksenli veya çift eksenli olmak üzere iki tip şerit gerilme testi uygulanmaktadır. Çift eksenli testinde, kumaşlar iki yönde ortotropik davranış sergilediği için gerilme mukavemetini daha doğru bir şekilde ölçmektedir.

2.2.2.4. Alev Yürütmezliği

Asma germe yapı sistemleri, genellikle çelik elemanlar ve polimer membran kumaş malzemelerinden meydana gelmektedir. Bu durumda yangın direnci diğer yapı strüktürlerine nazaran daha fazla önem oluşturmaktadır. Membran malzemelerin yangın direnci ve alev yürütmezlik değerlerinin yüksek olması beklenilmektedir. Membran malzemeler bazı standartlara ve testlere göre yangın sınıflarına ayrılmaktadır:

* Ulusal Yangından Korunma Kurumu (NFPA) 701, Alev Dayanıklı Tekstil ve Filmler İçin Yangın Testleri

* Uluslararası Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu (ASTM), E84 Yapı Malzemelerinin Yüzey Yanma Karakteristikleri (Alev Yayılma Testi), E108 Çatı Kaplamalarının Yangın Testleri, E136 Dikey Tüp Fırında Malzemelerin 750 °C'de Davranışı

Membran malzemeler yandıktan sonra büzüşme ve alev damlası bırakmama davranışı beklenmektedir. Böylelikle membran kumaş alev aldığı zaman büzüşerek içerideki zehirli gaz ve dumanların dışarıya atılmasına olanak sağlayabilmektedir.



Resim 2.10: Membran kumaş alev yürütmezlik testi örneği (Url-25).

2.2.3. Membran Kumaş Çeşitleri

Membran yapıların tasarımındaki gelişmeler kullanılan malzemelerin teknolojik ilerlemesiyle ve davranış performanslarının artmasıyla doğru orantılıdır. Asma germe yapılar için kullanılan malzemeler, ağırlık, hacim ve maliyet bakımından geleneksel çatılara göre daha elverişli görülmektedir. Asma germe yapılar, kullanım amaçlarından kaynaklı genellikle dış hava koşullarına maruz kaldıkları için membran kumaşın dış etkenlere karşı dayanıklılık göstermesi beklenmektedir. Bu gereksinimler, hava geçirmezlik, su geçirmezlik, yangına dayanıklılık, temizlenebilirliğin yüksek olması, akustik ve ısı kontrolünü içermektedir.

Asma germe yapı sistemleri, tarihi bakımdan diğer strüktürlere nazaran yeni olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı günümüze kadar asma germe yapılarda kullanılan membran malzemelerin davranışı, geri dönüşümü ve denenmesi zaman almıştır. Genellikle olumlu sonuçlar doğuran en yaygın kullanılan kumaşlar, üzerine laminatlarla kaplanan polyester kumaş örnekleridir. Kaplamaların türüne ve sıklığına göre polyester kumaşa yeni özellikler kazandırılmaktadır. Polimer kumaşlar üzerine Neopren ve Hypalon kauçukları kat kat laminasyon edilerek opaklık

kazandırılabilir. Aynı şekilde Üretan (Karbamat) kaplanmasıyla soğukta meydana gelebilecek çatlamalara önlem alınabilmektedir.

En yaygın kullanılan kumaş malzemeleri polyester, naylon, fiberglas ve aramid iken en yaygın kullanılan kaplamalar PVC, PTFE, ETFE ve Silikon'dur. En popüler elyaf ve kaplama kombinasyonu, PVC kaplı polyester, PTFE kaplı cam elyafı veya Silikon kaplı cam elyafıdır. Polyester kumaş, daha düşük bir gerilme mukavemetine sahip olmasına karşın naylon kumaştan daha fazla esneklik ve sertlik özellikleri göstermektedir. Polyesterin yüksek sertliğinden dolayı daha düşük deformasyonlar göstermesi, düşük gerilme mukavemetinin dezavantajlarını dengelemektedir. Polyester lifler, naylon liflere göre ultraviyole radyasyona karşı daha duyarlı olsalar da, korumaları daha kolaydır ve polyester kumaşı genel olarak daha dayanıklı hale getirmektedir. Polyester ve naylon, cam elyaf dokumalar ve aramid kumaşlardan daha esnektir. Cam elyaf dokumalar, naylon ve polyesterden daha yüksek mukavemet ve esneme katsayısına sahiptir, ancak aynı zamanda hassas kırılma davranışı sergilemektedir. Bu dezavantajı telafi etmek için cam elyaflar genellikle çok küçük yapılmaktadır. İnşaat nakliyesi ve montajı sırasında cam kumaşları katlarken veya yuvarlarken, tekrarlanan bükülmeden kaynaklanan hasarlardan korunmak için ekstra özen gösterilmektedir. (Fang, 2009)



Şekil 2.5: Membran ve film kumaş türleri numune örnekleri (Url-26).

Çizelge 2.2: Membran yapılarında kullanılan malzemelerin genel özellikleri tablosu (Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W., 2004).

Kumaş Türü	cins	Birim alan başına ağırlık (g/m ²) DIN 55352	Min. kumaşın çekme mukavemeti (N/50 mm) çözgü/atıkı DIN 53354	Kumaşın yırtılma uzaması (%) çözgü/atıkı DIN 53354	Kumaşın yırtılma yayılma mukavemeti (n) çözgü/atıkı DIN 53363	burkulma stabilitesi	UV direnci	Yangın sınıflandırması DIN 4102	Şeffaflık (%)	Faydalı kullanım ömrü (yıl)
Pamuk kumaş		350 520	1700/1000 2500/2000	35/18 38/20	60 80	çok iyi	yeterli	B2	değişken	<5
PTFE Kumaş		300 520 710	2390/2210 3290/3370 4470/4510	11/10 11/10 18/9	yaklaşık 500/500	çok iyi	çok iyi	A2	yaklaşık 37 üstünde	>25
ETFE Kumaş THV Kaplı		250	1200/1200			çok iyi	çok iyi	B1	yaklaşık 90 üstünde	>25
Polyester Kumaş, PVC-P- kaplı	I II III IV V	800 900 1050 1300 1450	3000/3000 4400/3950 5750/5100 7450/6400 9800/8300	15/20 15/20 15/25 15/30 20/30	350/310 to 1800/1600 580/520 800/950 1400/1100 1800/1600	çok iyi	iyi	B1	yaklaşık 4.0 üstünde	>20
Cam elyaf kumaş, PTFE-kaplı		800 1150 1550	3500/3500 5800/5800 7500/6500	7/10 to 2/17	300/300 to 500/500	yeterli	çok iyi	A2	yaklaşık 13 üstünde	>25
Cam elyaf kumaş, silikon kaplı		800 1270	3500/3000 6600/6000	7/10 to 2/17	300 570	yeterli	çok iyi	A2	yaklaşık 25 üstünde	>20
Aramid elyaf kumaş PVC-P-kaplı		900 2020	7000/9000 24500/24500	5/6	700 4450	iyi	yeterli	B1	temelde sıfır	>20
Aramid elyaf kumaş PTFE-kaplı			Projeye ilgili, sınırlı ayarlanabilirlik			iyi	yeterli	A2	temelde sıfır	>25
Film	cins	Birim alan başına ağırlık (g/m²) DIN 55352	Filmin çekme mukavemeti (N/mm²) çözgü/atıkı DIN 53455	Filmin yırtılma uzaması (%) çözgü/atıkı DIN 53455	Filmin yırtılma yayılma mukavemeti (N/mm) DIN 53363	burkulma stabilitesi	UV direnci	Yangın sınıflandırması DIN 4102	Şeffaflık (%)	Faydalı kullanım ömrü (yıl)
ETFE-film	50 µm 80 µm 100 µm 150 µm 200 µm	87.5 140 175 262.5 350	64/56 58/54 58/57 58/57 52/52	450/500 500/600 550/600 600/650 600/600	450/450 450/450 430/440 450/430 430/430	yeterli	çok iyi	B1	yaklaşık .95 üstünde	>25
THV-film	500 µm	980	22/21	540/560	255/250	iyi	iyi	B1	yaklaşık 95 üstünde	>20
PVC-P-film						iyi	yeterli	B1	yaklaşık 95 üstünde	<5

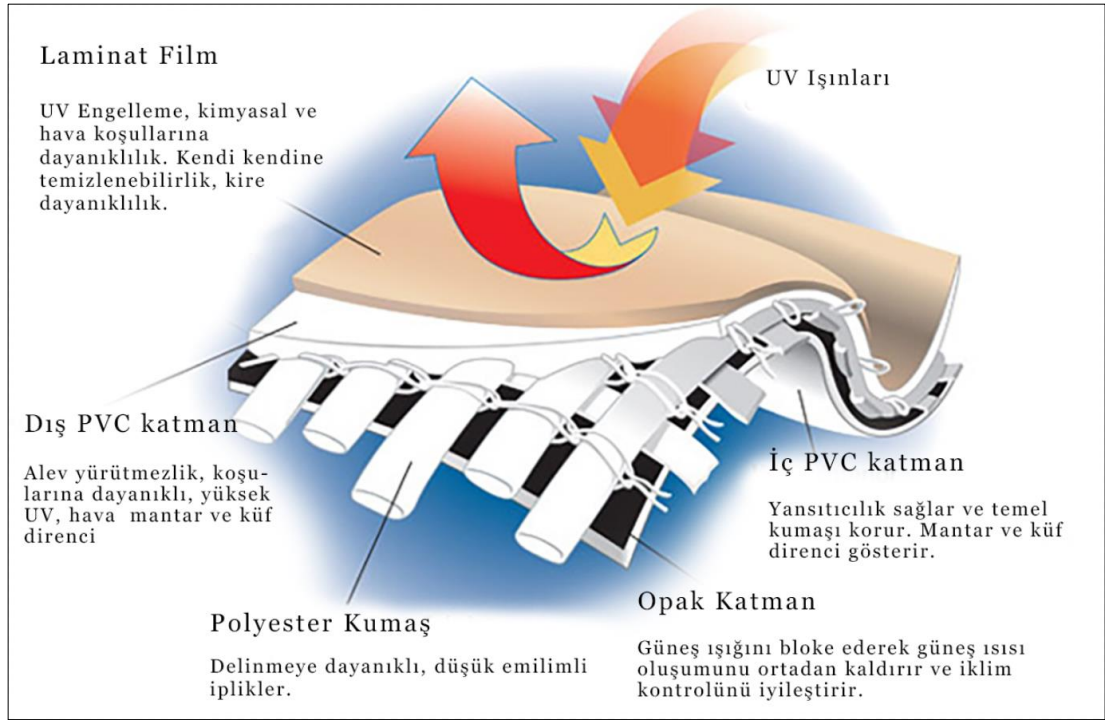
2.2.3.1. Polivinilklorür (PVC) Kaplı Polyester Kumaş

PVC kaplı polyester kumaş, membran yapılarda sıklıkla kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. 1960'lı yıllardan beri kullanılması ve defalarca test edilmesiyle malzeme davranışının bilinirliği, diğer kumaşlara göre fazladır. PVC kaplı polyester kumaşlar, sektörün temel dayanağı haline gelmiş olup, güvenilir uzun açıklıklı çapa sahip, çok kaygan ve iyi yapılandırılmış yapılarda değerini kanıtlamıştır. PVC membran kumaşlar, yüksek gerilme ve yırtılma mukavemeti göstermektedirler. PVC membran kumaşlar pamuk veya diğer doğal liflere göre çok daha güçlüdür. Çürümeye ve gelişmiş ultraviyole radyasyon direnci daha fazla dayanıklılık sağlamaktadır. PVC kaplamanın kiri tutma eğilimleri, üzerine laminasyon uygulanmasıyla aşılabilmektedir. Zaman içinde önemli seviyelerde ön gerilimi kaybı ve bazen membranın yeniden gerilmesini gerektiren sünme davranışı sergilemektedir. Ancak bu durum, fabrikasyon bileşenlerin eşleştirilmesinde bir miktar esnekliğe izin vermektedir. Böylelikle imalattaki küçük hatalara, kumaşta aşırı gerilmelere veya kırışıklıklara neden oluşturmamaktadır.

“PVC kaplı polyester kumaşın ön gerilim seviyeleri metre başına 1-4 kN arasında değişmektedir.” (Shaeffer, 1996).

PVC kaplı polyesterler, geleneksel çadır yapımının temel iki özelliğini taşırlar: kısmen ucuzdurlar ve portatif yapıların gerektirdiği tekrarlanan montaj ve demontaj işlemlerine uygun hale getiren esneklik ve kullanım kolaylığına sahiptirler. Zamanla düşük dayanıklılık göstermesi ve kullanım ömrünün 10-15 yıl olarak görülmesi, cam elyaf kumaşların yaygınlaşmasında ve tercih bakımından geri planda kalmasına neden oluşturmaktadır. PVC kaplı polyester kumaşlar geniş bir renk yelpazesine sahiptir, ancak daha koyu renkler önemli ölçüde azaltılmış yarı saydamlığa sahiptir ve daha çok solmaya eğilim göstermektedirler. PVC kaplı polyester, 350 MPa ila 1.200 MPa arasında gerilme mukavemetine ve 800 g/m² ila 1.100 g/m² ağırlığındaki membranlar için 3.100 N/5cm ila 5.800 N/5cm şerit çekme mukavemetine sahiptirler. (Huntington, 2004)

“PVC kaplı polyester, yüzde 22'ye kadar ışık geçirgenliği sağlayabilir.” (Son, M. E. 2007).



Şekil 2.6: PVC Kaplı Polyester Kumaş Katmanları (Url-27).

2.2.3.2. Politetrafloroetilen (PTFE) Kaplı Fiberglas

Genel yaygın olarak kullanılan bir başka membran kumaş türü, Politetrafloroetilen (PTFE) kaplı cam elyafıdır. PTFE, 1969 yılında fiberglas kumaşın Teflon reçine ile kaplanmasıyla geliştirilmiştir. PTFE (Teflon) kaplı cam elyaf ve silikon kaplı cam elyaf kumaşlar, PVC kaplı polyestere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek gerilme mukavemetine, ancak düşük yırtılma mukavemetine sahiptirler. Yırtılma mukavemetinin düşük olması, aşırı yük altındayken dışarıdan gelebilecek darbelere karşı savunmasız kalabilmektedir. Ayrıca, suya karşı dayanımı bazen ciddi bir endişe kaynağı oluştursa da su geçirmez laminatlarla bu durum çözülebilmektedir. Ayrıca daha az sünme sergilerler ve minimum bakım gerektirirler. PTFE malzemesinin, yeni teknolojik gelişimlerle alev yürütmezliği, kirlenmeye karşı dirençli olması gibi birçok özelliğinin, daha dayanıklı ve dolayısıyla daha uzun ömür vaat etmesi nedeniyle asma germe yapı sistemleri için oldukça elverişlidir.

PTFE kaplı cam elyaf dokuma kumaşlar kırılğan ve kırılmalara daha duyarlı olduklarından dolayı, nakliye ve imalat sırasında dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Silikon kaplı kumaşlar daha esnektir ve bu nedenle Teflon kaplı kumaşlardan daha az

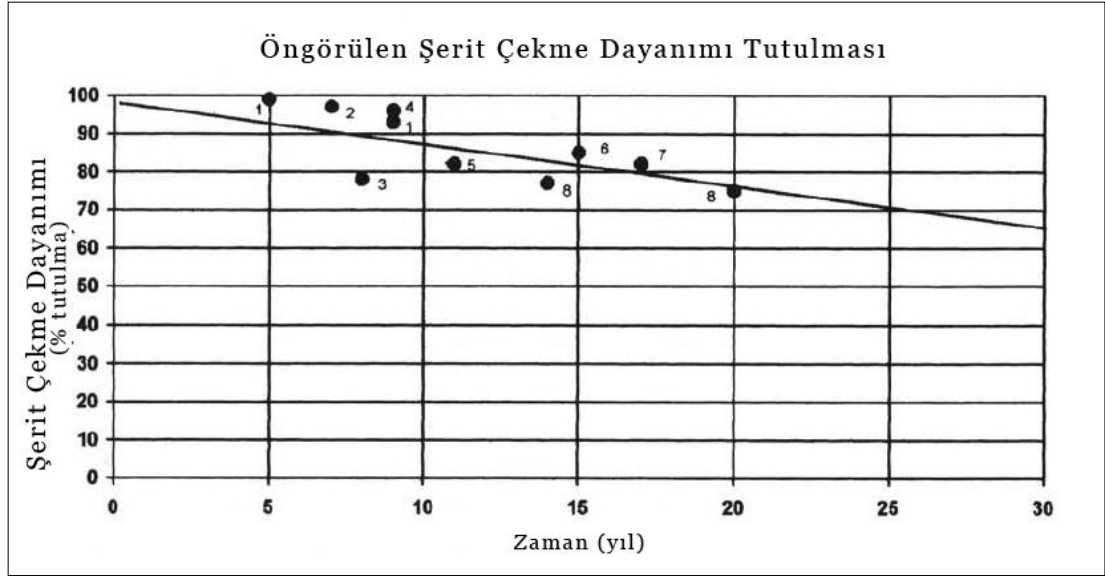
kırılındırlar. PVC kaplı polyester kumaşların çatlamaya karşı yüksek dirençleri, montaj veya demontaj aşamalarında katlanabilirlikle durum mobil yapılar için kullanılmasında teşvik oluşturmaktadır. PTFE kaplı fiberglas kumaşlara çatlamaya karşı düşük direnç göstermektedir. Dolayısıyla bu durum uzun ömürlü mimari asma germe yapı sistemleri uygulamalarında tercih sebebini oluşturmaktadır.

PTFE kaplı cam elyafın mekanik özellikleri 3.500 MPa'dır ve şerit gerilme mukavemeti 1.600 N/5cm ila 8.800 N/5cm aralığındadır. Bu güçler, membranların minimum eğrilikle uzun açıklıkları uzatmasına izin verir. Bununla birlikte, PTFE kaplı cam elyafın yırtılma mukavemeti nispeten düşüktür ve yırtılmaların yayılmasına direnmek için sadece 80 N ila 550 N mukavemete sahiptir. Ön gerilim seviyeleri, ağır, hafif ve hafif astarlı PTFE kaplı fiberglas kumaşlar için sırasıyla 6-8 kN/m, 4-6 kN/m ve 1-2 kN/m arasında değişir (Shaeffer, 1996).

Cam elyafın yüksek mukavemeti, uzun açıklıklara ve minimum kavislere sahip yapılarda kullanılmasına izin verir. Fiberglas sert bir malzemedir ve fiber-camdan ince dokulu malzemeler, polyester kullananlara göre yük altında daha az deforme olur. PTFE kaplı fiberglas kumaşın maliyeti PVC kaplamalı polyester kumaşlara göre oldukça pahalıdır. PTFE kaplı fiberglas kumaş kullanılarak gerilmiş kumaş yapılı bir çatının tam imalatı için maliyeti, PVC kaplı polyester kumaşın beş ila on katı kadar değişmektedir. (Huntington, 2004).

Şekil 2.7'deki grafikte 8 farklı iklim ve membran yapı uygulamalarında kullanılan PTFE kaplı fiberglas kumaş mukavemetinin çok yavaş bozulduğunu göstermektedir. PTFE kaplı fiberglas kumaşın 30 yıldan fazla beklenen bir ömre sahip olduğunu kanıtlamıştır. 30 yıllık membran yapılar incelendiğinde aşınma ve bozulma nedeniyle kumaşın değiştirilmesine gerek görülmemiştir.

Birkaç PTFE katmanı, kumaşı, UV radyasyonundan, kimyasal saldırıdan veya geniş sıcaklık değişiminden kaynaklanan herhangi bir hasara karşı neredeyse etkilenmez hale getirmektedir. (Son, M. E, 2007)



Şekil 2.7: Öngörülen Şerit Çekme Dayanımı Tutulması (Huntington, 2004).

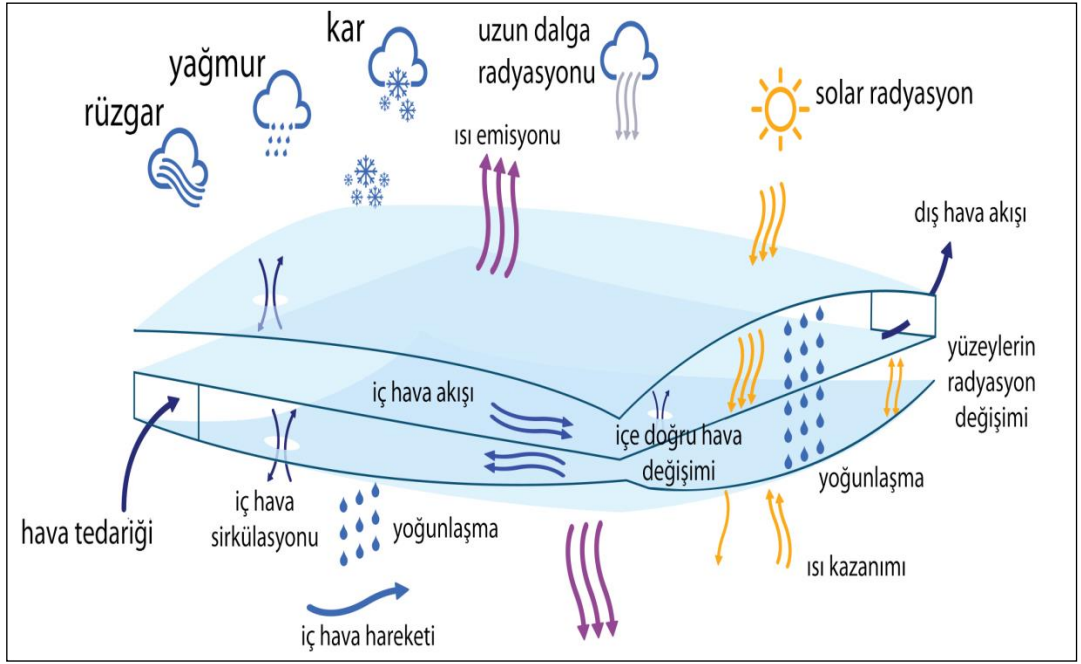
2.2.3.3. Etilen-tetra-floretilen (ETFE) film

Filmler farklı bir membran kumaşı oluşturmak için kullanılmaktadır. Dokuma olmaksızın ince sentetik malzeme tabakalarından meydana gelmektedirler. Gerçekte filmler ortadaki dokuma kumaşın herhangi bir özelliğine bağlı olmamakla birlikte, onsuz bir kumaş olarak sayılmamaktadır. Çok aralıklı polyester veya lifler kullanan ince dokunmuş kumaşlar, gelişmiş gerilme ve yırtılma mukavemetine sahip membran kumaşı sağlamak için film katmanları arasına sıkıştırılmaktadır. Bu tür kompozit malzemeler mükemmel yırtılma mukavemetine sahip olabilmektedir. Çünkü filmlerin esnekliği, yırtılma aksiyonlarında lifleri sarmaktadır. En yaygın olarak kullanılan film, etilen-tetra-floroetilen polimerdir (ETFE).

0.1 mm kalınlığındaki filmin gerilme mukavemeti 225 N/5cm'dir. Bu değerler, PVC ve PTFE kaplı kumaşların % 5'ini oluşturmaktadır. Bu filmler, PTFE kaplı fibreglas kumaşın aksine yük altında sünmeye devam edebilmektedir. Film, %3 uzadıktan sonra süner ve orijinal uzunluğunun %200'ünde yırtılır (Huntington, 2004). Bu davranış, ETFE filme çok yüksek yırtılma mukavemeti vermektedir. Genel gerilme mukavemetini arttırmak için film arasında kompozit dokuma kumaş kullanmak mümkündür. Dokuma kumaşın dışını kapsayan filmlerin, çevre unsurları karşısında 15 yıl dayanması beklenebilmektedir. Bununla birlikte, dayanıklılığın yanı

sıra ışık iletimi, yangına dayanıklılık ve maliyetin tümü büyük ölçüde malzeme ve yapının, ölçeğine ve tasarımına bağlıdır.

Geleneksel bir öngerilmeli asma germe yapısında kullanılan bir ETFE film, zaman içinde ön gerilimini kaybetme eğilimindedir ve pratik uygulaması genellikle hava destekli veya havayla şişirilmiş çatılarla sınırlıdır, çünkü orta derecede sünme, hava basıncı yoluyla uygulanan ön gerilimi önemli ölçüde etkilememektedir.



Şekil 2.8: ETFE yapığın çevre etkileşimi (Url-28).

2.3. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ

Membran örtü sistemlerinin yapısı, temel eleman olan membran malzemesinin türü ve şekliyle ilgilidir. Örtü elemanları asma germe sistemlerin temel unsurları olarak kabul edilmektedir. Membran örtüler, asma germe yapı sistemlerinin temel fonksiyonel yapısını oluşturmaktadır. Membran örtüler çeşitli form biçimlerinde farklı görevleri üstlenebilmektedirler. Farklı form biçimleri yapının kullanım amacını belirleyebilmektedir. Asma germe yapı sistemlerinin kullanım alanlarındaki genişleme, örtü için kullanılan membran kumaş çeşitlerindeki teknolojik değişimle birlikte hareket ettiği görülmektedir. Öyle ki bu durum asma

germe yapı sistemleri için atfedilen “geçici yapı” görevleri yerine, zamanla kalıcı ve estetik mimari yapı örnekleri tanımlamaları yer almıştır. Membran örtülerin geleneksel yapı strüktürleriyle kıyaslanması ve dayanıklılık dezavantajları için önyargıları yıkabilecek köklü teknolojik gelişmeler, günümüzde de devam etmektedir.

Günümüzde kimya alanının hızla gelişmesi, polimer ürünler havuzunun artmasına sebep olmaktadır. Doğal malzemelerin yetersiz kaldığı alanlarda yapay malzemeler görev üstlenmektedirler. Sentetik malzemelerin su ve rüzgâr geçirmez özellikleri tekstil alanında yeniliklere yol açmaktadır. Su, nem, bakteri veya rüzgâr gibi çevre faktörlerinin yapı dayanıklılığına doğrudan etkisi olduğu için, sentetik ürünlerdeki bu yeni gelişmelerin mimari yapılarda kullanılması kaçınılmaz bir hal almaktadır. Sentetik ürünler ilk olarak geleneksel yapılara entegre edilecek şekilde, yapının dış çevreyle ilişkili olduğu alanlarda kullanılsa da zamanla, mimari yapının kendisini oluşturacak tekil formlar kazanarak ve membran örtüler kullanılarak asma germe yapı sistemlerini oluşturmuştur. 20. yy’ın sonlarına doğru membran malzemelerin çeşitlendirilmesi ve yeni özellikler kazandırılması çalışmaları hızlanarak artmıştır. Membran yapıların malzeme davranışlarının geri dönüşümü sonradan tasarlanan mimari membran yapılara yol göstermiştir. Bu geri dönüşümler sayesinde PVC, PTFE ve ETFE malzemeleri ön plana çıkararak, kullanıcılar ve tasarımcılar arasında güven sağlamıştır.

Membran malzemelerin dezavantaj oluşturabilecek davranışlarına karşın yeni özellikler kazandırabilecek laminatlar geliştirilmektedir. Bu kaplamalar sayesinde sentetik kumaşlara, dayanıklılık, alev yürütmezlik, su geçirmezlik, UV dayanımı, ışık geçirgenliği gibi özellikler kazandırılmaktadır. Membran örtülerdeki kaplama teknolojisi, asma germe yapıların, kalıcı yapılar olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Membran kumaşın asma germe yapı sistemlerinde kullanılabilmesi için uluslararası kabul gören kurumlardan belirli testlerden geçilmesi gerekmektedir. Bu test değerlerine göre kullanılacak membran kumaş malzemesinin yapıya uygunluğu değerlendirilebilmektedir. Bu test ve değerler içerisinde en önemlileri gerilme ve yırtılma mukavemeti değerleridir. Çünkü asma germe yapılar birer öngerilimli denge sistemleridir. Kumaşın gerilme ve yırtılma dayanımları, yapının

dayanımına ve ömrüne doğrudan etkisi olmaktadır. Aynı şekilde polimer malzemelerin yangın dayanımı da diğer geleneksel malzemelere göre dikkat edilmesi gereken başlıca konulardandır.

Membran kumaş türünün yırtılma ve gerilme mukavemeti farklılıklarına göre membran yapının formu ve uygulama biçimi değişiklik gösterebilmektedir. Pnömatik yapı sistemleri için yırtılma mukavemeti yüksek ETFE yastıklar uygun görülürken, sünme değerleri düşük PVC gibi malzemeler için sürekli öngerilimli kemer destekli, ana destekli, tepe ve çukur veya direk destekli yapılar uygulanabilmektedir.

Membran örtü sistemlerinin ana elemanı olarak kabul edilen membran kumaşların temel yapısı iyi analiz edilmelidir. Kullanılacak yapıya göre membran kumaş tercihi, yapının sağlıklı ayakta kalmasına ve uzun ömürlü olmasında önemli etken olmaktadır. Membran kumaşın temelini oluşturan atkı ve çözgü ipliklerinin davranış modellemesi oldukça güçtür. Dolayısıyla membran yapılar henüz tasarım aşamasındayken, kumaşın dokuma iplikleri, örgü modelleri ve çalışma prensipleri iyi analiz edilmelidir. İmalatta dokuma şekli, kumaşın kesim şekli, dokuma membran kumaşın yapıştırma ve kaynak yöntemleri membran yapının strüktürüne doğrudan etkisi bulunmaktadır.

Asma germe yapılarda kullanılan membran örtülerin geleneksel yöntemlerle uygulanan çelik ve cam kombinasyonlarına nazaran oldukça düşük, ağırlık, hacim ve maliyet oluşturmaktadır. Ayrıca membran kumaş türüne göre ışık geçirgenliği ve gölgeleme ayarlanabilirliğinin yapılması, yapıyı daha çok fonksiyonel kılmaktadır. Membran kumaşların, temizlenebilirlik, hava geçirmezlik, nem ve ısı kontrolü, alev yürütmezlik gibi çevre faktörlerinden kaynaklanabilecek olumsuz koşullara uygun cevaplar sağlayabilmesi asma germe yapı sistemlerinin yayılmasında ön ayak oluşturmuştur.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. MEMBRAN ÖRTÜ ÇEŞİDİ OLARAK ETFE

İnsanoğlu, 1950’li yılların sonlarına doğru küresel afetlerin ve dünya savaşlarının dezavantajlarından dolayı, dünya üzerinde daha uzun ve başarılı yaşam amaçlayan fikirlere yoğunluk vermiştir. Bu fikirlerden bazılarında Buckminster’in jeodezik kubbe formu tasarımı öncülük etmiştir. Jeodezik kubbe formu bir mekânı en az gereçle örtme olanağı sağlamaktadır. 1970’li yıllardaki petrol krizinin açığa çıkmasıyla, fosil yakıtların yerine güneş enerjisi kullanımı önem kazanmıştır. Frei Otto, Burreu Happold ile birlikte Kanada’nın Alberta şehrinde bir maden kasabası kurmak üzere proje geliştirmişlerdir. Projede kasaba halkının büyük bir kubbenin altında yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri amaçlanmıştır. İlk ETFE’nin (etilen tetrafloroetilen) mimaride kullanım önerisi bu projeye gündeme gelmiştir. 1930’lu yıllarda NASA’nın uzay araçları için geliştirdiği PVC mekanizmaların kozmik radyasyondan zarar görebilmesi, yeni çözüm önerilerini gerektirmiştir. DuPont firmasından bu sorun için çözüm istemiştir. 1938’de Roy J. Plunkett ticari adı Teflon olan politetrafloroetilen (PTFE) polimerini keşfettikten sonra Dr. Herbert Fritz, Richard Rogers gibi isimler tarafından polimer yapısı geliştirilerek ETFE’nin keşfinin önü açılmıştır.

ETFE (Ethylen Tetrafluoroethylen), ana bileşenleri, hidrojen, sülfat ve kloroformdan meydana gelen floro polimer özellikli teflon türevi bir malzemedir. “Tetrafloroetilenin etilen ile birleşmesiyle ETFE eşpolimeri meydana gelmektedir. İçeriğini oluşturan malzeme özellikleri kolayca şekil alabilmesini, kalıptan geçebilmesini ve yapışkan olmayan bir plastik çeşidinin elde edilmesini sağlamaktadır. İçeriğinde bulunan kimyasallar dolayısıyla ETFE, kimyasal unsurlara ve UV ışınlarına karşı dayanıklı bir malzeme seçeneği sunmaktadır.” (Sert, 2016)

Keşfedildiğinden ilk uygulandığı tarihe kadar birçok deney ve aşamalarla ETFE teknolojisi oldukça verimli şekilde gelişmiştir. 1982 yılında Hollanda’da Mangrov Hall Burgers Hayvanat bahçesininin tropikal yağmur ormanını andıran biyosfer ortamının oluşturulması amaçlanmıştır (Resim 3.1). Bu nedenle bahçenin

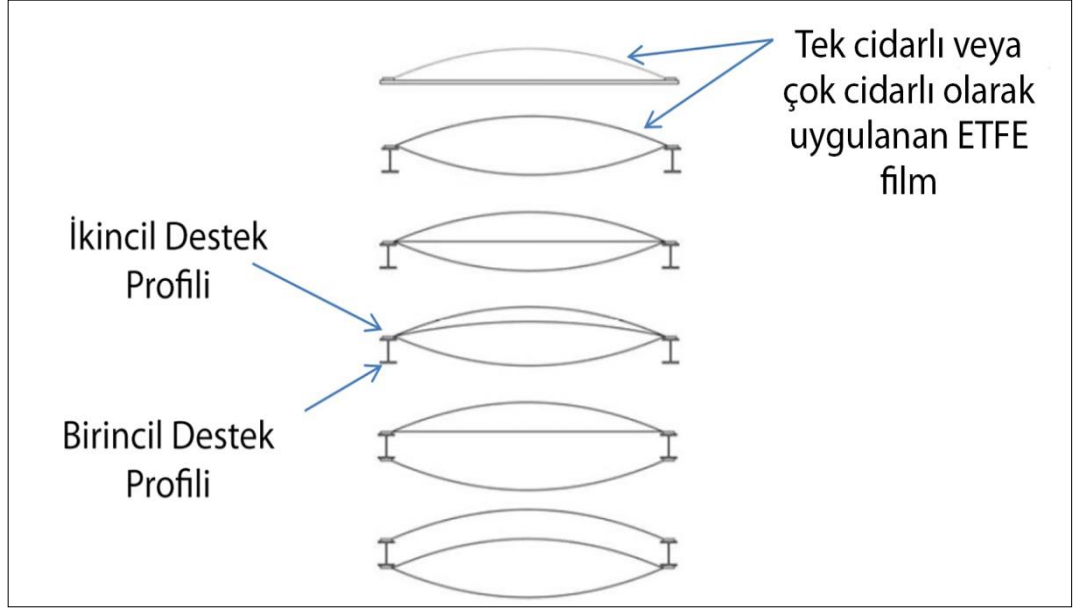
üstü ETFE ile örtülerek ilk kez mimari anlamda uygulandığı bilinmektedir. Preslenmiş ETFE film geliştirilmiş ve seralarda camın ve termal toplayıcıların yerine kullanılmıştır (Le Cuyer, 2008). ETFE'nin tercih edilme sebepleri; çok hafif ve oldukça şeffaftır: güneş ışığının ve tüm UV radyasyonunun %95 oranında nüfuz etmesine izin vermektedir. (Rudof-Wittrin, 2006)

ETFE filmler çoğunlukla 2 veya 3 tabakalı, şişme hava yastıkları şeklinde duruma göre tek cidar şeklinde uygulanabilmektedir. Tek katmanlı uygulamalarda, folyolar, bir tür karkas strüktürün üzerine gelecek şekilde gerilerek ve yüksek yük altında kalmayacak alanlarda uygulanabilmektedir.

Çok katmanlı ETFE kaplama, iki veya daha fazla folyo katmanının kenarlarda birbirine kenetlenip sızdırmaz hale getirilmesi ve folyolar arasındaki boşluğun hava ile şişirilmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 3.1). ETFE malzeme çok ince ve hafiftir. Yaklaşık olarak camın %1 (0,35 kg/m²) ağırlığında olmasından dolayı kendisini çevreleyen karkas aksam ve sisteme binecek yük oldukça düşüktür. Fazla ışık geçirgenliği, estetik görselliği ve ışık kontrolü özellikleriyle ön plandadır.



Resim 3.1: Mangrov Hall Burgers Hayvanat Bahçesi, Hollanda (Url-29).



Şekil 3.1: ETFE yastıklarının çeşitli konfigürasyonlarının kesiti (Bessel, 2012).

ETFE, cam için olası bir çözüm olarak kullanılırken aynı zamanda gün ışığını içeriye taşıyan çatı ve cephe kaplama malzemesi olarak avlu ve çatı pencerelerinde faaliyet göstermektedir. Cam, geniş açıklıklı ve organik yapılar için, rijit ve ağır kalmasından dolayı, ETFE kolaylıkla alternatif olabilmektedir. Olumlu yönleri ile son yıllarda mimaride çatı ve cephe kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir.

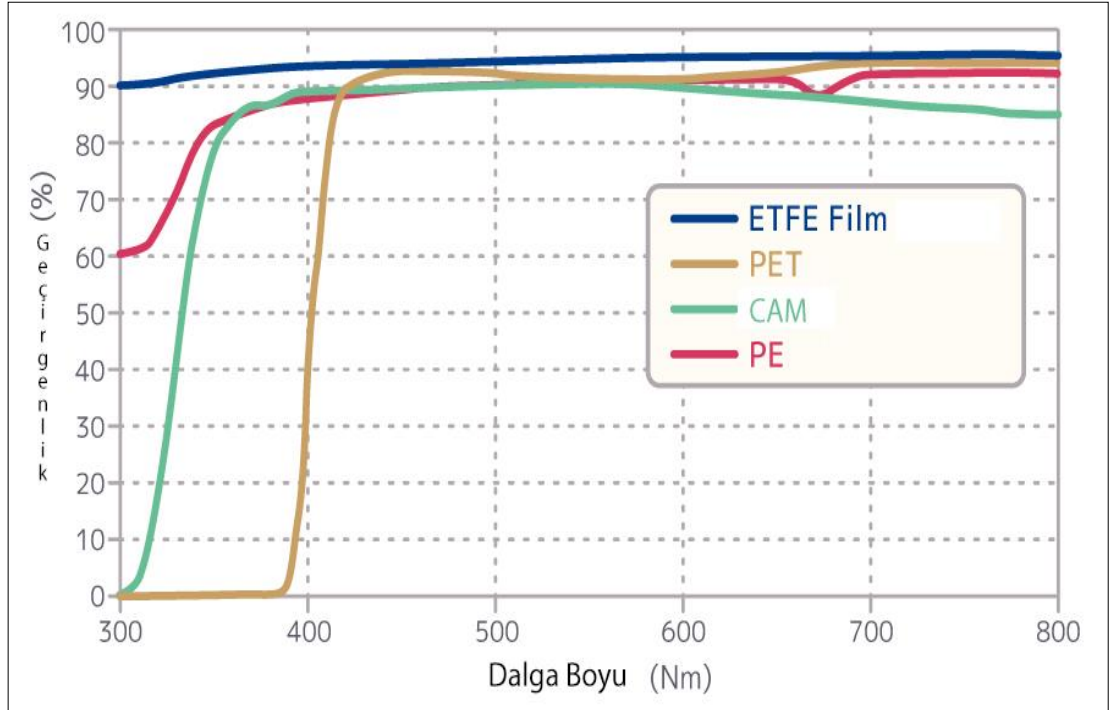
Etilen Tetrafloroetilen (ETFE), kaplama malzemeleri için ekonomik bir çözüm ile modern mimari tarzı sağlamaktadır. ETFE'nin en önemli özelliklerinden biri ışık geçirgenliği ve yüksek hizmet ömrüdür (Şekil 3.2). Bundan dolayı günümüz mimarisinde kullanımı giderek artmaktadır.

ETFE, tek veya çok katmanlı kaplama uygulamalarında kullanılabilen, folyo veya film olarak adlandırılan büyük ince tabakalar halinde haddelenmektedir. Granül olarak satılan ETFE malzeme, 170°C'de yumuşatılmış haliyle kalıplama makinesinden geçirilmektedir. ETFE filmler genellikle 50 µm ila 300 µm kalınlığı aralığında üretilmektedir. ETFE filmlerin ekstrüzyonu çoğunlukla iki işlemden biri ile yapılır. Üfleli film ekstrüzyonunda, ekstrüderden çıkan erimiş kütle, havayla üflenerek genişleyen bir tüp haline gelen bir halka kalıp tarafından oluşturulur. Ekstrüzyondan gelen rulo halindeki film düz ise buna düz ekstrüzyon denir.

“Erimiş reçineyi bir halkanın üzerinden geçirerek havanın şişmesiyle genişleyen bir tüp şekli oluşturur. Bu işlemden sonra, tüp düz tabakalar oluşturmak için uzunlamasına kesilir.” (Seidel, 2009).

ETFE, en yaygın tekstil membranların yanında şişirilmiş yastıklara monte edilerek pnömatik yapıların uygulamasında kullanılmaktadır. ETFE yastıklar, camlı bir çatıya kıyasla çok daha düşük başlangıç maliyeti, daha az destek ile ısı yalıtımı ve şeffaf açıklık sağlayabilmektedir.

ETFE, yastıkların altındaki ana yapının yüksek bir sıcaklığa sahip olmasına neden olan çok yüksek bir güneş radyasyonu geçirgenliğine sahip olmasına rağmen, bu sorun puantiyeli filmlerin (silver dots) basılması ve kalınlığın artırılmasıyla değiştirilebilmektedir. Ayrıca, ETFE film aynı zamanda kendi kendini temizleme, alev geciktirici ve uzun ömür beklentisi gibi bir dizi olağanüstü özelliğe sahiptir. Kullanılan malzemenin tamamı kolayca sökülebilir ve tekrardan kullanılabilir şekilde ETFE malzemelerine ve ürünlerine geri dönüştürülebilmektedir.



Şekil 3.2: ETFE ve diğer malzeme türlerinde ışık geçirgenliğinin kıyaslanması (Url-30).

3.1. ETFE YASTIKLAR

ETFE malzemesinin sünme özelliğinin yüksek olmasından dolayı yırtılma mukavemeti de oldukça yüksektir. Sünme kabiliyetinin yüksek olması pnömatrik sistemlerce kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Birden fazla ETFE filmler belirli bir taşıyıcı karkas mekanizma ile sıkıştırılarak ve hava ile şişirilerek yastık formuna getirilmektedir. Şişirilmiş yastık sistemlerin (Inflatable Pillow Systems, IPS) form boyutları mekanizmanın tasarımına ve yastıkların ne kadar şişirildiğine göre değişmektedir. Alüminyum profillerin, ETFE folyoların ve ETFE yastıkların şişirilmesi için kullanılan havanın, özgül ağırlıkları düşük olmasından dolayı, şişirilebilen yastık mekanizmasının ağırlığı, ETFE yastıkların geniş bir alan kaplamasına karşın hacmine göre oldukça düşüktür.

ETFE folyo yastık yaklaşık 2-3,5 kg/m² ağırlığındadır. Bu, eşdeğer cam kaplamanın %2'sinden daha azı anlamına gelirken, alüminyum bağlantı ve çelik çerçeve desteği dâhil olmak üzere tüm yastık sistemi, geleneksel cam cephe yapısının %10 ila %50'si arasındadır. (Robinson, 2005)

ETFE filmlerin karakteristik özellikleri arasında darbe dayanımı ve mukavemeti yüksek olmasının yanı sıra, ETFE yastıkların içerisindeki hava basıncı dışarıdan gelebilecek darbelere karşı tepki görevi üstlenerek mukavemeti arttırmada katkı sağlamaktadır. ETFE şişirilebilen yastık sistemlerde hava üfleme makineleri sayesinde sistem sürekli kontrol altında tutulabilmektedir (Resim 3.2). Herhangi bir hava kaçağı, basınç değişimi veya doğal olmayan bir durum karşısında duruma göre hava üfleme sistemi kontrolüne müdahale edilebilmektedir. Havalandırma boruları, taşıyıcı yapıdan içerisinden veya dışarıysından şişme ETFE yastıklara bağlantılıdır. ETFE yastıklara yeterli basınçta hava akışı sağlanarak istenilen form elde edilmektedir. (Resim 3.3)(Resim 3.4).



Resim 3.2: ETFE yastıklar için kullanılan hava üfleme makinesi örneği (Url-31).

PTFE, PVC gibi membran malzemelerin zamanla sünekliğini ve gerilme mukavemetinde düşüşler sergileyebildiği görülmüştür. Dolayısıyla bu durum malzemelerin kullanıldığı asma germe yapılar statik ve estetik bakımdan zarar vermektedir. Bu tür durumlarda bu malzemelerdeki gerginlik kaybının giderilmesi için tasarlanan asma germe yapı mekanizmalarındaki değişiklikler ve müdahaleler yapının taşıyıcılığına, membran kumaşın zarar görmesine, maliyet ve zaman kaybına yol açabilmektedir. ETFE yastık sistemler, gerginlik kaybına veya basınç değişimlerine çok daha az riskle adapte edilebilmektedir. Sürekli hava kontrolü sayesinde taşıyıcılık devamlılığı ve mukavemet sağlanmaktadır.

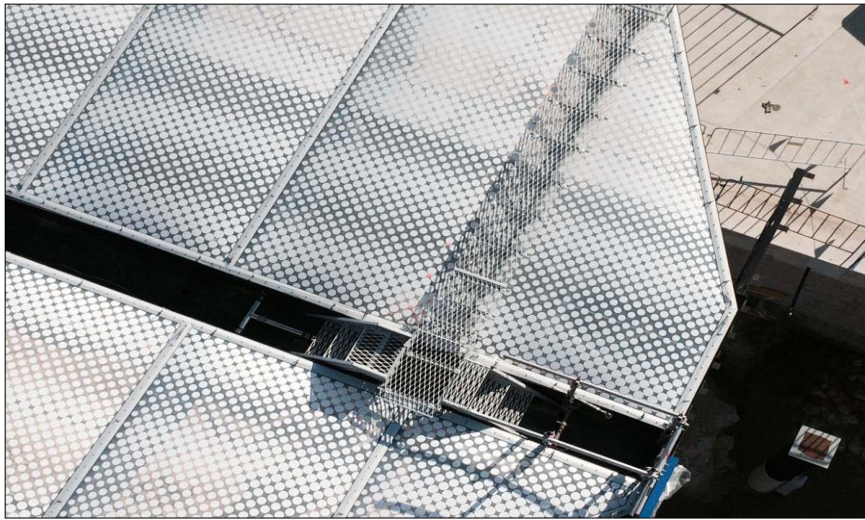


Resim 3.3: ETFE yastığa havalandırma boru bağlantısı (Bessel, 2012).

ETFE yastık sistemlerin tasarımını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Çevre koşulları, ışık, ısı geçirgenliği ve estetik tasarımına göre ETFE filmlerin kat sayısı belirlenebilmektedir. Işık ayarlamalarına göre puantiyeli veya enerji korunumu ihtiyacına göre fotovoltaik kollektörlü ETFE yastıklar tasarlanabilmektedir (Resim 3.5). ETFE yastıkları çevreleyen karkas sistemler genellikle iki destek profillerinden oluşmaktadır. Birincil destek profili, ETFE yastıklar için havalandırma borularını taşımaktadır. Ayrıca yan saçak profil olarak ETFE yastığı kelepçeleyen alüminyum profillerden oluşan ve oluk görevi üstlenen ikincil yapı profilini desteklemektedir. Cama kıyasla ETFE çok daha geniş alanları kapsayabilmektedir.

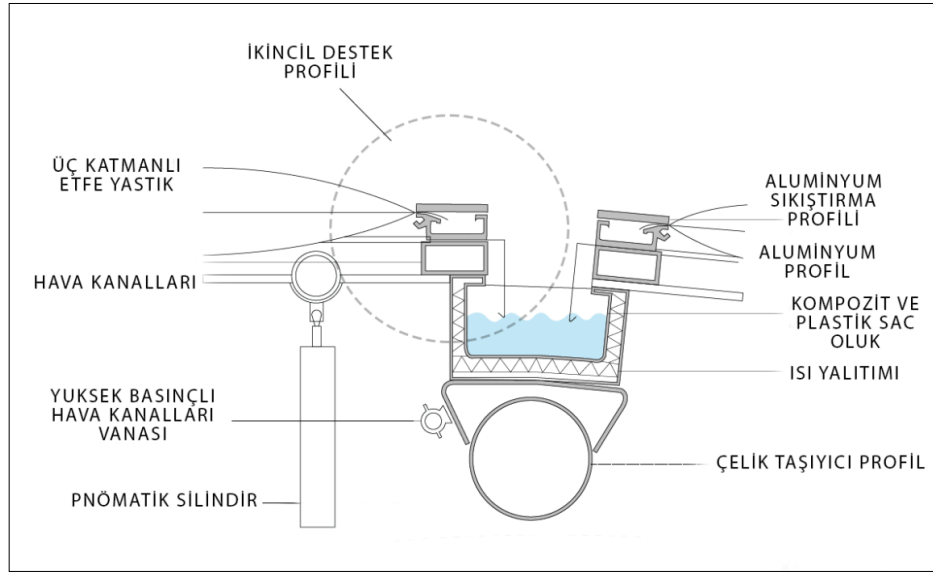


Resim 3.4: ETFE yastıkların havalandırma borularına bağlantısı (Url-31).



Resim 3.5: ETFE folyoların puantiyeli görünümü (Url-32).

ETFE'nin geniş alanlar kaplaması sonucu daha az karkas sistemlerin kullanılması, yan saçak profil uzunluklarının daha az kullanılmasına neden olmaktadır. Bu durumda çatı yalıtımı dışarıdan gelebilecek su ve hava sızıntılarından daha az etkilenmektedir. ETFE yastığının geniş açıklıklı, avlu veya galeri boşluğu uygulamalarında geleneksel camlı bir çatıya göre daha iyi bir iklimsel koşul sağladığı görülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: ETFE yastıklarının detay kesiti (Url-33).

ETFE yastık sistemler genellikle, rüzgâr veya kar gibi çoğu dış yüke direnç gösterebilmesi için 200-600 Pa arasındaki bir basınçla şişirilmesi yeterli olmaktadır. Hava hortumuyla bağlı ETFE yastıklarının iç basıncını, sıcaklığını ve nemini izleyen kontrol merkezi bir hava pompası sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca dış faktörler olarak rüzgâr basınçları, rüzgâr yönleri, kar yükü, sıcaklık, nem ve çiğlenme noktası gibi hava koşulları da bu kontrol merkezinden izlenebilmektedir. Pompa sisteminin amacı, basıncı korumak ve hava akışını sağlamamaktır.

“Tek bir şişirme ünitesi yaklaşık 1000 m² ETFE yastığa basınç uygulayabilir ve elektrik motorları ile çalışan iki adet geriye dönük hava folyo üfleyiciden oluşur.” (Bessey, 2012). Sistem arızası durumunda, çek vanaların kullanılması nedeniyle yastıklar basınçlarını 3-6 saat daha koruyabilmektedirler. ETFE filmler, montaj imalatından önce zehirli dumanları önlemek için lazer yerine bıçaklarla

kesilmektedir. İki tabakanın birbirine kaynaştırılması için tabakaların her iki tarafına da ısı ve basınç uygulanarak eriyik yapıştırma kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir.

Montaj aşamasında ETFE film ekstrüde alüminyum profile kaydırılır veya kenetlenir. Şişirilmiş çift veya daha fazla katmanlı ETFE'ler, fabrikada folyolara yerleştirilmiş hava valfine sahiptir. Yastıkları üniteleri şişiren ve sabit bir hava basıncında tutan bir üniteye bağlayan besleme hava borusu monte edilmektedir. ETFE folyolardan yapılan yastık sistemler kullanımına göre, çatı (dikey), kaplama (yatay) veya bütün kılıf olarak (hem dikey hem de yatay) uygulanabilmektedir.

3.2. KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Polimerler, monomer adı verilen n özdeş tekrar eden birimden oluşan uzun zincirli büyük moleküllerdir. Bir kopolimer, zinciri üzerinde iki farklı tekrar eden birim içeren bir polimerdir.

“Polimerler büyük moleküllerden oluşan maddelerdir. Polimer moleküllerini oluşturmak üzere birbirleri ile kimyasal bağlarla bağlanan ve tekrarlanan küçük moleküllere monomer denir. Monomer birimlerinden başlayarak polimer moleküllerinin elde edilmesine yol açan reaksiyonlara polimerizasyon reaksiyonları denir.” (Baysal, 1981)

Termoplastikler özellikle moleküler düzeyde sıralanmaktadır. Molekül zincirlerinin organizasyonel düzeni (uzamsal yerleşim) şekilsiz veya kısmen kristaldir. Molekül zincirleri dallanmamış veya güçlü dallanmış olabilmektedir. Güçlü dallanmış zincirler, zincirlerin ayrılmasını artırır. Dolayısıyla bu durum ışık iletimini (şeffaflık) arttırır. Kısmi kristalin termoplastikler opaktır ve opaklıklarının nedeni kristal boyutunda yatmaktadır; artan kristallik ile şeffaflık azalmaktadır.

“Yarı kristalin polimerler, %30 ila %70 arasında bir yerde bir kristallik derecesine sahiptir. ETFE yaklaşık %33 kristalindir.” (Moritz, 2007)

Sentetik termoplastiklerin çoğu polimerizasyonla üretilmektedir. Bu kimyasal reaksiyon süreci sıcaklık, basınç ve katalizörler tarafından başlatılır ve küçük moleküllerin daha büyük moleküllere çoğalmasına yol açmaktadır. Karbon atomlarının atomik bağları, makromoleküllerin polimerleşmesinin temelini oluşturur.

Benzer monomerlerin bağlanması bir polimer ile sonuçlanır, farklı monomerlerin bağlanması bir kopolimer ile sonuçlanır. Termoplastikler, doğrusal makromoleküllerin kopolimerizasyonundan kaynaklanan kopolimerlerdir. (Seidel, 2009)

Termoplastik polimerler ısıyla yumuşatılabilir ve bu nedenle eritilerek işlenebilir. Termosetler, polimer zincirleri arasında çapraz bağlantı içerir, bu da onları ısı ile yumuşamaya dirençli hale getirir, bu nedenle eritilerek işlenemez. (Fried, 1995)

Termoplastikler ısıtıldığı zaman yumuşama ve ısı devamlılığında sıvılaşma görülmektedir. Ters işlem uygulandığında soğutularak sertleştirilmesi mümkündür. Sürekli geri dönüşüm olarak bu durum tekrar edilebilmektedir. ETFE bileşenleri, petrokimyasal olmayan türevler olan fluorspar, hidrojen sülfat ve triklorometan olduğu için çevre dostu ve enerji tasarrufludur.



Resim 3.6: ETFE'nin kalıplanmamış yumuşak granül hali (Url-34).

ETFE (etilen tetrafloroetilen), etilen ve tetrafloroetilenin termoplastik formda bir kopolimeridir. Etilen ve tetrafloroetilen molekülleri, ETFE polimer zinciri boyunca değişen bir modelde meydana gelmektedir. Etilen, her biri bir çift bağ ile iki hidrojen atomuna bağlanan iki karbon atomundan oluşan bir omurgadan oluşmaktadır.

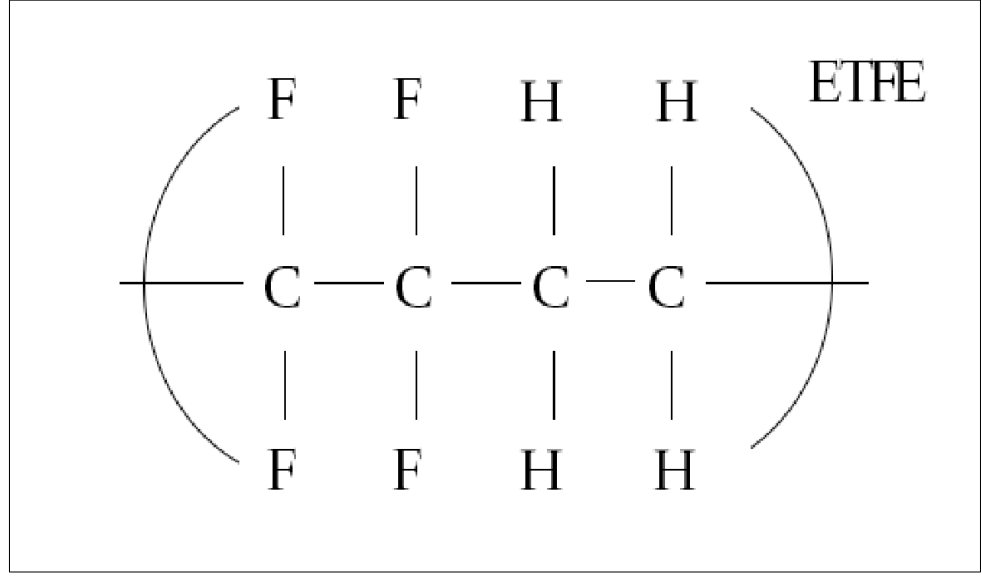
Tetrafloroetilen ayrıca omurgası olarak iki karbon atomuna sahiptir, ancak her biri hidrojen yerine flor atomlarına bağlıdır. ETFE molekülü, alternatif etilen ve tetrafloroetilen monomerlerinin tekrar eden birimleri içermektedir. Floropolimerler, karbon, hidrojen ve flor içeren polimerlerdir (Şekil 3.4).

“%50 etilen ve %50 tetrafloroetilen monomer bileşenlerinden oluşur. Modifikasyon olarak üçüncü bir bileşen karbon (%3 - 5) eklenerek, kristallik ve kristal boyutu da etkilenir. Bu bileşen, perflorlanmış bir vinil bileşiği olmadan ETFE, özellikle 150-200°C sıcaklıklarda stres altında istenmeyen şekilde yırtılma riski altında olacaktır.” (Seidel,2009)

Politetrafloroetilen gibi sadece karbon ve flor içeren polimerlere perfloropolimerler denmektedir. Hidrojen de içeren floropolimerler, kısmen florlanmış polimerler olarak adlandırılmaktadır. Hidrojen ilavesi sertliği ve tokluğu artırır ancak termal stabiliteyi azaltmaktadır. ETFE, kısmen florlanmış bir polimerdir.

ETFE'nin neredeyse tam şeffaflığı, yüksek hızda soğutma ile elde edilebilir. ETFE çoğunlukla sulu likörde polimerize edilir. Kristalizasyon sırasında, bir çöktürücü ilavesiyle karıştırılarak kontaminasyonlar çökelir. Son olarak dispersiyon yıkanır ve kurutulur. (Seidel, 2009)

Bir polimerin mikro yapısı mekanik özelliklerini etkilemektedir. Polimer malzemenin kristallik derecesinin düşük olması esneklik ömrünün yüksek olmasını sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu polimerlerin düşük yoğunluklu polimerlerden daha az sünme sergileyeceği için yoğunluğun sünmeyle ilişkili olabileceği görülmüştür. ETFE yoğunluk bakımından amorf ve düşük kristalin dereceli floropolimer özelliği taşımaktadır. Dolayısıyla yüksek sünme kabiliyeti bulunmaktadır. ETFE, yarı kristal bir polimerdir, yani hem kristal hem de amorf fazlara sahiptir. Amorf nitelikler, bir malzemenin esneme ömrünü veya bozulana kadar yorulma döngülerinin sayısını artırırken, artan kristallik bir malzemenin dayanıklılığını yitirmeye karşı direncini azaltmaktadır.



Şekil 3.4: ETFE'nin kimyasal formülü (Url-35).

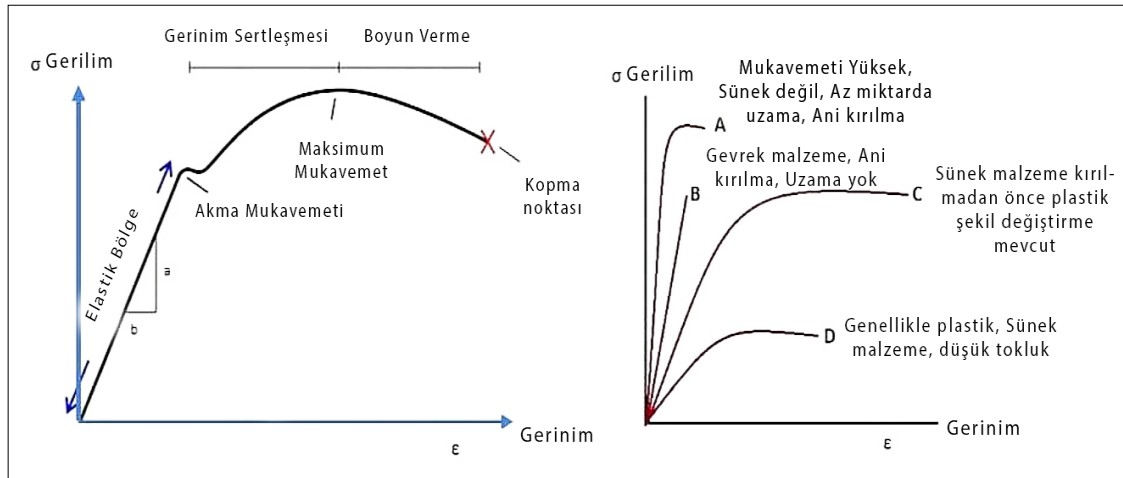
ETFE'nin neredeyse tam şeffaflığı, yüksek hızda soğutma ile elde edilebilir. ETFE çoğunlukla sulu likörde polimerize edilir. Kristalizasyon sırasında, bir çökeltici ilavesiyle karıştırılarak kontaminasyonlar çökeler. Son olarak dispersiyon yıkanır ve kurutulur. (Seidel, 2009)

Bir polimerin mikro yapısı mekanik özelliklerini etkilemektedir. Polimer malzemenin kristallik derecesinin düşük olması esneklik ömrünün yüksek olmasını sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu polimerlerin düşük yoğunluklu polimerlerden daha az sünme sergileyeceği için yoğunluğun süneklikle ilişkili olabileceği görülmüştür. ETFE yoğunluk bakımından amorf ve düşük kristalin dereceli floropolimer özelliği taşımaktadır. Dolayısıyla yüksek sünme kabiliyeti bulunmaktadır.

ETFE, yarı kristal bir polimerdir, yani hem kristal hem de amorf fazlara sahiptir. Amorf nitelikler, bir malzemenin esneme ömrünü veya bozulana kadar yorulma döngülerinin sayısını artırırken, artan kristallik bir malzemenin yorulmaya karşı direncini azaltır.

3.3. MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ETFE malzemesinin diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliği esneklik ve sünme kabiliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. ETFE malzemesi büyük sapmalara rağmen % 150-650 arasında uzama kabiliyeti göstererek gerginliğini ve stabilitesini koruyabilmektedir. ETFE bu özelliği ile mimari yapıların cephe kırılımlarında, çatı formlarında, cam gibi geleneksel malzemelere dayalı rijit yüzeylere, organik tasarım ve esneklik kazandırabilmektedir. Bir mimari yapıya ek olarak veya mimari yapının kendisini oluşturarak farklı form ve tasarımlara uyum sağlayabilmektedir. ETFE yastık sistemleri, kavisli yapısından dolayı aerodinamik özellik gösterebilmesi sayesinde dış cephelerdeki ani rüzgâr yüklerinin etkisini azaltmaktadır. ETFE folyolar, her iki yönde de aynı uzama kalitesini gösteren, neredeyse izotropik malzeme özelliği göstermektedir.



Şekil 3.5: Malzemeler üzerinde Gerilim, Gerinim diyagramı okunuşu (Url-36).

Çekme deneyinde sertlikteki ilk değişikliğe elastik limit denmektedir. Esneklik sınırı, sertlikte ilk önemli değişikliğin olduğu ilk noktadır. Akma noktası, malzeme anlık olarak tüm sertliğini kaybettiğinde ve son derece doğrusal olmadığında ortaya çıkmaktadır. Bu noktaya kadar malzeme üzerindeki gerinme bırakıldığında malzeme eski haline gelebilmektedir. Ancak akma noktası aşıldıktan sonra malzeme, kopma noktasına kadar, kendi uzunluğunun birçok katı ve mukavemetinin neredeyse iki katı uzayabileceği bir gerinim sertleşmesi aşamasına girmektedir.

ETFE folyoların mekanik özellikleri sıcaklık, membran kalınlığı ve yerel üretici gibi durumlardan değişkenlik gösterebilmektedir. ETFE'nin gerilme mukavemeti, 44 MPa ile 53 MPa arasında değişen değerlerde test edilmektedir. Sünme gerilmesi için 20 ve 30 MPa değerler aralığı test edilmiştir.

Çizelge 3.1: Literatürdeki çeşitli kaynaklara göre ETFE'nin mekanik özellikleri (Charnebaou, 2006).

Kaynak	Çekme Gerilimi (MPa)	Akma Gerilimi (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Yırtılma Mukavemeti	Elastisitenin Çekme Modülü (MPa)	Erime Sıcaklığı (°C)	Max. Çalışma Sıcaklığı (°C)	Min. Çalışma Sıcaklığı (°C)
Lehnert ve Schween (2006)	50	-	>350	400	700	-	-	-160
Drobny (2001)	44	-	-	-	826	271	-	-
Tanno (1997)	-	20	200-300	-	-	-	150	-200
Moritz (2007b)	53	30	300	440	900-1000	265-278	150	-190
Schöne (2007)	52.5	-	600	-	300-750	265	-	-
Barthel, Burger and Saxe (2003)	-	-	400-600	-	650-700	-	150	-200
Ebnesajjad Khaladkar (2005)	45	-	150-300	-	827	-	-	-

ETFE malzemesi üzerine yapılan deneylerde ikinci akma noktasından sonra malzeme davranışının homojen olmadığını göstermiştir. Büyük gerilimde moleküler zincirlerin yeniden oryantasyonu nedeniyle malzeme davranışının anizotropik hale gelmesi de beklenmiştir. Son olarak, ETFE folyoların viskoelastik ve plastik davranışını daha iyi anlamak için daha ileri çalışmaların gerekli olduğu ve ilk akma gerilimini artırmak için folyonun ön geriliminin kullanılmasının ETFE folyo yapılarının yük taşıma kapasitesinin iyileştirilmesinde etkili olabileceği deneylenmiştir. (Lamnatou, C.; Moreno B, À.; Chemisana V, D.; Reitsma, F.; Clarià S, F., 2017)

ETFE folyolar diğer şeffaf plastik malzemelere kıyasla çok yüksek dayanıklılık sunmaktadır. ETFE'nin mekanik özelliklerinin PTFE ve FEP'in (florlu etilen propilen) özelliklerinden daha üstün olduğu belirtilmiştir. ETFE folyoların temel özellikleri, yüksek çekme dayanımı, yüksek yırtılma ve darbe dayanımı, düşük duman emisyonu, alev yürütmezlik, hava koşullarına ve eskimeye karşı yüksek direnç, mükemmel dielektrik özellikler ve yapışmaz özellikler olarak görülmektedir. Ayrıca ETFE çok sünek bir malzemedir ve kırılma noktası öncesi büyük

deformasyonları nedeniyle iyi bir kırılma davranışı göstermektedir. Ek olarak, ETFE folyolar alkali dayanımlıdır ve çözücülere karşı büyük ölçüde dirençlidir.

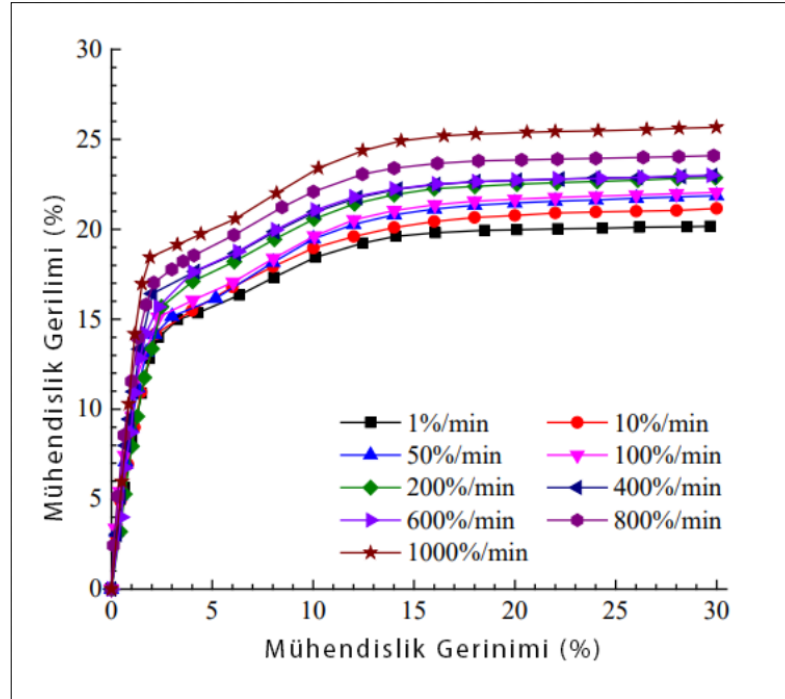
ETFE'nin yırtılma mukavemeti için 400 ve 440 MPa, çekme elastisite modülü (E) için verilen değerler 300 ila 1000 MPa arasında değişen büyük bir varyasyona sahiptir. En düşük ve en yüksek değerler hariç tutulursa, diğer tüm değerler 650 ila 827 MPa arasında dar bir aralığa düşmektedir. Erime sıcaklıkları 265 ila 278°C arasındadır. Maksimum çalışma sıcaklığı 150°C'dir ve minimum çalışma sıcaklıkları -200 ile -160°C arasındadır. İlk akma gerilmesi ve elastik modülünün artan sıcaklıkla azaldığı, ancak artan yükleme hızı ile arttığı gözlemlenmiştir. Normal çalışma koşulları göz önüne alındığında, sıcaklığın mekanik özellikler üzerindeki etkisinin yükleme hızından daha güçlü olduğu görülmektedir. Literatürde ETFE'nin farklı sıcaklıklara ve basınçlara dirençli olduğu belirtilmektedir. Farklı gerilme seviyeleri ve farklı zaman dilimleri için sünme çekme testleri ile çekme gerilimi testleri gerçekleştirilmiştir. ETFE filmler, yapısal uygulamalarda beklenen gerilme seviyeleri altında kısa süreli sünme göstermektedir. ETFE folyoların sünme gerilimi, gerilim seviyesi ile artmaktadır. Örnek olarak 1 gün boyunca 2 MPa'da gerilim altındaki ETFE folyoda çok az sünme gerilimi %0.015 - 0.033 meydana gelmektedir. Gerilim değerleri arttırıldığında 2 MPa'dan 14 MPa'ya çıkarıldığında 24 saat sonunda sünme gerilimleri %3,6 – 10,4'lük değerleri göstermektedir. Ayrıca ETFE folyoların enine veya boyuna göre gerilim uygulandığında süneklik tepkileri arasında farklılıklar gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.2: Çeşitli kaynakların derlemesine göre ETFE mekanik özellikleri (Bessey, 2012).

Mekanik Özellikleri	Min	Max	Birim
Elastisite Modülü	300	1100	MPa
Poisson Oranı	0.43	0.45	
Esnek Gerilimi	15	18	MPa
Akma Gerilmesi	25	35	MPa
Kopma Gerilmesi	40	64	MPa
Kırılma Tokluğu	250	650	%
Çalışma Sıcaklığı	-200	150	C
Erime Sıcaklığı	250	280	C
Sertlik	31	33	MPa
Yoğunluk	1.7	1.77	g/cm ³

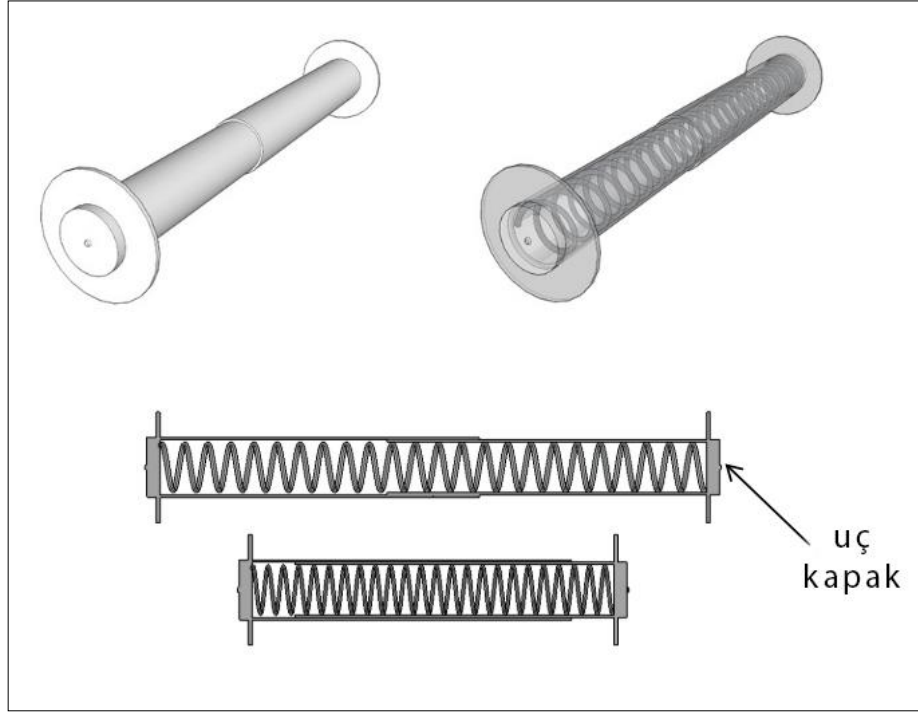
Genel anlamda, enine yönde test edilen filmler daha yüksek elastik ve sünme gerilmeleri göstermektedir. Filmlerin ekstrüzyonunun ve ETFE'nin moleküler yapısının bu davranışın nedenleri olabileceği varsayılmaktadır. (Charbonneau, L., Polak, M.A., Penlidis, A., 2014).

ETFE folyoların kopma uzaması geniş bir aralık olan %150 ila %600 arasında değişiklik göstermektedir. Uzama, numune boyutu, şekli, oryantasyonu ve yükleme hızı dâhil olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olduğundan, bu kadar geniş bir uzama aralığı görülmektedir. ETFE malzeme maliyeti verimliliği, basit imalat ve kolay kurulum avantajları ile ETFE yastık şeklini bulmak için en verimli teknik modellemeleri geliştirilmiştir. Bu fizibilite çalışmalarına göre, tüm form geliştirme süreci sırasında, ETFE yastığının gerilmelerinin tekdüze olmadığı tespit edilmiştir. Maksimum gerilmeler, üç katmanlı ETFE yastığın orta kısımlarındaki bölgelerde daha çok görülmektedir. Süneklik fazı açısından, ETFE yastığının iç basıncı sabit kalmaktadır. Ancak tümsek ve form 4 kPa'lık sabit iç basınçlar altında artmaktadır. Sünekliğin geri kazanımı aşamasında, ETFE folyolarının büzülmesi, yükselmeye, iç basınca, gerilme ve gerinme açısından farklılıklara bağlanmaktadır.



Şekil 3.6: Sünme miktarı ile gerilim arasındaki doğru orantının test sonuçları (Zhao, Bing & Chen, Wu-jun., 2020).

ETFE folyolar üzerinde basınç değişikliklerinden kaynaklanan büzülmeler ve kırışıklıkların giderilmesi için ETFE folyo yay yastığı üzerinde bir model deney geliştirilmiştir (Şekil 3.7). Bu deneyde çatısında ETFE folyo yastıkların kullanıldığı geçici bir salon inşa edilmiştir. ETFE yastıkların içine monte edilen sıkıştırılmış yay vasıtasıyla hava beslemesi ve kontrol ekipmanına ihtiyaç duyulmadan, sünekliğin korunumunun sağlandığı ve kırışmaların azaldığı gözlemlenmiştir. Çalıştırma enerjisinin olmadığı ve az bakım gerektiren ETFE folyo sıkıştırılmış yay sistemi, sürdürülebilirlik kıstasları içerisinde önemli bir konum teşkil etmektedir.

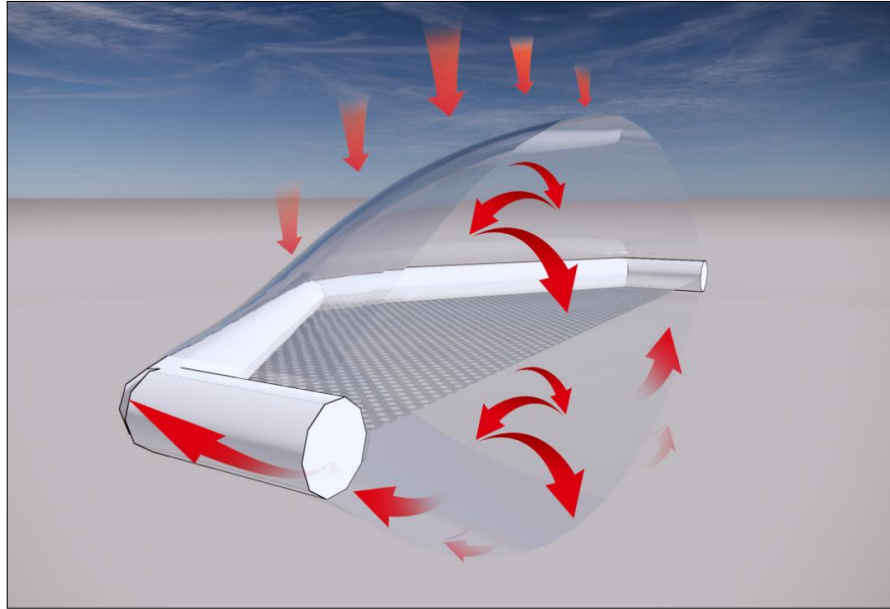


Şekil 3.7: ETFE folyolar arasına yerleştirilebilir yay modelleri (Bessey, 2012)

3.4. AĞIRLIK

ETFE, yapılarda genellikle şişirilebilen yastık sistemler olarak tanımlanan pnömatik gerilim sağlayan hava basıncı ile kullanılmaktadır. Pnömatik membran yapılarının en yaygın biçimleri, tüm kapalı alan içinde atmosferden daha yüksek hava basıncı ile stabilize edilmiş kubbeli veya yarı küresel şekilli membranlarla çevrili geniş alanlardır. Bu yapılar, sabit iç basıncı korumak için hava kilidi altında kalmalıdır. Yalnızca iç basınç altında, membran ön gerilimi gerçekleşmektedir. Hava

yastıkları içine üflenerek ETFE film tabakaları arasında şişirilmektedir. Hava, folyoların içinde ön gerilmeye neden oluşturmaktadır. Pnömatik bir yapıya rüzgâr veya kar yükü bindirildiğinde, dış folyo tabakası yükü ilk taşıyan tabakadır. Yük içeri doğru veya çatılarda aşağı doğru yönlendirildiğinde, bu yük yastığın sıkışmasına neden olarak hava boşluğuna aktarılmaktadır. Yük arttıkça yükü bir alt folyo katmanına aktaran hava basıncında bir artışa neden oluşturmaktadır. Son folyo katmanına ulaşıldığında, yük, alt katmandaki veya minderdeki gerilim yoluyla taşıyıcı sisteme aktarılmaktadır. (Şekil 3.8). Membran gerilimleri azalarak harici yükün iç hava basıncına eşit olduğu durumda sıfıra gidebileceği öngörülmektedir. Bu tür bir binada yükü taşıyan yapının kendisi değil, kapalı hava hacminin kendisi varsayılmaktadır. Bu durum harici yükün dikey olarak hareket ettiği, ancak hava basıncının yüzeye paralel hareket ettiği gerçeğini ihmal etmektedir. Dolayısıyla pratikte membran gerilimlerinin asla tamamen ortadan kalkmayacağı anlamına gelmektedir. Ancak şişirilmiş bir membran yapısının yükü nasıl taşıdığına dair kavramın gösterilmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.8: ETFE Yastıktan taşıyıcı sisteme yük taşınması modeli

ETFE yastık katmanlarındaki kullanılan folyolar, genellikle 50 µm ila 300 µm kalınlığında üretilir ve kalınlığına göre farklılık gösterebilmektedir. ETFE yastıklar yapılarında benzer bir prensip altında çalışmaktadırlar. Genellikle iki veya daha fazla membran malzemesi katmanından meydana gelmektedirler. İç tabakalar, yalıtım

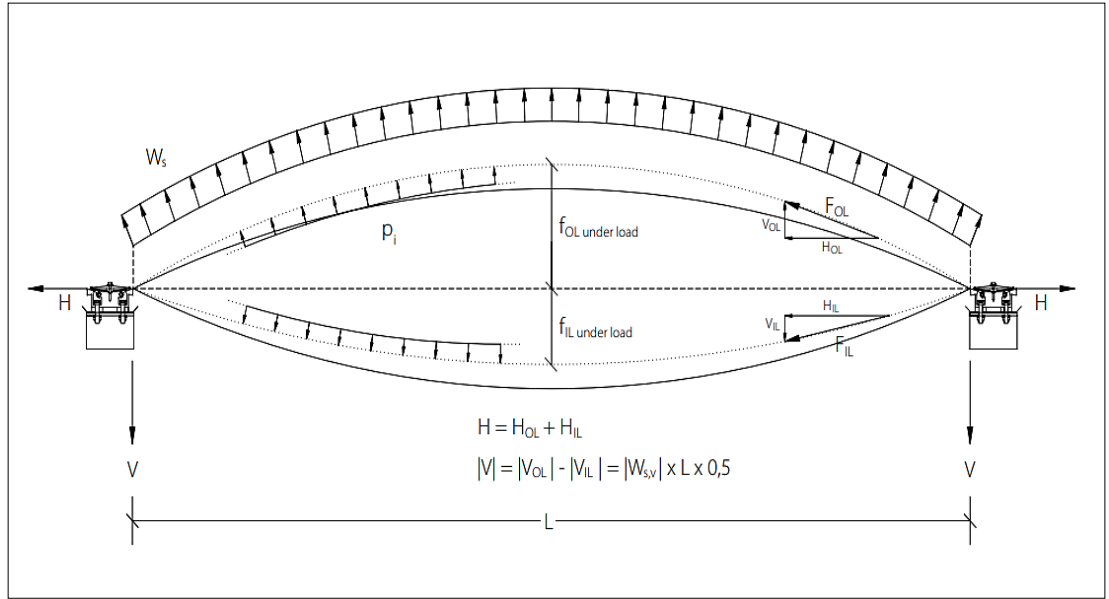
görevi üstlenirler ve genellikle daha ince folyolardan oluşmaktadırlar. Dikdörtgenler, üçgenler veya altıgenler gibi şekiller halinde kesilirler ve kenarları boyunca çatıları veya tüm binaları kaplayabilen birbirine bağlanan bir çerçeve sistemine kenetlenmektedirler. Bu da bir ETFE yastık formunun değişiklik gösterebileceğine dolayısıyla standart bir ağırlık tanımı yapılmasında farklılıklar görülebileceği anlaşılmaktadır. En düşük 50 µm kalınlığında standart iki katmandan oluşan bir ETFE yastığın metrekaşe başına minimum ağırlığının yaklaşık 1,72 N/m² olacağı öngörülebilmektedir. Tipik üç katmanlı ETFE yastığın, orta katman ve yalıtım için kullanılan 50 µm ince folyo ve dış katmanları oluşturan 300 µm gibi daha kalın folyodan oluştuğunu varsayarsak, bu yastığın ağırlığı yaklaşık 11.16 N/m² (1,138 kg /m²) olması beklenilmektedir. Çift camlı bir cam panelin kendi ağırlığı, iki 3 mm'lik bölme için yaklaşık 140,82 N/m²'dir (14,36 kg/m²) (Türk Standardları Enstitüsü, 2006). Bu nedenle ETFE, şeffaflık bakımından kıyaslandığında cama göre çok daha hafif ve taşınması için gerekli destek yapısı maliyetinde ekonomik avantajlar sağlamaktadır. ETFE folyo sistemlerinin belki de en çok arzu edilen özelliği hafif olmalarıdır.

Folyoların minimum kalınlığı, kural olarak hesaplamalarda ihmal edilebilecek düşük bir yüksüz ağırlık ile sonuçlanır. 1,75 kN/m³ özgül ağırlıkta, bir yastıktaki (2~250 µm) iki folyo tabakası, birim alan başına 1.0 kg/m²'den az bir kütle ile sonuçlanır. Karşılaştırıldığında, 4 mm kalınlığındaki camın birim alan başına kütlesi yaklaşık 10 kg/m² ve 25 mm kalınlığındaki ikiz duvarlı polikarbonat panel yaklaşık 3,5 kg/m²'dir (Moritz, 2010).

Çizelge 3.3: ETFE folyoların camla, katmanlarına göre özkütle kıyaslaması (Pavlovic, A., Veljkovic S. D., Karamarkovic, J. 2018).

	ETFE			CAM	
	tek katman	çift katman	üç katman	tek katman	çift katman
	200 µm	200 µm + A300 + 200 µm	200 µm + A300+200 µm + A300+200 µm	6mm	6 mm+A12+ 6 mm
özkütle (kg/m²)	0.35	0.7	1.05	15	30

Bir ETFE yastık üzerindeki rüzgâr yükü, üstünde ve altında oluşan hava basıncı arasındaki farktan kaynaklanır. Folyo katmanlarının her biri, rüzgâr yüküne tepki olarak bitişik hava basıncı ile yastıktaki iç basınç arasındaki basınç farkı tarafından gerilmektedir. Üst yüzde rüzgâr emişi meydana geldiğinde, yastığın üzerindeki hava basıncı, yani havanın destekleme kuvveti azalır (Şekil 3.9). Sonuç olarak, üst folyo yukarı doğru deforme olur ve gerilir. Nominal iç basınçla ön gerilmiş durumuna göre yükselişi (maksimum yükseklik) artar. Fan, kısa rüzgârlar meydana geldiğinde hava kanallarının küçük enine kesiti (yaklaşık 20 cm²) yoluyla daha büyük bir hava hacmi sağlayamadığından, yastık içinde yer alan hava moleküllerinin sayısı neredeyse sabit kalır. Rüzgâr sırasında sabit bir sıcaklık varsayıldığında, kapalı hava Boyle'un gaz yasasına göre gevşer ($p \approx v = \text{sabit}$), yani yastığın hacmi artar ve iç basınç azalır. Böylece alttaki folyo rahatlar ve yüksekliği azalır. Üst yüzdeki rüzgâr emiş yükleri, alt folyo tamamen gevşeyecek kadar yüksekse, iç yastık basıncı, yastığın altındaki hava basıncıyla eşleşir. Bu durumda, dâhili yastık basıncı rüzgâr emişiyle örtüşmemelidir. Rüzgâr basıncı üst yüzde olduğunda sistem aynı yasaya göre hareket eder: kapalı hava hacmi sıkıştırılır, yastıktaki basınç nominal iç basınca göre yükselir ve alt folyonun gerilimi artar. Bu, yastığın yük transfer prensibidir.



Şekil 3.9: Rüzgâr emmesi altında çift katmanlı ETFE yastığın deformasyonu ve reaksiyon yönlerinin kesiti (Moritz, 2010).

3.5. YANGIN PERFORMANSI

Yangına dayanıklılık ile ilgili olarak kategoriler A1, A2, B1, B2, B3 ve C olarak belirlenebilmektedir. A1 ve A2 yanmazlık sınıfları mineral yün ve cam yünü için geçerlidir. B yanmazlık sınıfları poliüretan plakalar için uygundur. Yangına dayanıklılık sınıfında A kategorisi “Alev Almaz” olarak kabul edilmektedir. Alev yürütmezliği yüksek malzemeler ateş kaynağına maruz kalsa ve yanma tepkimesi gerçekleşse de üzerinde alevi yürütmemektedirler. B sınıfı malzemeler “ateşe dayanıklı” olarak kabul edilmektedirler. Alev kaynağı malzemeden uzaklaştırıldığında malzeme kendiliğinden sönebilmektedir. ETFE filmler, yanma damlası olmaksızın kendi kendine sönebilen, alev yürütmez ve yangına dayanıklılık açısından çeşitli ulusal ve uluslararası standartlar altında derecelendirilmiştir. ETFE, farklı standartlar altında sınıflandırılmıştır:

*ASTM E84, Yapı Malzemelerinin Yüzey Yanma Karakteristikleri için Standart Test Yöntemi, A Sınıfı

*UL 94VTM, Cihazlar ve Aletlerdeki Parçalar için Plastik Malzemelerin Yanıcılık Testleri: İnce Malzeme Yanma Testi, V- 0 Sınıfı

*EN 13501-1, Yapı Ürünleri ve Yapı Elemanlarının Yangın Sınıflandırması: Bölüm 1: Tepkimededen Yangın Testlerine Kadar Verilerin Kullanıldığı Sınıflandırma, B-s1-d0 Sınıfı

*Ulusal Yangından Korunma Derneği (NFPA) 701, Tekstil ve Filmlerin Alev Yayılması için Standart Yangın Test Yöntemleri (Construction Specifier, 2016)

Standartlar	Sınıf
UL 94VTM	V -0
EN 13501-1	B-s1-d0
ASTM E84	A
ASTM E108	A
JIS A 1322	1
DIN 4102	B-1

Şekil 3.10: Standartlara göre yangın sınıflandırmaları

ETFE'nin erime noktası yaklaşık 260 °C'dir. Yangın durumunda kendi kendine söner ve herhangi bir alev damlası veya parçacık oluşturmadan alevlerin yayılmasını engelleyebilmektedir. ETFE'nin yangın koşulları altında büzülerek dumanın ve yangının dışarıya atılmasına izin vermektedir. Sıcak gazlar veya alevler, bina cephesinin bir parçasını oluşturan ETFE kaplama ile temas ederse, ETFE etkilenen alandan eriyerek ve büzülerek geri çekilme tepkisi vermektedir. Bu sayede sıcak gazların ve dumanın binadan dışarı atılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, yangına veya aşırı sıcaklıklara maruz kalan tüm yastıkların değiştirilmesi gerekmektedir (Vector Foiltec, 2021a).

Test sertifikalarına göre kullanılan ETFE folyo, düşük yanıcılığa sahip bir B1 yapı malzemesidir (DIN 41021). Doğrudan alev çarpması ile yaklaşık 275 °C'lik bir sıcaklıkta erimeye başlar, bu da gazın ve ısının ateş kaynağı yoluyla çıkarılmasına izin verir. Eriyen malzeme hızla katılaştır, böylece folyo DIN 4102'ye göre “yanarken düşmez (damlamaz)” olarak sınıflandırılır. Birim alan başına düşük ağırlık nedeniyle yangın yükü son derece küçüktür (Moritz, 2010).

ETFE'nin bu kendi kendine havalandırma ve kendi kendine sönme özelliği, sayesinde çatı altında yüksek sıcaklıkların oluşmasını önleyerek yapının yıkıcı yapısal çökmesini önleyebilmektedir.

3.6. ÇEVRESEL FAYDALARI

ETFE oluşturmak için kullanılan malzemeler çevre dostudur ve geri dönüştürülebilmektedir. Kusurlu folyolar reçineye dönüştürebilir ve daha sonrasında yeni malzeme olarak işlenebilmektedir. Kimyasal yapısından dolayı floropolimer özelliği olan ETFE malzemelerinden; borular, dökümler ve teller üretilebilmektedir. Ayrıca, malzemenin en iyi avantajlarından biri, hem nakliye maliyetlerini hem de karbon ayak izini azaltabilen hafif olması özelliğidir. (LeCuyer, 2008). Kendi kendini temizleyen bir malzeme olan ETFE, temizlik için gerekli olan su kaybını ve kimyasalların verebileceği çevre zararlarını azaltmaktadır. Son olarak, ETFE üzerinde yapılan çalışmaların bir kısmı, hâlihazırda geliştirilmiş ve uygulanmış projelere dayanarak, ETFE malzemesinin yenilenebilir enerji sistemleri ve çevre dostu yapılarla bağlantısı olduğu doğrulanmaktadır.

3.7. YALITIM PERFORMANSI

Malzemenin ışık iletim hızı yani ışık geçirgenliğiyle, güneş ısı iletim hızı aynı anlamı taşımamaktadır. Işık geçirgenlik katsayısı ile güneş ısı geçirgenliği arasındaki oran (termal ısı geçirgenlik) katsayısı ve spektrumdaki ışığın dalga boyları değerlendirme için iyi bir ölçüt oluşturmaktadır. Belirli bir malzemenin güneş ısı geçirgenliği U-değeri ile ölçülmektedir. Bir bina bileşeninin ısı transfer oranlarını anlamak için U değerlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. U değeri, belirli bir malzemedan geçen ısının, transferi boyunca ölçülmesi sonucudur. Yapılardaki U değeri ölçümü, yapı kabuğunun, dış kabuğu oluşturan malzemedan içeriye ısı geçişi olarak tanımlanmaktadır. Daha düşük bir U değeri, daha fazla yalıtımın bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Alman ölçüm sisteminde (DIN), k-değeri ısı geçirgenlik katsayısına benzer olsa da oranlarda küçük farklılıklar olabilmektedir. Bu farklı hesaplamalar dışında, U değeri yaz ve kış koşulları için daha spesifik sonuçları ölçebilmektedir. Bu nedenle ısı geçirgenlik katsayısı, yüksek yalıtım özelliğine sahip uygun yapı malzemesini seçmek, mimari tasarımda dikkate alınması gereken önemli hususlardandır. Dolayısıyla yapılardaki şeffaf açıklıklar için gerekli malzemeler bir duvarın yalıtım değerlerini sağlayabilmeli ve şeffaf açıklıklarla meydana gelebilecek ısı kayıplarının minimize edilebilmesi amaçlanmaktadır.

ETFE, aşırı sıcaklık ortamlar için tel yalıtımı olarak geliştirilmiştir, bu nedenle cam gibi geleneksel malzemelerin yalıtım değerlerini aşması beklenilebilmektedir. ETFE şişirebilen yastık sistemlerin tek, çift veya üç katmanlı olarak uygulanabilirliği, yalıtım bakımından olduğunda avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar sayesinde yapının iç hava konforu sağlanabilmektedir. Yalıtım için yeterli hava boşluğu olmasının yanı sıra ek olarak iç filmlerin sayısının çoğaltılmasıyla U değeri düşürülerek yalıtım kalitesi artırılabilir. Tipik bir üç katmanlı ETFE yastığın U-değeri yaklaşık 1,7 W / m²K iken, kaplamasız çift camlı, hava dolgululu bir cam panelin U-değeri yaklaşık 2,9 W / m²K'dır. (Pavlovic, A., Veljkovic S. D., Karamarkovic, J. 2018).

Çizelge 3.4: ETFE katmanlarına göre cama kıyasla ısıl geçirgenlik oranları (Pavlovic, A., Veljkovic S. D., Karamarkovic, J. 2018).

	ETFE			CAM	
	tek katman	çift katman	üç katman	tek katman	çift katman
	200 µm	200 µm + A300 + 200 µm	200 µm + A300+200 µm+ A300+200 µm	6mm	6 mm+A12+ 6 mm
U (W/m²K)	5.8	2.6	1.7	5.9	2.9

ETFE yastıkların yalıtım özellikleri, özellikle floropolimerler için geliştirilmiş kaplamalar kullanılarak iyileştirilebilir, böylece film üzerine uygulanan enerji tasarruflu kaplama yalıtım kapasitesini arttırmaktadır.

Standart bir ETFE folyo yastık sistemi için ortalama U değerleri aşağıdaki gibidir (Url-37);

2 Katmanlı ETFE yastık için: 2.94 W/m²K

3 Katmanlı ETFE yastık için: 1.96 W/m²K

4 Katmanlı ETFE yastık için: 1.42 W/m²K

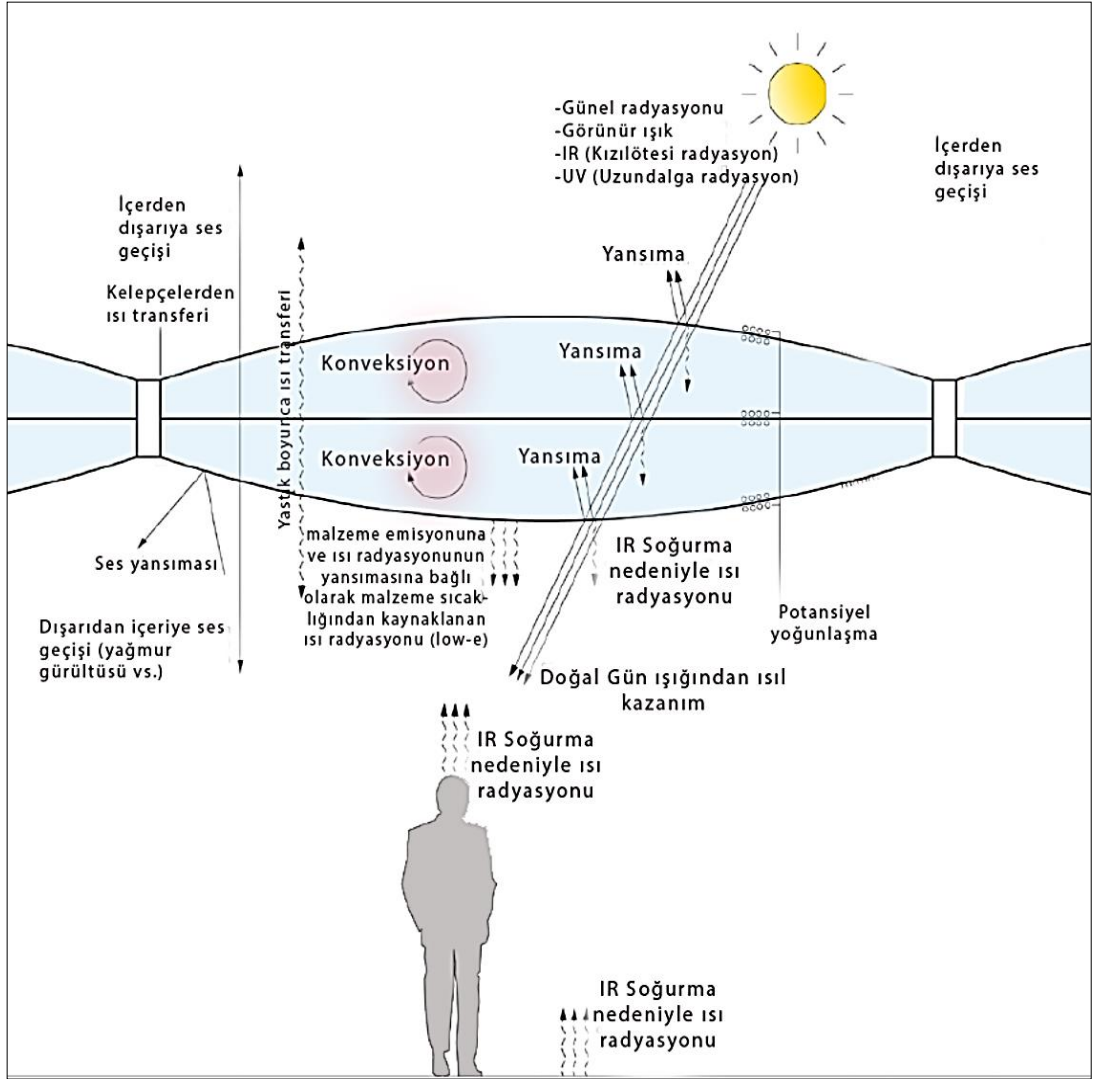
ETFE folyo ile şişirilebilen yastıkların yalıtımı, kışın soğuk havanın, yazın sıcak havanın yapı içerisine girmesinde engel oluşturmaktadır. Isıl direnci ve stabiliteyi koruyan ETFE yastıkları, yapı içindeki hava konforu için gerekli ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürerek enerji korunumuna doğrudan katkı sağlamaktadır.

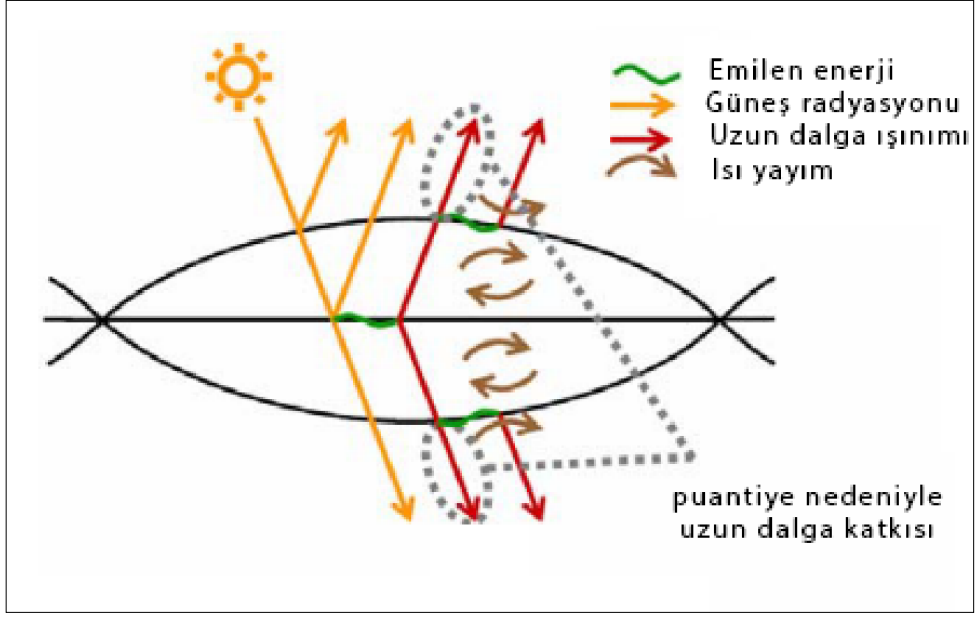
ETFE yastığın içinden geçen UV ve güneş enerjisi, içindeki nesnelere çarparak, ısıya neden olan uzun dalga enerjisine dönüşmektedir. ETFE yastıklara farklı yüzey işlemleriyle ek yastıklar veya puantiyeli folyolar monte edilerek, radyasyon ve ışık iletimine sınırlandırmalar getirilebilmektedir.

Puantiye baskılı folyolarla oluşturulan ETFE yastıkların uzun dalga iletimi üzerindeki etkisi yalıtım performansını etkileyen önemli bir parametre olarak görülmektedir. Genel olarak, puantiyeli folyoların temel amacı gölgeleme sağlamak ve iletilen güneş enerjisi alanını düşürmektir. Puantiyeli folyolar sayesinde ışık iletimi ve gelebilecek uzun dalga ısı transferini azaltacağından, ısı yalıtımını artırmaktadır. Sıcak ve güneşli bir günde, puantiyeli folyolar mekâna giren kısa dalga

radyasyon miktarını azaltmaktadır. Puantiye yoğunluğu ne kadar yüksekse, doğrudan kısa dalga etkisi o kadar düşük olmaktadır.

ETFE yastıklarının genellikle orta katmanlarında bulunan gümüş puantiye baskılı folyolar kısa dalganın bir kısmını yansıtmaktadır. Diğer kısmını ise emerek orta katmanın sıcaklığını ve yayılan uzun dalga ışımasını artırmaktadır. Uzun dalgalara karşı geçirgenliği cama kıyasla yüksek olan ETFE, puantiyeler sayesinde uzun dalga radyasyonuna opak davranabilmektedir. Böylelikle puantiyeli bir ara katman, dışarıdan gelen uzun dalga radyasyonunun iletimini engelleyebilmektedir (Şekil 3.11)(Şekil 3.12).





Şekil 3.12: ETFE yastıkta güneş ışınları konveksiyonunun ve yayılımının şematik gösterimi (Poirazis, H., Kragh, M., & Hogg, C. 2009)

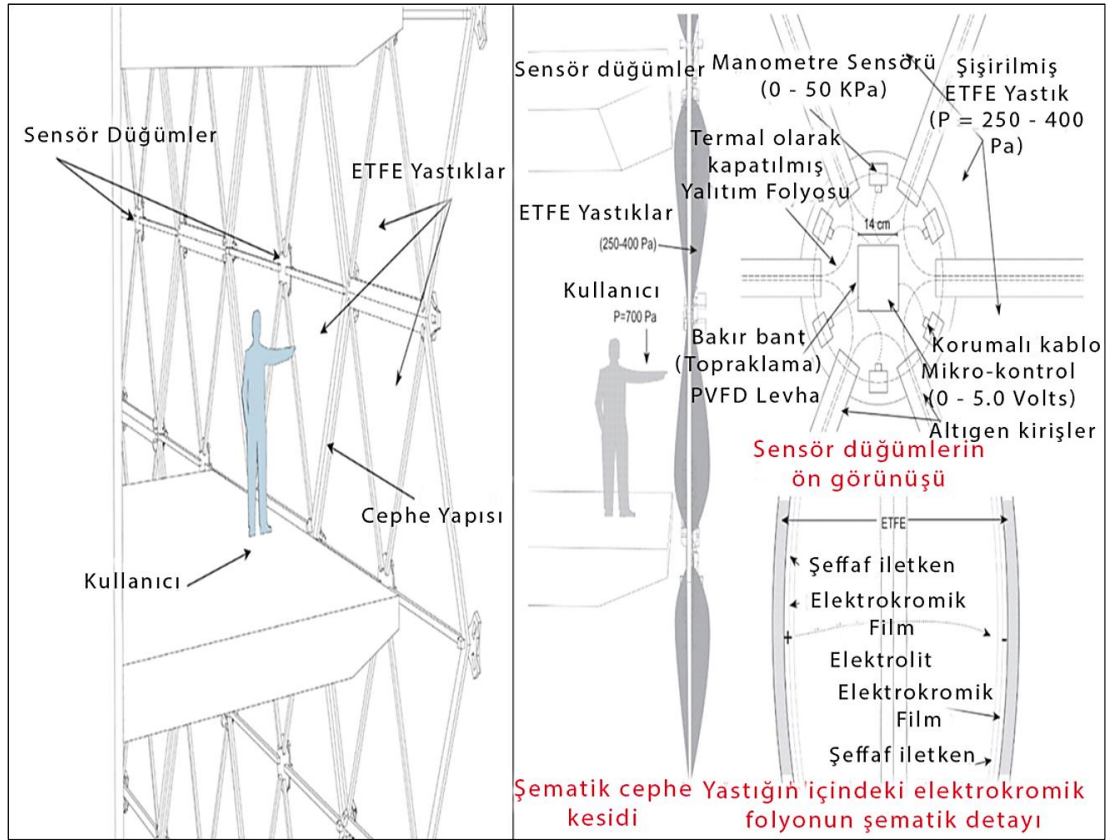
Yüksek hava ve ısı direnci, kimyasal inertlik, yüksek elektrik yalıtımı ve düşük sürtünme katsayısı gibi özellikler, ETFE'nin futbol stadyumu çatı kaplaması, tel yalıtımı, yalıtımlı transformatörler ve yüzey kaplamaları gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmasını sağlamaktadır. ETFE yastıkların yalıtım özellikleri, özellikle floropolimerler için geliştirilmiş kaplamalar kullanılarak iyileştirilebilir, böylece film üzerine uygulanan düşük enerjili kaplama yalıtım kapasitesini artırır.

3.8. IŞIK GEÇİRGENLİĞİ

Mimar ve mühendisler için karanlık alan ve doğal ışık kaynağının yapı içinde erişimi gibi konuların, enerji korunumuna ve mimari sürdürülebilirliğe etkisi olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan yapıların dış kabuğunda şeffaf açıklıklar için kullanılan malzemelerin ışık geçirgenliği ve bunun kontrolü, kullanıcı konforu bakımından dikkat edilmesi gereken önemli hususlardandır. ETFE malzemesinin yüksek ışık geçirgenliği özelliği, yapılarda aydınlatma maliyetlerinde enerji tasarrufu oluşturmasının yanısıra güneş ısı transferlerinin ve uzun dalgalara karşı geçirgenliğinin yüksek olması nedeniyle ETFE yapılarında ısı transferi sorun oluşturabilmektedir.

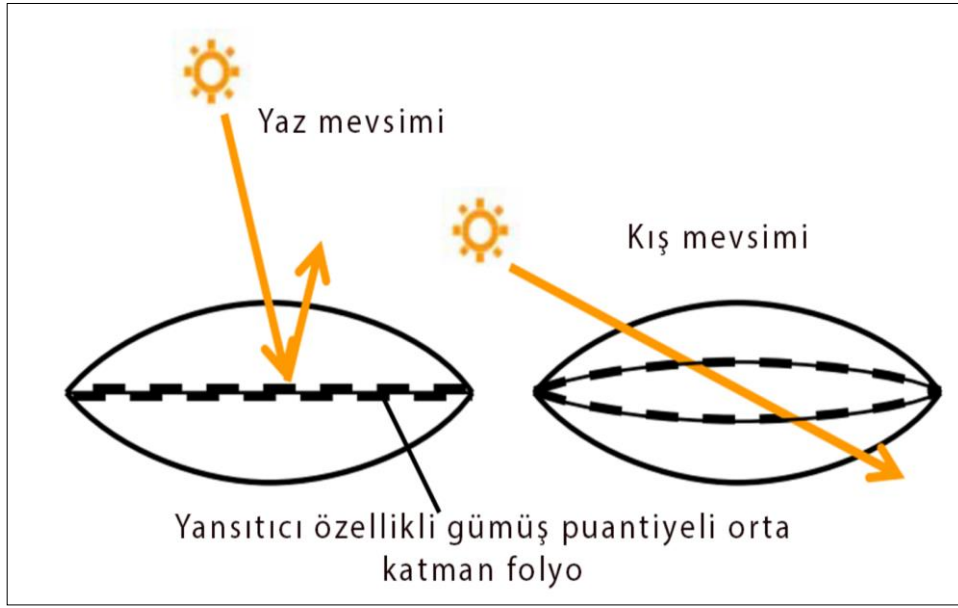
Buna karşı koymak için filmlere gölgeleme desenleri basılabilmektedir. Desenlerin şekli aralıkları ve folyaların yerleşimi değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durum gün boyunca farklı noktalardan farklı gölgeleme seviyelerine olanak sağlamaktadır.

Gölgeleme seviyesini ayarlamak için yastıkların iç ve dış katmanlarına ters desenler basılmaktadır. Daha sonrasında yastığın içindeki münferit bölmelerdeki hava basıncını değiştirerek, tabakalar maksimum gözenekli kapsama sağlayacak şekilde birbirine yaklaştırılır veya doğal ışık iletimini en üst düzeye çıkarmak için ayrılabilir. Güneş ışığı açısına göre, iç katmanın açılıp kapanmasının sonucunda iç mekânda veya örtü sistemi altındaki gölgelemede değişikliklere sebebiyet vermektedir (Şekil 3.13)(Şekil 3.14). Bu sistem, binanın çatısına veya cephesine monte edilen ışık sensörlerinin eklenmesiyle otomatik hale getirilebilmektedir (Url-38).

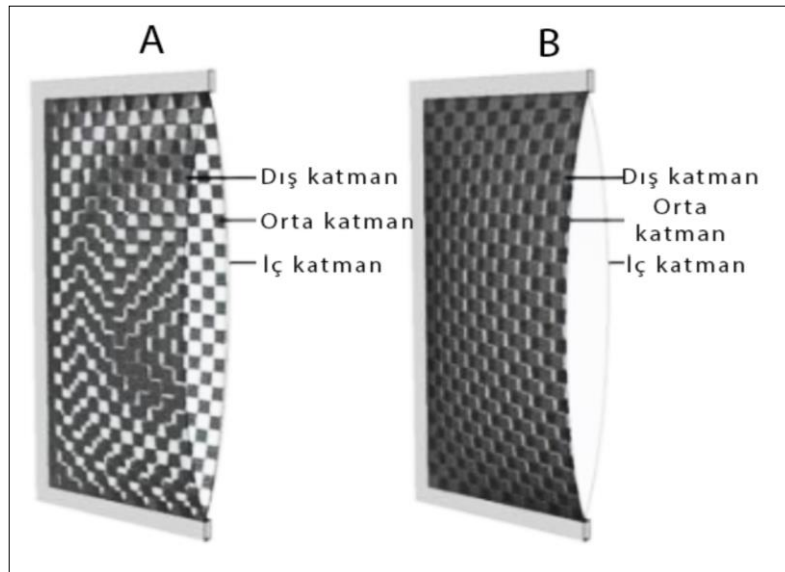


Şekil 3.13: ETFE yastık sistemlerin otonom sensörlerle dinamik davranış prototipi (Cardoso, D., Michaud, D. & Sass, L. (2007).

ETFE filminin yüksek ışık geçirgenliği, dış mekânlarda hava şartlarının oluşturabileceği olumsuz etkilerine karşı koruyucu yaklaşım gösterebilirken, şeffaflığı sayesinde, kullanıcıların dış mekân algısını oluşturan gökyüzüyle, görsel temasın devamlılığını sağlayabilmektedir. ETFE folyolarının genellikle atriyumlarda veya özellikle sera ve hayvanat bahçelerinde kullanılmasının nedeni bitkilerin fotosentezi için tüm ışık spektrumu ihtiyacını karşılayabilmesidir.



Şekil 3.14: ETFE yastığın orta katmanındaki puantiyeli folyonun hava basıncıyla ayarlanması (Poirazis, H., Kragh, M., & Hogg, C. 2009)



Şekil 3.15: Pnömatik ETFE folyo yapıları için dinamik üç katmanlı gölgeleme mekanizması kesiti (Flor, J.F., Wu, Y., Beccarelli, P. & Chilton, J. 2017).







ETFE'nin görsel ışık geçirgenliği, %94-97 aralığında ultraviyole geçirgenliği ise %83-88'dir. Güneş spektrumunun görünür kısmında, frekanslar malzeme aracılığıyla oldukça eşit bir şekilde iletilir, bu da ETFE'den görüntülenen renklerin bozulmadığı anlamına gelmektedir. (Robinson, 2005).

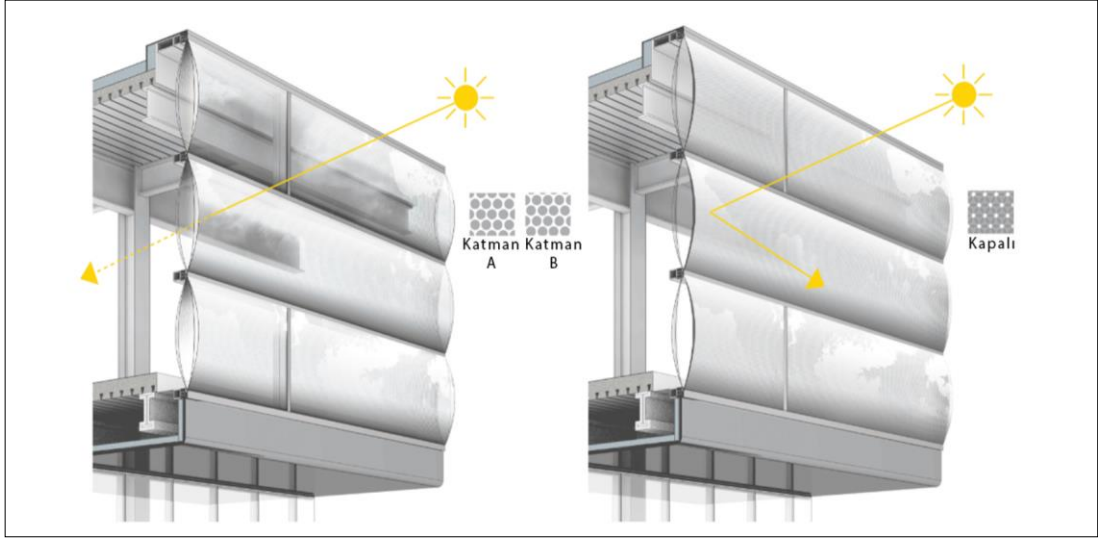
Çizelge 3.5: ETFE katmanlarına göre cama kıyasla ışık geçirgenlik yüzdeleri (Pavlovic, A., Veljkovic S. D., Karamarkovic, J. 2018).

	ETFE			CAM	
	tek katman 200 µm	çift katman 200 µm + A300 + 200 µm	üç katman 200 µm + A300+200 µm+ A300+200 µm	tek katman 6mm	çift katman 6 mm+A12+ 6 mm
Gözle görülür (%)	90.5	82.4	75.4	88.9	79.6
UV (%)	83.5	71.5	62.3	61.4	45.5

ETFE folyoların kalınlığıda ışık iletiminde küçükte olsa fark gösterebilmektedir. 200 µm kalınlığındaki bir ETFE folyo için ışık geçirgenliği %95 seviyelerindeyken daha incelikte bir ETFE folyo, %97'lere kadar ışık geçirgenliği sağlayabilmektedir. ETFE folyoların çok katmanlı uygulamalarındaki ışık geçirgenliği miktarı %78-87 lere kadar düşebilmektedir. Güney yarım küre gibi coğrafi bölgelerde UV ışığının düşürülmesi için beyaz folyo katmanlar kullanılarak ışık geçirgenliği ve UV ışık değerleri azaltılabilmektedir. Beyaz opak folyoların görünür ışık geçirgenliği %40 seviyelerinde olduğu aktarılmaktadır. (Url-39). ETFE çoğu UV ışığını geçirdiği için, diğer mimari camlarda yaygın bir sorun olan UV bozulmasına ve renk bozulmasına karşı dirençlidir.

Çizelge 3.6: ETFE folyo tiplerinin geçirgenlik farkları tablosu (Url-40).

Tip	NJ	HJ	PT	WT	BT	UVC	
							
	Şeffaf	Mat	Baskılı (PT 12)	Beyaz	Mavi	UV kesici	
Geçirgenlik [%]	Görünür Işık (380-780nm)	90.5	91.7	63.2	40.5	80.3	87.3
	Ultraviyole (300-380nm)	83.5	88.2	58.2	1.0	75.4	36.9
	Güneş Işığı (300-2100nm)	91.9	90.4	63.7	50.1	86.9	88.9



Şekil 3.16: ETFE yastık cephenin ışık geçirgenlik diyagramını anlatan kesidi (Url-41).

3.9. AKUSTİK ÖZELLİKLERİ

ETFE'nin en önemli dezavantajlarından biri olarak akustik şeffaflık görülebilmektedir. Etfel filmler %70 akustik geçirgenliğe sahiptir (Url-42). ETFE'den yapılan yastıklar neredeyse tüm sesi dışarıdan iletir ve yağmur damlalarında olduğu gibi yüzey üzerindeki etkiden ek gürültü oluşturabilmektedir. Ayrıca ses dalgalarının ETFE yastıklardan geçip giderek mekâna yansımaması iç akustik olarak yetersiz kalmaktadır. Akustik yalıtımın ölçüsü, bir malzemenin akustik yalıtım kapasitesini ölçen "Ses indirgeme katsayısı" veya "Rwvalue" olarak değerlendirilmektedir. Üç katmanlı ETFE folyo yastığın bile Rw değeri 8 dB iken, cam çift camın Rw değeri 42 dB'dir. (Robinson, 2005) ETFE malzemenin yapılmış yastıkların bu dezavantajı, akustik yalıtım dâhil edilerek hafifletilebilmektedir.

Yağmur gürültüsünün sorunlu olduğu tespit edilirse, gürültü yoğunluğu, patentli bir "Texlon RS" yağmur bastırma ağının takılmasıyla kolayca en aza indirilebilmektedir. Ağ, floropolimer monofilaman elyaflardan veya tipik olarak 20 mm ila 40 mm arasında değişen bir dokuma çapına sahip kumaşlardan yapılmaktadır. Her panelin dış yüzeyi boyunca gerilim altında tutulur ve yağmurun tampon tabakasını hapseder, böylece yüzey kütlelerini artırır ve sonuç olarak hem ses

oluşumunu hem de iletimini azaltmaktadır. Testler, ağın gürültü seviyelerini 9.7 dB azalttığını göstermiştir, bu da insan kulağında %50 gürültü azaltmaya eş değerdir. Yağmur bastırma ağı, ışık iletiminde %5-10 oranında küçük bir azalmaya neden olabilmektedir. Yağmur önleyici ağ herhangi bir kurulumla kolayca takılabildiğinden, standart kaplama özelliklerine dâhil edilmesi tavsiye edilmemektedir (Vector Foiltec, 2021b).

3.10. SERA KULLANIMI

ETFE'nin yüksek ışık geçirgenliği doğal ortamların üzerine örtü şeklinde kullanılarak biyosfer ortamı sağlayabilmektedir. ETFE, kullanım tarihi bakımından ilk örnek teşkil eden Mangrov Hall Burgers Hayvanat Bahçesinde, bitkiler için verimli sonuçlar doğurmuştur. Bitki büyümesi için yüksek seviyelerde görünür ışık ve ultraviyole UV-A ışığı gereklidir. Bu, ışık iletimi bakterisit etkisi olarak adlandırılan, bakterileri öldüren doğal bir fenomene yol açmaktadır. Bu nedenle bakteriyel hastalıklardan korunmak için oldukça faydalıdır.

ETFE ve şeffaf nitelikleri, kapalı bir binada mantarları öldürmesine izin vermektedir. ETFE, UV ışığı dâhil olmak üzere görünür ışığın tüm dalga boylarının iletilmesine izin vermektedir. Cam veya akrilik cam gibi diğer malzemelerin çoğu bir kalkan görevi görür ve UV ışınlarını engellemektedir. ETFE folyo dışarıyı içeri alma özelliğine sahiptir (Url-43). ETFE'nin önemli özelliği olan ışık spektrumundaki yüksek geçirgenliği, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, 150 nm ile 750 nm gibi geniş aralıkta yüksek düzeyde UV geçirgenliği sunmaktadır. ETFE folyolar UV-A, UV-B'nin iletimini sağlayabilmektedir. Bu geçirgenlik sayesinde bitkilerin doğal ortamda oldukları gibi geliştikleri anlamına gelmektedir. ETFE'nin bu özelliği seralar ve hayvanat bahçeleri ile geniş spektrumda yüksek ışığa ihtiyaç duyulan avlularda tercih sebebi oluşturmaktadır. “Yüksek gün ışığı geçirgenliği (%95) nedeniyle, ETFE'nin başlangıçta zoolojik bahçeler, botanik bahçeleri, yüzme havuzları ve sergi alanları gibi projelerde kullanıldığı görülmüştür.” (Srisuwan, 2016). ETFE'nin cama kıyasla yüksek ışık geçirgenliği bitkilerin daha verimli mahsül vermelerine olanaklar oluşturarak, kullanıcıya uzun vadede verebileceği ekstra kazançlar sağlayabilmektedir. UV-A bitkilere sağladığı faydaların yanı sıra insanlar ve

hayvanlar için de faydalıdır. UV-A, insan cildi için güneş ve diğer biyolojik süreçleri elde eder. Bu da bitkilerin doğal ortamda oldukları gibi geliştikleri anlamına gelmektedir. Üç katmanlı yastık yapısı için (üst katman 200 µm, orta katman 100 µm, iç katman 200 µm), dikey geliş için ışık geçirgenlik derecesi $\tau = 0,7$ 'dir. Bu değer insan, hayvan ve bitkilerin yaşamı için önemli olan yarı saydamlığı verir (Candemir, 2003). ETFE folyoları, görünür ışığın her dalga boyunda camdan daha şeffaftır ve ultraviyole ışık spektrumlarında önemli ölçüde daha yüksek bir şeffaflığa sahiptir. Bitkiler tüm ışık spektrumlarını fotosentez için kullandıklarından bu, atriyum ve özellikle seralar için çekicidir (LeCuyer, 2008).



Resim 3.7: Zoom Macera Dünyası – Tropik Cennet, Almanya (Url-44).

3.11. BAKIM

ETFE, kimyasal olarak PTFE'nin diğer adıyla yapışmaz özellikli Teflonun türevi olarak keşfedilmiştir. ETFE'nin yapışmaz özelliklerinden ötürü bir ETFE ile kaplanmış bir örtü sisteminin bakımı, bir cam çatının bakımından maliyet, enerji ve zaman bakımından daha verimli olduğu görülmüştür. ETFE, düzenli temizlik hizmetlerine olan ihtiyacı en aza indiren kendi kendini temizleme özelliği olan pürüzsüz bir malzemedir. Kardan veya yağmur suyundan kaynaklanan toz veya mineral birikintileri ETFE'ye yapışmamaktadır. Pürüzsüzlük, ETFE folyo yüzeyinde tutulan kir miktarını azaltır ve yağmurun kuş pisliği ve kirlerinin çoğunu yıkamasına izin verir.

Opsiyona göre alüminyum profil üzerine kuş kovucu teller monte edilebilmektedir (Url-45)(Resim 3.8). ETFE folyo yastıkların 2-3 yılda bir dıştan temizlenmesi tavsiye edilmektedir. Folyo yastığın iç yüzeyinin temizliği her 5-10 yılda bir yapılabilir, ancak zorunluluk olmadığı için nadiren yapılmaktadır (Url-46).



Resim 3.8: ETFE yastık birleşim profili üzerindeki kuş kovucu tel örneği (Url-47).

ETFE'den yapılan şişirilebilir yastıkların kendi kendini temizleme avantajı bakım maliyetlerinde oldukça tasarruf sağlamaktadır. Kir tutmaması sayesinde ışık geçirgenliği yüksek performansta tutularak cama kıyasla alınabilecek ışık verimliliği maksimize edilebilmektedir.

ETFE dış etkenlere karşı oldukça dayanıklılık gösterse de kuşlar tarafından veya bıçak gibi sivri cisimlerle bilinçli darbelerle delinebilmektedir. Kimyasal özelliklerinden dolayı yırtıklar veya delikler ETFE folyolar boyunca kolayca yayılma ve uzama görülmemektedir. Kısa yırtılmalar için, bir ETFE bant yaması, çatlaklar meydana geldiğinde tüm folyoyu değiştirme ihtiyacını önleyerek yerinde ısıyla kaynaklanabilmektedir. Tam panel değişimi durumunda, ETFE'nin hafifliği sayesinde iskele veya kaldırma ekipmanına ihtiyaç duymadan kolayca değiştirilebilmektedir. Çatının bakımı sırasında ETFE yastıklar yaya trafiğinin ağırlığını kolayca kaldırabilmektedir.

ETFE yastıkların basınç kontrolü ve makine kullanımı, bakım konusunda endişe oluştursa da, içten yaylı ETFE yastık modellemelerinin geliştirilmesiyle basınç kontrolü ve ayarlamalarının azalmasına dolayısıyla bakım zaman aralıklarının uzamasına neden oluşturmaktadır.

“Bakımın en önemli kısmı folyonun kendisi değil, yastıklar arasındaki bağlantılardır. Bağlantılardaki gerilme konsantrasyonlarının kontrol edilmesi, yapının uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.”(Robinson, 2005)

3.12. ENERJİ VE GERİ DÖNÜŞÜMÜ

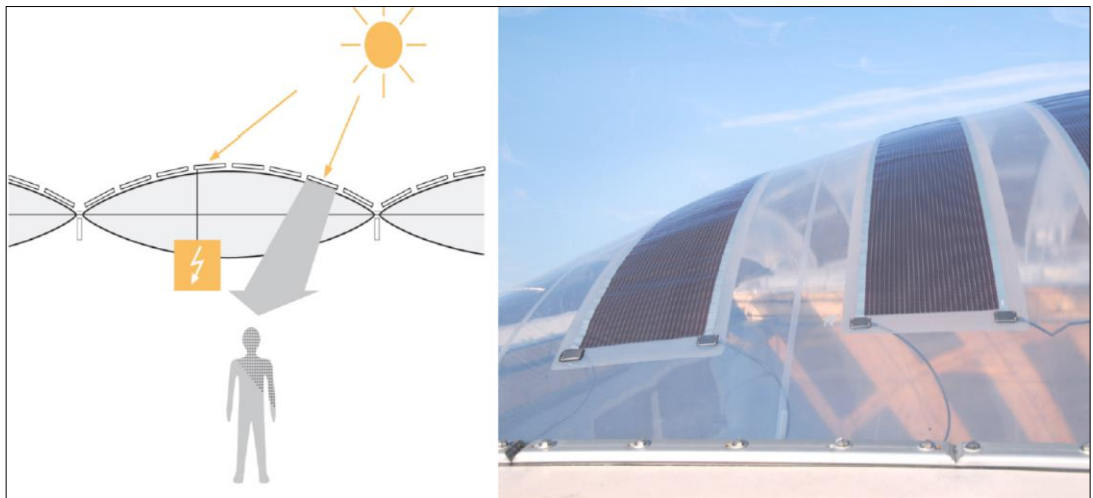
ETFE ile ilgili çalışmaların çoğu geçmişte bina sisteminin yapısal verimliliğine odaklanmış olsa da, son zamanlarda mevcut araştırmaya olan ilgi giderek ETFE sistemlerin enerji performansına doğru kaymaktadır. ETFE malzemesinin çevresel performansı, kimyasal ve mekanik özelliklerinin iyi tanımlanması ve tasarımcının bu özellikleri ne kadar verimli kullandığıyla alakalıdır. ETFE'nin hafif, ışık geçirgenliği yüksek, ısı ve ışık kontrolü sağlanabilir çözümler sunabilmesi, pürüzsüz yüzey olduğundan dolayı kir tutmaması, esnekliği sayesinde farklı modüllerle bir arada kullanılabilirliği gibi birçok avantajlı özellikleri barındırması, enerji tasarrufunda ve sürdürülebilir mimari alanında önemli konum teşkil etmektedir.

ETFE yastık sistemlerle oluşturulan yapının ETFE folyoların hafif olması ve geniş açıklıkları geçmesi nedeniyle yapının taşıyıcı strüktürlerindeki elemanların az kullanılmasına ve yapı maliyetini düşürmesini sağlamaktadır. Işık geçirgenliğinin yüksek ve esnek olması sayesinde fotovoltaik (PV) modüllerle birlikte kullanılabilir (Şekil 3.17). PV ile birlikte kullanılabilen ETFE yastık sistemleri, kompleks yapılar için gece aydınlatmalarında ve yapı ışıklandırmasındaki harcanabilecek enerji maliyetlerinde tasarruf sağlayabilmektedir. ETFE malzemesinin teknolojiyle uyumuyla birlikte gelen hem estetiğin sağlanması hem de verimliliğin yüksek olması avantajları birçok yapıda ETFE kullanılmasının başlıca nedenlerini oluşturmaktadır. ETFE yastıkların iç katmanlarındaki baskılı folyoların hava basınçlarıyla kontrolü, iç mekâna giren gün ışığının ve UV ışınlarının miktarlarında oynamalar yapılabilir. Bu da iç hava kontrolüne dolayısıyla

ısıtma, soğutma ve iklimlendirme gibi eylemler için gerekli enerjilerin tasarrufuna katkı sağlayabilmektedir. Öyle ki ETFE yastık sistemleri gün ışığının gelme açısıyla yahut miktarının fazla olması durumunda otonom olarak sensörler aracılığıyla iç baskılı folyoların hava kontrolü sağlanabilmesi araştırılmaktadır. (Flor, Wu, Beccarelli & Chilton, 2017).

Yastıkların tahmini yaşam süresi 50-100 yıldan fazladır. Ömrünün sonunda, ETFE filmi orijinal üretim sürecinde %100 geri dönüştürülebilmektedir. Yırtık, eski veya şekilsiz bir yastık yapıdan kolayca çıkarılır, temizlenir, işlenmemiş ETFE granülleri ile birlikte erime sıcaklığına kadar ısıtılır ve daha fazla ETFE filmi oluşturmak için tekrar ekstrüde edilir. Bazı ETFE üreticileri tüm yastıklarını geri dönüştürülmüş malzemedan üretmekte ve diğer üreticilerin atık ürünlerini kullanarak kendi atıklarından fazlasını kullanmaktadır.

Bir binayı ETFE yastıklarla kaplamak için gereken malzeme miktarı son derece düşüktür. Tipik bir folyo çatı metrekare başına 450 gram ağırlığındadır. Desteklemek için gerekli olan önemli ölçüde daha büyük destek sistemini hesaba katmayan bir cam tavan, metrekare başına 50.000 gramdan fazla ağırlığa sahiptir. ETFE minderli çatı sistemi, tüm şeffaf çatı alternatiflerinden 25-100 kat daha hafiftir ve metrekare başına 50-200 kat daha az gömülü enerji kullanmaktadır. (Robinson, 2005) Çok hafif olan Folyo kaplamanın somutlaşan enerjisi, camlı bir yapının yaklaşık 1/100'ü kadardır. (Barnes, M., Dickson, M., Happold, E., 2000).



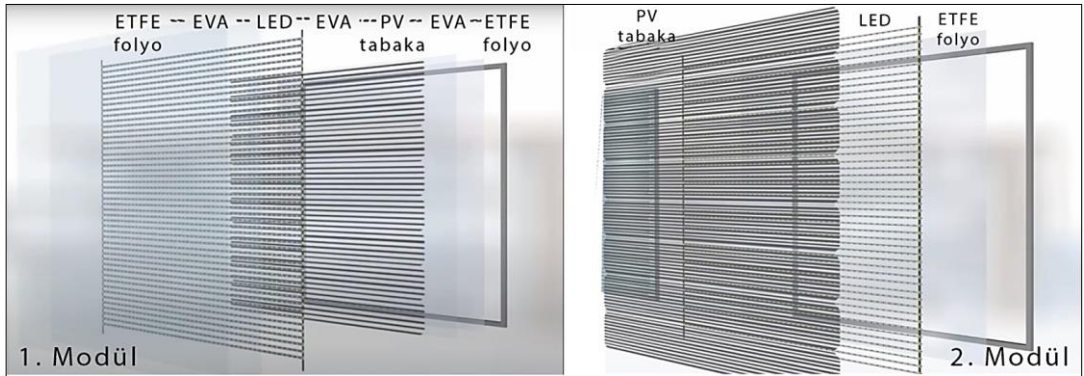
Şekil 3.17: Esnek PV modüllerin ETFE yastıklarla birlikte kullanımı (Cremers, M. J., Lausch, F. (2009).

3.13. DEKORASYON KULLANIMI

Cephe aydınlatması, geçtiğimiz on yıllar içinde hızlı bir büyüme ile dış mekân görsel mesajları için tercih edilen bir araç haline gelmektedir. Ancak bu tür bir kullanım çok enerji kullanımına sebep oluşturabilmektedir. İhtiyaç duyulan enerji kullanım noktasında üretilebilirliğinin sağlanması ve bina cephe aydınlatmasının sürdürülebilir kullanımını desteklemenin yeni bir yolunu keşfetmek için, LED şeritleri ve fotovoltaik folyoyu tek bir modülde birleşim çalışmaları yapılmaktadır. Bu şekilde enerji aynı modül içinde üretilebilir ve kullanılabilir.

ETFE folyo yastıklarının değerini büyük ölçüde artıranbu özellik, yastıklar üzerindeki yazılı mesajları iletebilen veya binanın görünümünü iyileştirebilen LED'lerin ve bu modüllerin dâhil edilebilmesidir. Birçok bina yapının çekiciliğini artırmak için bu tür ışıkları kullanmaktadır.

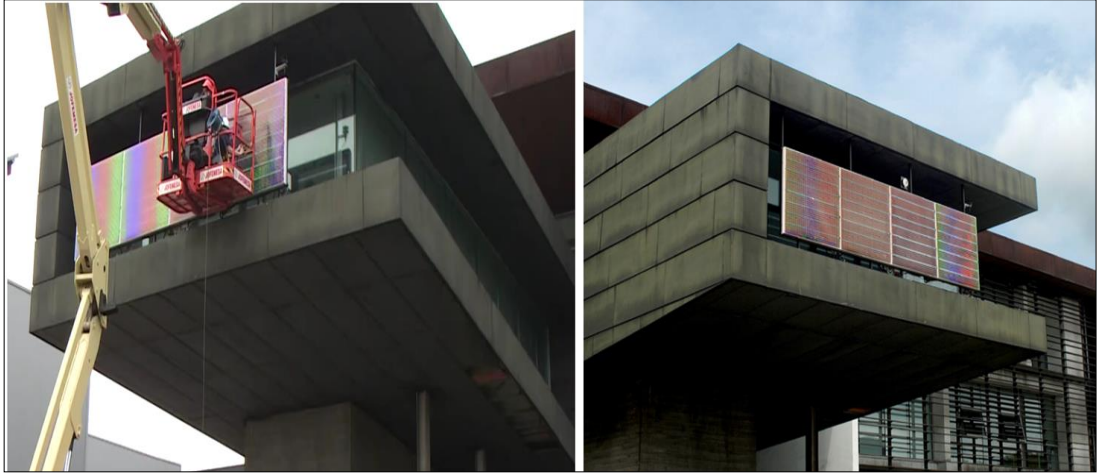
Avilés Spain'deki bir bina deney amaçlı prototip olarak seçilmiştir (ETFE Multifunctional Modules, 2021). Bina cephesine iki tür modül takılmıştır. İlk versiyon, önde ve arkada bir ETFE folyo katmanından oluşmaktadır. Ardından bir fotovoltaik folyo tabakası ve bir ışık yayan diyot tabakası kısa LED şeritleri gelmektedir. Bu durum LED'lerin PV üzerinde kalmasını sağlamaktadır. Her parçanın arasında, tüm farklı katmanları bir arada tutan EVA veya etilen vinil asetat adı verilen özel bir malzeme bulunmaktadır. (Diğer modülde ETFE folyo ve EVA aynı kalır, ancak fotovoltaik katman ve LED'ler, PV'nin öne çıkması için değiştirilmektedir. Önce ışıklar gelecek, üzerine güneş pilleri yerleştirilmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Prototip modüllerin katmanlar arasındaki fark (Url-48).

Katmanlar, LED'lerin görünürlüğünü kaybetmeden, PV üzerine gelebilecek ışık miktarını en üst düzey olmasına göre yerleştirilmektedir. Hem aydınlatma hem de enerji üretiminde hangisinin en iyi performansa sahip olduğunu görmek için test amacıyla binaya her modül tipinden iki adet monte edilmiştir (Resim 3.9).

PV folyo gün boyunca güneş ışığını emererek ve enerji üretimi sağlamaktadır. Bu enerji şebekeye satılabilir veya pillerde saklanabilmektedir. Gece boyunca LED'ler yanarak, video veya pazarlama mesajları gibi farklı medya türlerini taşımak için kullanılabilir. ETFE çok işlevli LED'li modüller, gelecekteki ticari mimari için büyük bir potansiyele sahiptir. Estetiği ve verimliliği birleştirmenin çözümü özel olarak geliştirilmiş teknolojilerde yatmaktadır. Örneğin, bu organik fotovoltaik folyo geleneksel PV kadar verimli olmasa da ETFE ile birlikte daha yüksek şeffaflık ve esneklik gibi diğer avantajlı niteliklere sahiptir.



Resim 3.9: Seçilen prototip binaya İki farklı modülün monte edilmesi (Url-48).

Modülün enerji üretimini optimize etmek için malzemelerin kullanım çeşitlilikleri denenmesi gerekmektedir. Modüllerin enerji üretimi ve tüketimi, görsel performans ile enerji üretimi arasındaki doğru dengeyi bulmaya yardımcı olmak için dikkatlice ölçülerek analiz edilmiştir. İki modül konfigürasyonu, biri daha fazla enerji üretirken diğeri ekran olarak daha iyi davranış göstermiştir. ETFE çok işlevli modüller, düz cepheleri ekranlara dönüştüren anıtsal mimari için kullanılabilir.

3.14. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ

ETFE malzemesinin diğer polimer bazlı malzemelere göre yüksek ışık geçirgenliği, asma germe yapı sistemlerinin genelindeki gölge amaçlı kullanım fonksiyonunun aksine bir kullanım şekli oluşturmaktadır. ETFE (etilen tetrafloroetilen), etilen ve tetrafloroetilenin termoplastik sınıfta kopolimer davranmaktadır. Kimyasal yapısına göre hem yarı kristalin hem amorf yapı sergilemesi esneklik ve dayanıklılık konusunda avantaj sağlamaktadır. Geleneksel çözü ve atkılardan meydana gelmemektedir. Dolayısıyla kumaş türüne ve tanımına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Sünekliliğinin vermiş olduğu esneklik sadece kimyasal olarak değil kullanım alanlarında da söz konusudur. ETFE, sünekliliği sayesinde mimari yapılarda, yalıtım kablolarında, uzay ve hava araç ekipmanlarında ve daha birçok alanda kullanım fırsatı bulabilmektedir. ETFE sünekliliğinin yüksek olması yapı tasarımcıların çalışmalarında özgürlük sağlayabilmektedir. Esnek ve organik tasarım çizgilerinin pratikte uygulanabilirliğinin sağlanabilmesi sonucu yapılardaki mühendislik sınırlarına ve tekrarlanan "kitsch" yapılara tepki fırsatı sunmaktadır.

Sünekliliğinden kaynaklı yırtılmaya karşı direnci, hava ile şişirilerek pnömatik sistemlerce uygulanabilirliğine neden oluşturmaktadır. ETFE'nin mimariyle tanışması bu sistemlerin geliştirilmesiyle hızlandırılmıştır. ETFE, genellikle mimari yapılarda hücre vücut ilişkisine benzer şekilde tasarlanmaktadır. ETFE yastık hücreleri birbirlerine karkas iskelet sistemlerce bağlanarak tekil ayaklı veya bina destekli farklı bir yapıya ek olarak oluşturabilmektedir. ETFE yastıklar hava üfleme makinaları yardımıyla ve havalandırma boruları aracılığıyla şişirilip basınç kontrolü yapılabilmektedir. Basınç merkez kontrol sistemi ile dış hava koşullarının ETFE yastıklara etkisi gözlenebilmektedir.

ETFE yastık boyutları genel yapı tasarımına göre değişiklik göstermektedir. ETFE'nin hem kimyasal özellikleri bakımından hem de IPS olarak hava ile şişirildiğinden oldukça hafif yapı malzemesi olarak nitelendirilmektedir. Geniş hacim ve açıklıkları düşük ağırlıklarla kaplayabilmesi mimarlık ve mühendislik çalışmalarında önemli fırsatlar ve çözümler sunabilmektedir. Asma germe yapı sistemlerinde kullanılan kumaş türlerindeki uzun yıllar gerilim kuvvetlerine maruz

kalmanın sonucunda görülen gerginlik kayıpları, ETFE'nin esnekliği, hafifliği ve IPS olarak hava kontrolüyle kullanılabilirliği, sayesinde azaltılabilmektedir. ETFE yastıklardaki süneklik devamlılığını kontrol üfleme makinalarına bağımlılığıyla sağlanması, sürdürülebilirlik kistaslarına ters düşebilmektedir. Yeni geliştirilen sistemlerce sürdürülebilir esneklik ve gerginliğin sağlanması için ETFE yastıkların içerisine kablolu sıkıştırılmış yay mekanizmaları eklenerek olası iklim koşulları ve basınç değişimlerinin sonucunda yastık yüzeyindeki büzüşmeler önlenmektedir. ETFE yastık sistemlere sıkıştırılmış yay sistemi dâhil edilerek üfleme makinaları için gerekli bakım ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu yeni gelişmeler, pnömatrik yapılardaki iç basıncın sabit kalması ve ön gerilim devamlılığının sağlanmasına, tek çözüm olarak bakılan hava kanallarının kontrolüne, alternatif oluşturabilmektedir.

ETFE malzemesinin çatı veya cephe kaplamalarında kullanılmasındaki avantajlarından biri de yangın durumunda gösterdiği davranıştır. Alev yürütmez özelliğiyle yangının büyümesine direnç göstererek ve hızlı müdahale etme şansı doğurabilmektedir. Yangın esnasında alev damlası ve parçalar bırakmadan büzüşme davranışı sergileyerek içeride oluşabilecek zehirli gaz ve dumanların tahliyesine yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla sıcaklık aşırı yükselmeden yapı tahribi engellenebilmektedir. ETFE'nin bu tür hasar ve kazalara karşı ETFE folyoların yeniden kullanımı söz konusu olabilmektedir. ETFE'nin geri dönüşümü yüksek malzeme olması mimari sürdürülebilirlik kavramlarında kendinden söz ettirmektedir. Yüzeyinin pürüzsüzlüğü sayesinde leke tutmaz davranış göstermesi, temizlik için harcanabilecek tüm enerji ve maliyetlerde tasarrufa yol açmaktadır. Hafifliği ve sünekliği sayesinde geniş alan kaplaması yapı için gerekli strüktür elemanlarının daha az kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ek olarak hafif olması montaj, nakliyesini kolaylaştırır ve daha düşük karbon ayak izi salınımına neden olmaktadır.

ETFE'nin mimarideki en dikkat çeken özelliklerinden birisi de yüksek ışık geçirgenliği ve yalıtım performansıdır. Mimari yapı tasarımlarında hem sağlık hem konfor açısından, doğal aydınlatma olarak gün ışığı hacminin yeteri kadar içeriye alınması oldukça önemlidir. Ancak bu ısı ve ışık kaynağının yapı içerisine difüzyonunun sağlanması bazı istenmeyen yağmur, kar gibi çevre koşullarını da yanında getirebilmektedir. Yapıların temel kullanım amacı olan sağlıklı barınmanın

sağlanması için öncelikle yapı içerisindeki kullanıcının konforu göz ardı edilmemelidir. Hem yapı içerisindeki konfor ikliminin sağlanması hem de doğal aydınlatmanın kazanımı için geleneksel çözüm olarak cam kullanılmaktadır. ETFE'nin cama kıyasla yüksek ışık geçirgenliği, düşük ağırlık ve U değerleri performansı, enerji korunumunun giderek önemini artan günümüzde önemli bir konumda bulunmaktadır. ETFE yastık sistemlerde puantiyeli folyoların kullanılması ve katmanlarındaki hava basıncı değişiklikleriyle yerlerinin değiştirilebilmesi ısı ve ışık geçirgenliğini ayarlamaları yapılabilmektedir. ETFE'nin akustik performansı diğer özelliklerine göre çok rağbet görmemektedir. Ancak gerekli akustik yalıtımlar yapılarak bu durum çözülebilmektedir.

Enerjinin korunumunun maksimize edilmesi için ETFE yastıklardaki katmanlardaki değişiklikler otonom sistemler ve ışık duyarlı sensörlerle kontrol edilebilmektedir. Işık ve enerji söz konusu olduğunda ETFE'nin PV modülleriyle birlikte kullanımı kaçınılmaz bir hal almaktadır. Bu sayede yapı için gerekli enerji kullanımına katkı gösterebilmektedir. ETFE'nin diğer teknolojik sistemlerle uyumunun yüksek olması, mimari dekorasyon ve LED aydınlatmada düşük bütçeli estetik açıdan avantajlar sağlayabilmektedir. Işık geçirgenliğinin yüksek olması doğal ortam fırsatları sunabilmektedir. ETFE'nin, bitkilerin gelişimi için gerekli UV ve geniş ışık spektrum geçişini yüksek ölçüde sağlayabilmesi seracılık ve biyosfer çalışmalarında tercih sebebidir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. ETFE SİSTEMLERİNİN KULLANIMI VE MİMARİ İLE İLİŞKİSİ

ETFE'nin mimari yapılarda kullanımından önce polimer bazlı PVC, PTFE gibi malzemeler, asma germe mimari yapılarda hâlihazırda kullanılıyordu. ETFE malzemesinin yüksek ışık geçirgenliğine sahip olması ve hafif olmasının yanısıra yüksek mukavemet sergilemesi mimari yapılar için kullanımında verimliliğinin yüksek olabileceği öngörülmüştür. ETFE, kimyasal özellikleri bakımından, hava ve uzay araçlarının maruz kalabileceği zor şartlara birer çözüm oluşturabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu bakımdan ETFE'nin normal şartlarda gösterebileceği

dayanıklılık ve yüksek ışık geçirgenliği, mimari yapılarda tasarımcılar için birer fırsat oluşturmaktadır. Mimari yapılardaki şeffaf açıklıklar için kullanılan geleneksel cam malzemesi tekelliğini bitirebilecek alternatif bir malzeme olarak ETFE önerilmektedir. Mimarlık tarihinde yüzyıllarca süregelen geleneksel cam malzemesi kullanımıyla oluşan kültür, ETFE'nin mimari camiada kabul edilmesi için önemli bir engel oluşturmaktadır. ETFE, camın diğer malzemelerle kurulan ilişkisine ve mimarlık tarihi boyunca bu ilişkiler üzerine kurulu olan sistemlere, markalara ve çözümlere yeni bir boyut kazandırmaktadır. ETFE'nin yüksek ışık geçirgenliği ve şeffaflığı sayesinde, ışıklandırma ve görselleştirme çalışmaları bakımından estetik anlamda önemli bir fırsat olarak görülmektedir. Şeffaflık ETFE için tek tercih kaynağı olarak görülmemektedir. Hafifliği ve yüksek mukavemeti sayesinde sadece hâlihazırda var olan bir yapıya ek olarak bina destekli kullanılmasının yanı sıra kendi başına da tekil bir ayaklı yapıyı oluşturabilmektedir (Resim 4.1).



Resim 4.1: Atlanta'daki ATLNext Merkez Yolcu Terminali Kompleksi ile Almanya'daki Aachen – DWI yapısında ETFE alanlar kırmızıyla gösterilmektedir. (Url-52, Url-53)

ETFE yastık şeklinde kompleks yapılarda çok daha verimli çalışmaktadır. ETFE malzemesinin camın özgül ağırlığından daha düşük bir ağırlığa sahip olması yapıya gelebilecek ekstra yük fazlalığından kurtarmaktadır. Sünme kabiliyetinin yüksek olması ve hafifliği sayesinde az taşıyıcı gereçle geniş açıklıklar kolaylıkla geçilebilmektedir. Kompleks yapılar için bu durum önemli avantajlar sağlamaktadır. ETFE folyo için farklı yapı sistemleri mevcuttur. ETFE, en yaygın olarak basınçlı çok katmanlı yastık sistemlerde ve daha az görülen mekanik olarak ön gerilimli sistemlerde kullanılmaktadır. ETFE, genellikle ofis ve konut, yüzme havuzları, sergi

alanları, pavilyon, stadyum, amfi, tiyatro ve konser alanlarında, kalabalığa hizmet eden yapı türleri için kullanılması tercih edilmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: ETFE'nin mimari yapılardaki farklı kullanım şekilleri ve alanları (Lamnatou, C.; Moreno B, À.; Chemisana V, D.; Reitsma, F.; Clarià S, F., 2017).

Yapı ismi	Yer	ETFE türü	Kullanım alanı	Yapı hakkında bilgi
Atocha İstasyonu Anıtı	Madrid, İspanya	ETFE ile birlikte cam kubbe	Anıt	Anıt, ilgili 2 bölümden oluşmaktadır: cam kubbe ve altındaki oda
Milenyum Kubbesi	Valladolid, İspanya	Aydınlatma ile birlikte ETFE	Çok amaçlı aktivite merkezi	ETFE, farklı aydınlatma türleri ile birleştirilebilir
Vitam Park Eğlence Merkezi	Neydens, Fransa	Ahşap bir yapı ile birlikte ETFE	Spor, Ticari	Aquapark dalga şeklindeki bir çatıya sahiptir.
L'heure tranquille	Tours, Fransa	Şişirilmiş ETFE yastıklar	Ticaret Merkezi	Yapı kemer formunda ETFE çatıdan meydana gelmektedir.
Oceane Stadyumu	Le Havre, Fransa	Mavi renginin 4 farklı tonunda ETFE folyo	Stadyum	Tek tip ve kompleks bir bütün oluşturan stadyum.
Paloma Nîmes	Nimes, Fransa	ETFE yastıklardan oluşan cephe	Müzik Kompleksi	Kuzey cephesi ETFE yastıkla tepegöze benzerdir.
Lyon Confluence	Lyon, Fransa	Çift katmanlı ETFE yastık	Alışveriş ve Eğlence merkezi	Işıklı, eşkenar dörtgen formlarında ETFE yastıklardan çatı örtü şeklindedir.
Chelsea ve Westminster Hastanesi	Londra, İngiltere	Şişirilmiş ETFE yastıklar	Hastane	ETFE çatısı dış temizliği gerektirmez (yağmur sayesinde), bakım maliyetlerinde tasarruf sağlanmaktadır; ETFE çatı sistemi, bir hastane için önemli olan etkili havalandırma ve sıcaklık kontrolü

Yapı ismi	Yer	ETFE türü	Kullanım alanı	Yapı hakkında bilgi
King's Cross Tren İstasyonu	Londra, İngiltere	Polikarbonat	Tren istasyonu	Cam ve yarı saydam ürünlerin akıllı kullanımı, çağdaş bir demiryolu mimarisi sunmaktadır.
Kingsdale Okulu	Londra, İngiltere	Dinamik değişken baskılı FEP boyalı ETFE folyolu yastık	Okul	Çeşitli tasarım müdahalelerine dayanan ilham verici bir karışık alan sunulmaktadır.
Olimpiyat Yüzme Havuzu, Münih	Münih, Almanya	ETFE folyodan yapılmış pnömatik bir tüp	Yüzme havuzu	Asma tavan yenilenmesinde ETFE Esnek bir cephe bağlantısı olarak kullanılmıştır.
Festo Genel Merkezi	Esslingen, Almanya	ETFE Şişirilmiş Paneller, Texlon ETFE Gölgeleme Sistemi	Ofis	Tasarım, merkezi bir omurga vasıtasıyla bağlı altı şeritten meydana gelmektedir. Bu boşlukların üçü, ETFE değişken gölgeleme sistemi kaplıdır.
Allianz Arena	Münih, Almanya	ETFE Aydınlatma ile birlikte	Futbol Standiyumu	ETFE farklı tiplerle birleştirilebilir. Gece aydınlatmasında estetik şölen sergilemektedir.
AWM Carport	Münih, Almanya	PV modüllerle kombine edilmiş ETFE	Araç Servisi	ETFE'nin PV'li kombinasyonu BIPV kullanımını artırabilir
Masoala Yağmur Ormanı Hayvanat Bahçesi	Zürih, İsviçre	4 katmanlı ETFE yastık	Hayvanat Bahçesi, Tropikal Ev	Boyutu 14600 m ²

Yapı ismi	Yer	ETFE türü	Kullanım alanı	Yapı hakkında bilgi
Dolce Vita Tejo Alışveriş Merkezi	Amadora, Portekiz	Çok katmanlı Etfe Yastık Çatı	Alışveriş merkezi	Yenilikçi bina kabuğu
Arena Çok Alanlı Ticaret Merkezi	Valencia, İspanya	Çift katmanlı ETFE yastık	Ticaret Merkezi	Yastıklar arasında basılı ve şeffaf konfigürasyonlar bulunur
Islazul Ticaret Merkezi	Madrid, İspanya	Çift katmanlı ETFE yastık	Ticaret Merkezi	Yastıklar arasında basılı ve şeffaf konfigürasyonlar bulunur
San Mamés Stadyumu	Bilbao, İspanya	Tek katmanlı ETFE membran	Stadyum	Etfe membran beyaz renktedir; Cephe 2700'den fazla membrandan oluşur.
Kentsel Uzay İstasyonu, Modern Sanat Müzesi Reina Sofia	Madrid, İspanya	Şeffaf ETFE film	Kentsel Uzay İstasyonu, Müze	ETFE folyolar, yeni uygulamalar dâhil olmak üzere her türlü projeye uyarlanabilir.
Restaurant Les'te Pavyon	Olon, İspanya	Çift katmanlı ETFE yastık	Restoranda Pavyon	Etfe katmanı basılı ve şeffaftır; ETFE örtü üstündeki gölgeler, ışık ve ağaçların birleşimi sayesinde özel bir atmosfere sahip bir alandır.
Otel Villa de Laguardia	Laguardia, İspanya	3 - katmanlı ETFE yastık	Otel	Etfe katmanları basılı ve şeffaftır; ETFE, ışık ve güneş ışınımının girişini zayıflatan yarı dairesel bir örtü için kullanılır.
Ticaret Merkezi Vallsur	Valladolid, İspanya	3 - katmanlı ETFE yastık	Ticaret Merkezi	Güneş kontrol sistemi, ara katmanı yukarı veya aşağı hareket ettirir, bu şekilde ışığın geçişini ve binanın içindeki güneş ışınımını değiştirir.

Yapı ismi	Yer	ETFE türü	Kullanım alanı	Yapı hakkında bilgi
Sant Pere'nin Eski Kilisesi	Corbera d'Ebre, İspanya	Tek katmanlı ETFE film	Kilise	Şeffaf ETFE örtü, binanın tarihi karakteriyle ilgili olarak mükemmel bir bütünleşme sunar ve çok işlevli bir alan sağlar.
LECLERC Ticaret Merkezi	Le Plessis Belleville, France	Bina için üçlü katmanlı ETFE yastıkları ve erişimler için tek katmanlı ETFE film	Ticaret Merkezi	Binaya giriş düzeyinde saydam kubbeler bir tek katmanlı ETFE membranlar sistemi ile inşa edilmiştir; Gün boyunca, doğal ışık iç alanın içine taşır.
Allianz Riviera stadium	Nice, Fransa	Tek katmanlı ETFE; Dış ve iç halka	Stadyum	Ahşap ve çeliğin karmaşık yapısı, şeffaf ETFE cephe kaplamasından dışarıdan görülebilir.
Le Nuage	Montpellier, Fransa	Cepheler ve örtüler için EtfE Yastıkları	Spor Merkezi	Alan: 2200 m ²
Sağlık Bilimleri Fakültesi, Aveiro Üniversitesi	Aveiro, Portekiz	Yapı için çift katmanlı ETFE, yaya köprüsü için tek katmanlı ETFE	Üniversite	Yaya köprüsü: Şeffaf kaplama, açıklıklar yoluyla doğal havalandırma sağlar
Lüksemburg'un Merkez Tren İstasyonu	Lüksemburg	Baskılı ETFE folyolar	Tren istasyonu	ETFE kapakları, bu binanın neo- barok mimarisi ile doğal bir bütünleşme göstermektedir.
Aqualibi Su Parkı	Wavre, Belçika	3 - katmanlı ETFE şeffaf yastık	Su Parkı	ETFE yapılandırması, dış mekan koşullarına yakın koşullar sunar.

ETFE'yle kaplanan örtü sistemleri, kapalı alanlar, sera, atriyum, salon çatıları, kanopiler ve bina cephelerinde görülebilmektedir. Yastık sistemlerin geometrisi, genellikle biyomimesis esintilerini içeren ve minimum uzunlukta

maksimum alan kapladığı için altıgen formu tercih edilmektedir. Bu formlar üçgen, dairesel veya eşkenar dörtgen olarakta görülebilmektedir (Resim 4.2).

Günümüzde sürdürülebilir mimarinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Gelecekte yapıların kendi kendine enerji bakımından yetebilmesi amaçlanmaktadır. Dünyadaki enerji harcamalarında mimari yapıların sorumluluğu açıktır. Mimari yapılarıdaki estetik kavramların enerji verimliliğiyle ters orantıda gelişmesi mimarlık kültürünün yeniliklere gösterdiği direnci yükseltmektedir. Bu tür gelişmelerin lüks olarak görülmesi sorun teşkil etmektedir. Teknolojik atılımların mimari yapılar üzerindeki estetik kavramlara katkısı yüksektir. Teknolojinin ve otonom mekanizmaların elektrik ve enerji maliyetlerinde artışa neden olan tespitlere karşın, teknoloji, kendi sorunlarına çözüm sunma gayretinde olduğu görülmektedir. ETFE bu teknolojik yapıların yeni estetik anlayışlarında ve enerji korunumu sorunlarındaki çözüm odaklı, teknolojik servisler arasında köprü görevi üstlenmektedir.



Resim 4.2: Kuzey Swindon Okulu ETFE kubbe çatı uygulaması (Url-51).

ETFE silinebilirliği, geri dönüştürülebilir olması, ışık geçirgenliği sayesinde yapılarıdaki doğal aydınlatma ihtiyacına katkı sağlaması, ısı yalıtım konusunda düşük U değerlerine sahip olması, yapıları ekonomi ve enerji anlamında bir tasarruf uygulamaktadır. ETFE yastık sistemlerinin projelendirilmesi cam bir kaplamaya kıyasla mekanik ve teknik detay gerektirmektedir. ETFE'nin bu tür özelliklerle kendi

maliyetini çıkarması zamanla gerçekleşeceğinden, ilk uygulama maliyetleri gözardı edilebilmektedir. “Yapışmaz yüzey özelliği ile ETFE çatı ve cephelerin cam yüzeylere göre daha az sıklıkla temizlenmektedir. Bu durum, binanın temizlik ihtiyaçlarını ve su, temizlik malzemelerine ayrılacak bütçeyi azaltmaktadır.”(Sert, 2016) ETFE sistemler mimari yapılarda genellikle iki şekilde görülmektedir. Bunlar tekil kompleks olarak ayaklı yapılar veya yapıya ek olarak bina destekli yapılar olarak sınıflandırılabilir.

4.1. AYAKLI YAPILAR

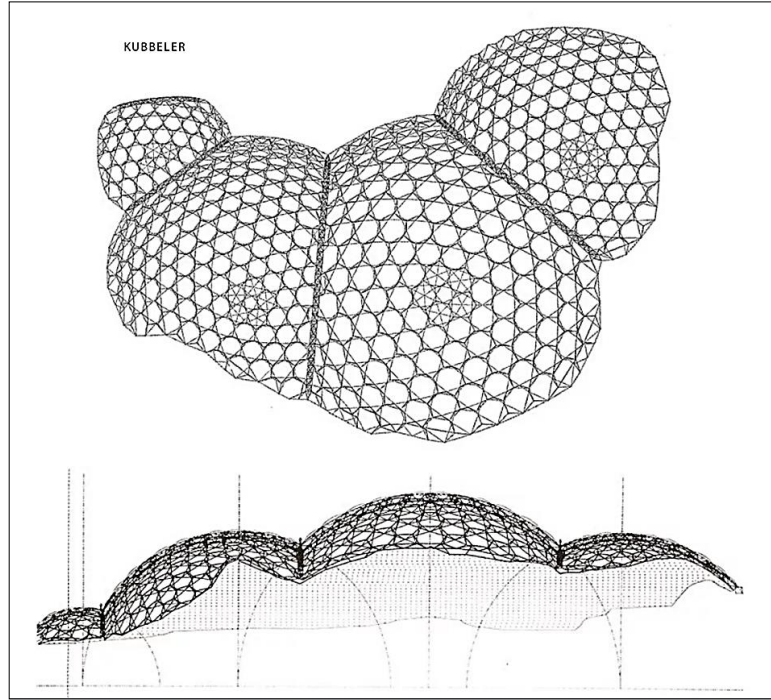
4.1.1. Jeodezik Kubbe – Eden Projesi, İngiltere

İngilterede 19. yy başlarında, mümkün olan en büyük miktarda alanın kaplandığı ve harcanan sermayeyle orantılı olarak ışık ve ısının alındığı bir bina inşası fikri ortaya atılmıştır. Bu dönemlerde cam, zor şartlarda üretilen pahalı ve lüks malzeme olmasından dolayı boyutlarına göre vergilendirilmekteydi. Sonuç olarak, seralar, geniş şeffaf alanlar için büyük cam plakalar yerine birçok küçük cam plakalar kullanılarak inşa edilmiştir. 19 yy. başlarında tasarlanan sera yapılarının birçoğu günümüze ulaşmamıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle 1850’li yıllarda Palm House, Kew ve Kibble Palas, Glasgow gibi biyomimesis türü yapılar kendini göstermeye başlamıştır. Kristal Palas gibi çelik ve camın birleşiminin mimarideki öncülüğüyle bilinen bu yapılar, Eden projesi tasarımcılarına göre ilham niteliği taşımaktadır (Resim 4.3).



Resim 4.3: Londra’daki Palm House ile İskoçya’daki Kibble Palas sera yapıları (Url-49, Url-50).

Eden projesi, mimarlığını Nicholas Grimshaw and Partners'ın yaptığı, mühendisliğini Anthony Hunt Associates Limited'in üstlendiği 2001 yılında İngiltere'de tasarlanmıştır. Tasarım fikirleri içinde insanlığın sürdürülebilir parametreler dâhilinde yaşayabileceği ve gelişebileceği bir dünyayı araştırma yolununun tanımlanması amaçlanmıştır. Proje, küresel biyoçeşitlilik ve bitkilerle, insanlar arasındaki ilişkiyi yansıtmak için bir vitrin görevi üstlenmektedir. Büyük ölçekte bitkilerin doğal bir şekilde tam olgun boylarına kadar büyümelerine izin verecek yüksekliğe ve hacme sahip doğal yaşam alanlarının oluşturulmasına, sergilenmesine ve incelenmesine izin vermektedir. Yapı, iki temel bölüm olan nemli tropik (yağmur ormanı) iklimi, sıcak ılıman (Akdeniz) iklimi oluşturan kapalı alan biyomlarından ve üçüncü bir bölge olarak korunaklı bir dış alandaki ılıman bölgeden meydana gelmektedir. Yapı tasarlanırken, nemli tropiklerdeki ağaçların yüksek olması ve hızlı olgunlaşmasından dolayı bu koşulları sağlayabilecek yapı yüksekliğinin sağlanabilmesi amaçlanmıştır. Proje alanı için kullanım ömrünün sonuna gelmek üzere olan eski bir kil çukuru tercih edilmiştir. Yerdeki bu boşluk, yükseklik gibi tasarım sorunlarına çözüm getirmiştir. Ancak taş ocağı ve kil zemin sürekli değişiklikler göstererek yapı inşaatı aşamasında farklı zorluklar çıkarmıştır.



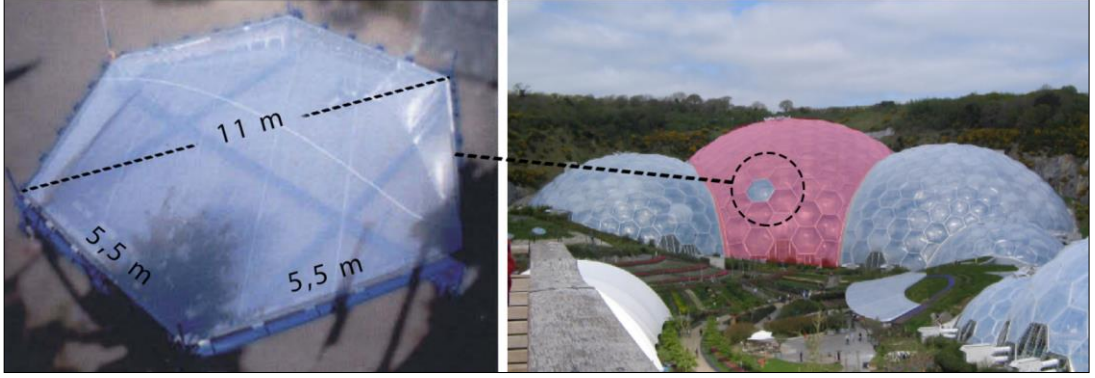
Şekil 4.1: Eden projesine ait çizimler (Url-54).



Resim 4.4: Eden Projesinin genel görünümü (Url-55).

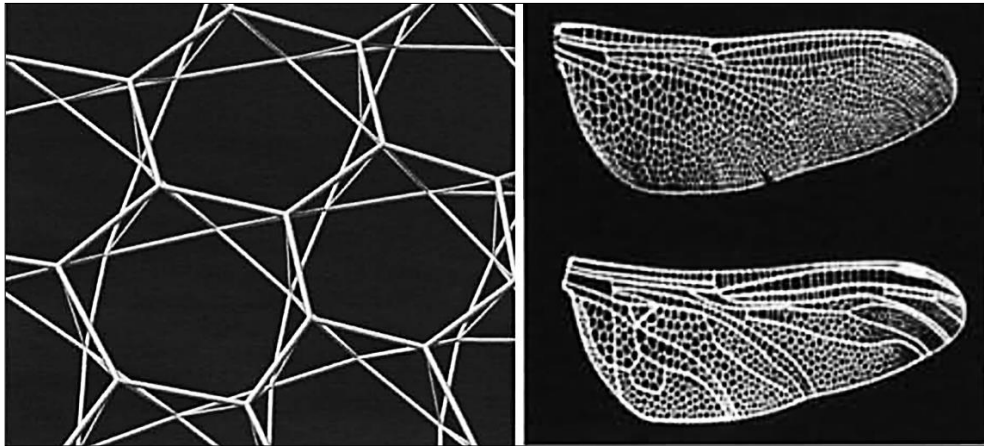
Topoğrafya çalışmalarında biyomlar için potansiyel alanları keşfetmek için bilgisayarda üç boyutlu bir model oluşturulmuştur. Bu modeller hem topografyaya hem de potansiyel güneş yönelimine bakılarak değerlendirilmiştir. Her bir biyom için en uygun konumu bulmak için güneş yolu analizleri kullanılmıştır.

Yapı tasarlanırken biyomimesis etkileri görülmüştür. Bal peteği formundaki altıgen çelik sistem iskelet niteliği taşıyırken bu yapı üzerindeki ETFE yastıklar çok hafif bir deri niteliği taşımaktadır. Biyom formlarının oluşumu birbirine bağlı bir dizi küre olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan model sırayla her biyomun son şeklini tanımlayan kil çukurunun arazi modeliyle kesiştirilmiştir. Ayrıca, folyo yastıkların uzun açıklıklı ultra hafif yapısından en iyi şekilde yararlanabilecek yüzeyler jeodezik kabuk formu oluşturularak sağlanmıştır. Jeodezik kabuk, tek hücreli organizmalar sınıfından Işınılılar örnek alınarak, boru uzunluğunu yüzey alanına en aza indirmek için altıgenlerden oluşturulmuştur. Altıgen karkas çerçevelerin boyutu, kürenin çapıyla belirli bir orandadır. En büyük kubbe yaklaşık on bir metre çapında yastıklara bölünmüştür (Resim 4.5).



Resim 4.5: Eden Projesinin orta kubbe formdaki tekil ETFE yastık boyutları (Barnes, M., Dickson, M., Happold, E., 2000),(Url- 56).

ETFE yastıkları çevreleyen karkas sistemdeki çubuk elemanların eleman boyutlarının önemli ölçüde azaltılabileceği ve daha hafif bir görünüme sahip çok daha ekonomik bir yapıya yol açabileceğinden dolayı altıgen ağın altına üçgen formlarında iç destek tabakası eklenmiştir. İç katman, altıgenleri çevreleyen dış katmanın düğüm noktalarının altındaki üçgenlerden oluşmaktadır. İki katman arasındaki bağlantı, her iki katmanın düğüm noktalarını birbirine bağlayan köşegenlerle kurulmaktadır. Hex-tri-hex olarak tanımlanan bu destek form çalışması yusufçuk kanadından esinlenilmiştir (Şekil 4.2). ETFE hem bahçecilik hem de enerji açısından performansı, camdan çok daha iyi olduğu için bu projede tercih edilmiştir. Geniş ışık spektrumunun ve ultraviyole ışık geçirgenlik kalitesinin yüksek olması ve uzun açıklık geçme özellikleriyle Eden projesindeki bu forma kılıf için en uygun malzeme türü olarak görülmüştür.



Şekil 4.2: Solda hex-tri-hex strüktür formu, sağda yusufçuk kanadı (Barnes, M., Dickson, M., Happold, E., 2000).

Yastıklar iki metre derinliğinde ve üç kat ETFE folyodan oluşmaktadır. İki hava boşluğu, küçük bir bağlantı açıklığı vasıtasıyla iç basınç dengelenebilmektedir. Yapı form olarak organik bir tasarım olmasından dolayı U-değeri hesaplamaları güç olmuştur. Boşluk alanının çoğu, önemli konveksiyon akımlarının kurulması için yeterince büyüktür. Teorik analiz (hesaplamalı akışkanlar dinamiği / sonlu eleman analizi) ve ampirik testin (sıcak kutu deneyi aracılığıyla) bir kombinasyonu, U-değerinin yaklaşık 2,7 W/m²K olarak belirlenmiştir. Bu nedenle malzeme kalınlığı her kat için 200 mikron veya daha az olmasına rağmen ısı olarak çift cama göre daha iyi performans göstermektedir. (Barnes, M., Dickson, M., Happold, E., 2000)



Resim 4.6: Eden Projesi'nin içeriden görünümü (Url-57).

ETFE'nin hafif olması sayesinde nakliyatı ve montajı için gerekli ekipman ve araçların daha az kullanılmasına, dolayısıyla meydana gelebilecek karbon ayak izinin düşük olmasına katkı sağlamaktadır. Karkas taşıyıcı sistem için çelik malzemesi kullanılmıştır. Çift kiriş sistemi sayesinde yapıdaki açıklığın 100 metreleri bulmasına rağmen çelik boru elemanlarının çapı 200 mm'yi geçmemiştir. Altıgen yastık formları olabildiğince en verimli büyüklükte tasarlanılmasına dikkat edilmiştir. Çünkü altıgen formların alanı büyüdükçe, çelik malzeme daha az kullanılmaktadır.

Bu yapıya hafiflik katarak ve çelik malzemelerin ETFE'ye göre nispeten daha kötü yalıtım performans sergilediğini düşünürsek maliyette ve yalıtımda tasarrufa neden oluşturmaktadır. Ayrıca daha büyük altıgen ETFE yastık formlar dışardan içeriye daha fazla ışık hacmi geçişi anlamına gelmektedir. 3 katmanlı ETFE yastıkların dış yüzeyi çift folyodan meydana gelmektedir. 5,5 m kenar uzunluğuna sahip altıgenler için gereken sağlamlık bu şekilde karşılanmaktadır. Eden projesinde 750'den fazla ETFE yastık kullanılmıştır.



Resim 4.7: Eden Projesi'nin çatı üstünden görünüşü (Url-57).



Resim 4.8: Eden Projesi'nin panoramik görünüşü (Url-58).



Resim 4.9: Eden Projesi'ndeki nemli tropik biyomun içerisinde görsel (Url-58).

Eden projesinin:

- Plan Alanı: 15.590 m
- Yüzey Alanı: 20.000 m
- Hacim: 330.110 m³
- Maksimum İç Yükseklik: 43 m
- Maksimum Yapı Yüksekliği: 55 m
- Çelik Ağırlığı 465 Ton
- Çerçeve Ağırlığı / Plan Alanı 30 kg/m
- 100 m çap açıklık
- Çelik işi için 3.800.000,00 £ maliyet gideri tutmuştur. Bu da 8.000,00 £ / ton veya 190,00 £/m yüzey alanına eşittir.
- Foiltec Kaplamaları için £ 4.200.000,00 maliyet gideri tutmuştur. Bu da 210,00 £/m yüzey alanına eşittir. (Barnes, M., Dickson, M., Happold, E., 2000)

4.1.2. Çadırlar – Han Çadırı Eğlence Merkezi, Kazakistan

Çadır mimarlık tarihi bakımından en ilkel barınma formlarından biridir. Günümüz mimarisinde bu formu en teknolojik malzeme ve gereçlerle Mimar Norman Foster'ın mimari tasarımını gerçekleştirdiği, Buro Happold'un strüktürel tasarımını yürüttüğü, Sembol İnşaat'ın uyguladığı ve Vector Foiltec'in ETFE yastık sistemlerini tasarladığı Han Çadır'ı projesi Kazakistan'da yeniden yorumlanmıştır. ETFE malzemesi genellikle yastık modül sistemlerce tasarlandığından diğer PVC ve PTFE gibi malzemelerin daha sık kullanıldığı asma germe sistemlerin form türevlerinde kullanımı sınırlı kalmıştır. Han Çadırı yapısı, ETFE'nin kompleks yapılardaki kullanım başarısını, yüksek yapılardaki davranışıyla sürdürdüğü örneğini taşımaktadır.

Astana oldukça soğuk bir başkent olmasından dolayı dönemin Kazakistan başbakanı Nursultan Nazarbayeve; halkın yaz mevsimini kış aylarında bile hissedebileceği, çocuklar ve yetişkinler için bir sahil olarak 10.000 kişi aynı anda dinlenip eğlenebileceği bir bina yaptırmak istemiştir. (National Geographic, 2011)



Resim 4.10: Astana'da gün batımında Han Çadırı'nın aydınlatması görünümü (Url-59).

Han Çadırı'nın inşaat alanı Astana'da ücra bir yerde bulunması inşaat malzemelerinin orta asyaya ulaşana dek uzun mesafeler boyunca nakledilmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla yapı ağırlığının asgari düzeyde tutmak önem taşımaktadır. Ayrıca yapının bulunduğu iklimsel şartlar kar yükünün yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu durum yapıya yaşam alanı fonksiyonunun sağlanması için kubbe veya başka formların başarısız sonuçlar doğurabileceği anlamı taşımaktadır. İklimsel koşullar Han Çadırı'na gerilmiş çadır formda yapılması fikrini desteklemektedir (Resim 4.11).

Yapı formunun amaçladığı sıcak iklim için gerekli yalıtım değerlerine ulaşılabilmesi için ETFE malzemesi hem hafif ve gerekli kar yükünü kaldırabilecek mukavemete sahip hem de yalıtım bakımından eşsiz bir malzeme özelliği taşımaktadır.



Resim 4.11: Astana kış mevsiminde Han Çadırı'nın görseli (Url-60).

Astana'da inşa edilen Han Çadırı dünyanın en büyük çadırı olarak görülmektedir. İnşasında 188.000 ton beton kullanılmıştır. Ancak şeffaf görüntüsü ve 100.000 m³'lük hacmi bunu kullanıcıya hissettirmemektedir. Ayrıca kullanılan

çelik kabloların, miktarı oldukça fazladır ve yapıdaki suyun tahliye edilmesi için oluk görevi görmektedir.

ETFE'yi taşıyacak olan çelik kabloların, 32-38 mm çapı, 95-140 metre uzunluk aralığında, herbirinin ağırlığı yaklaşık 2,5 tonu bulmaktadır. Radyal kablolar, maksimum yükün %80'ine kadar yüksek ön gerilimlidir. Çelik kablolar çadır direğinin en üst kısmındaki halka içeren sepet şeklinde hareketli çelik destek hub göbekten aşağı gerdirilmektedir. Göbeğin yüksekliği 17 m, çapı 20 m'yi bulmaktadır (Resim 4.12).

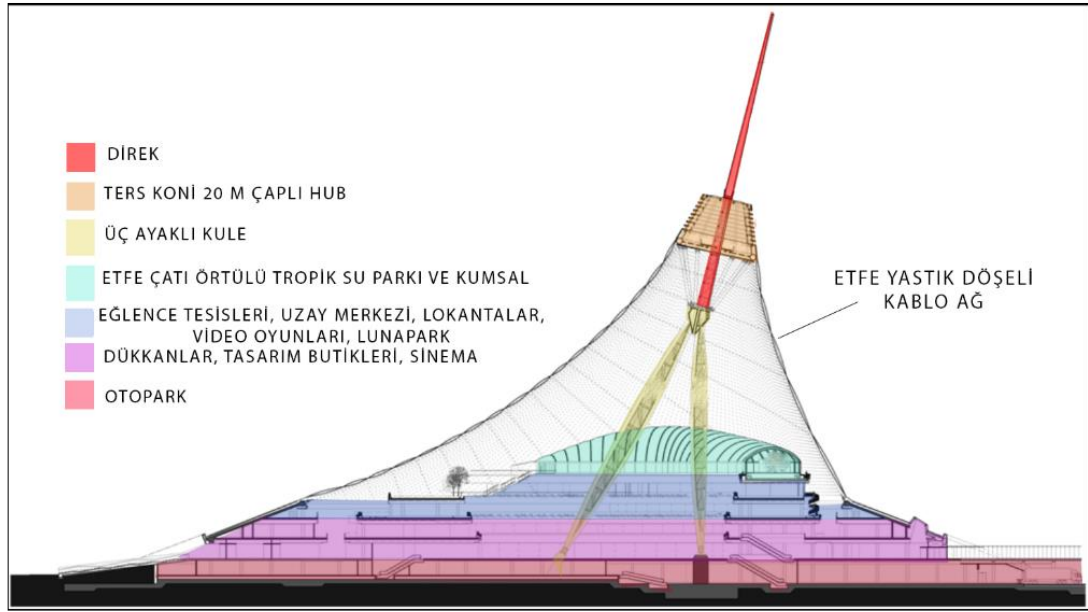


Resim 4.12: Han Çadırı'nın içerden ters koni şeklindeki hub halkanın görseli (Url-61).

Çadırın içinde 6 katlı eğlence kompleksi bulunmaktadır. Dış beton halkanın içinde giriş katında büyük bir otopark bulunmaktadır. Üzerindeki iki katta dükkânlar, tasarım butikleri ve sinema bulunmaktadır. Bu iki katın üzerindeyse eğlence tesisleri bulunmaktadır; uzay merkezi, lokantalar, video oyunları ve lunapark. En üstteyse havuz ve kumsalıyla tropik bir su parkı bulunmaktadır (Şekil 4.3).

Buckminster'in ilham verdiği enerji tasarruflu kendi kendine yetebilen yapı hayali bu yapıyla somutluk kazanmaktadır. Çadırı dikmek için kullanılan yaklaşık 2000 tonluk uçayaklı çelik yapı yerden 150 metrelik yükseklikte eğik koni şeklinde bulunmaktadır. Arka tripod ayağı 60 m uzunluğunda dikey bir kafes kolondur ve iki ön ayak dikeyden 30 derece eğimlidir ve her ikisi de 70 m uzunluğundadır.

Ön ve arka tripod ayakları tarafından üretilen 30.000 kN ve 80.000 kN'lik yüksek nokta yüklerine direnmek için kaidelerin altında derinliği 30 m'ye kadar olan beton kazıklar kullanılmıştır (Reid 2009). Çadır dikmesinin eğik tasarlanması, yağmur suyu ve kar yükünün altında göllenme sorununu ortadan kaldırmaktadır. ETFE yastıklarının boyutları 3,5x30 m'lik dikdörtgen yüzeylerle 20.000 m² lik çadır yüzey alanına yayılmış bulunmaktadır (Resim 4.13).



Şekil 4.3: Han Çadırı'nın kesidi ve fonksiyon alanlarının şematik gösterimi (Url-62).



Resim 4.13: Han Çadırı'nda ETFE yastıklarının yerleşimi ve kontrol aşaması (Url-63).



Resim 4.14: Han Çadırı'nın ana taşıyıcısı olan üçayak kulenin içeriden görünümü (Url-61).

4.2. BİNA DESTEKLİ YAPILAR

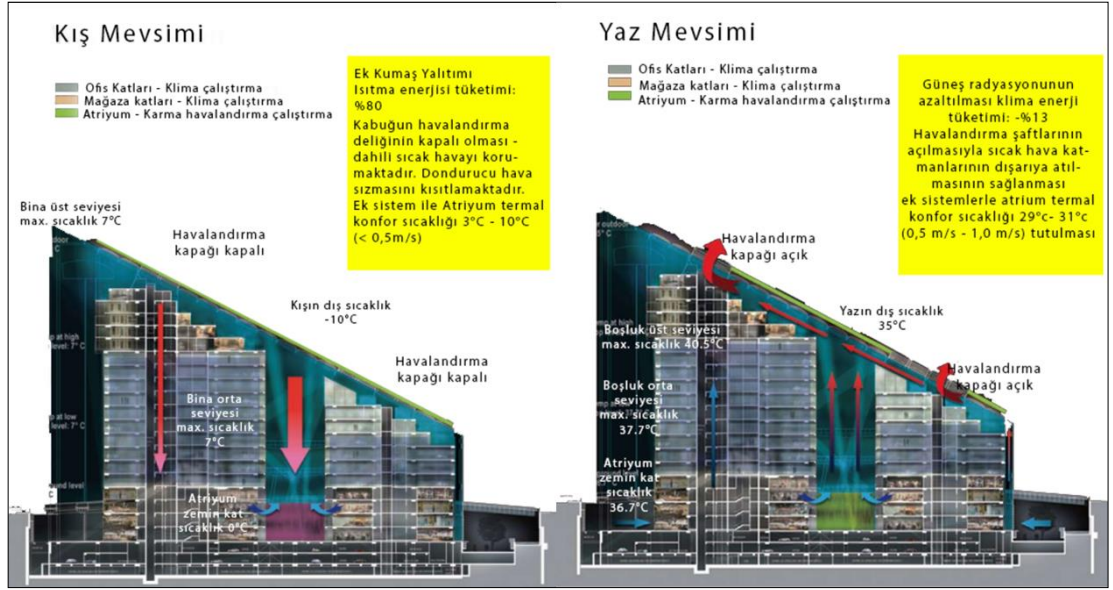
4.2.1. Karkas Sistemler - Parkview Green Plaza, Çin

Integrated Design Associates tarafından tasarlanan Parkview Green Plaza, LEED Platinyum sertifikalı, MIPIM (Le Marché International des Professionnels de l'Immobilier) tarafından Asya'daki en iyi yeşil bina ödülünü kazanmıştır (Url-64). Plaza, cepheleri cam, çatısı ETFE yastık sistemle örtülü, bir perakende alışveriş merkezi, ticari ofis alanı ve lüks bir butik otel içeren 4 binadan oluşmaktadır (Resim 4.15).



Resim 4.15: Parkview Green Plaza kabuk yapının içerisindeki diğer binalar (Url-65).

Tüm binalar, piramidal bir çelik karkas kılıf içine sığacak şekilde, atriyum boşlukları, gökyüzü bahçeleri, teraslar ve bağlantı köprüleri ile tasarlanmıştır. Atriyumdaki doğal ışığı optimize etmek için dört çok katlı bina 24 m aralıklarla ayrılmaktadır. Ofisler, aydınlatma enerjisini azaltmak için cepheden çekirdeğe maksimum 15 m derinlik ve optimum gün ışığı için kat yükseklikleri tabandan tavana kadar net 2,9 m yükseklikte planlanmıştır. Binaların üstü örtülü olmasına rağmen yapılar arası konulan mesafelerle içeride ferah bir mikroiklim oluşturulmuştur. ETFE folyo yastıklar, tek yönlü eğimli bir çatı oluşturarak yapıların üstünü örtmektedir (Resim 4.16). Karkas kılıfın dış katmanı ile binalar arasındaki hava boşluğu, ısı yalıtımı sağlayarak kılıf içerisindeki mikro iklimi kontrol edebilen nitelikler taşımaktadır. Yapı ısı yığını etkisi ile doğal hava hareketine meyilli piramidal forma sahiptir. Sıcak hava atriyum ve çatı boşluğundan yükselirken binanın tabanından taze hava çekilir (Şekil 4.4). ETFE çatısı, hava geçişini sağlamak için iç bina yüksekliklerinden 3 m uzağa konumlandırılmıştır. Benzer hava sirkülasyonu tasarımı Astana’da tasarlanan Han Çadırı’nda da görülmektedir.



Şekil 4.4: ETFE cephelerle kaplı Parkview Green Plaza kabuk yapının mevsimlere göre konveksiyonel havalandırma ve mikroiklim oluşturmasının şematik kesitlerle gösterimi (Url-66).



Resim 4.16: Çin'deki Parkview Green Plaza primidal formunun dışarıdan görünümü (Url-67).

Ofis alanı içindeki sıcaklık, duruma göre soğuk taze havayla veya güneş radyasyonu ile ısıtılan sıcak havayla 4 binanın iç alanlarında kontrol edilebilmektedir. Kullanışlı pencereler ve ETFE yastıklar, doğal havalandırma için mikro iklimsel karkas kılıfın içine yerleştirilmiştir.

Bu çalıştırılabilir menfezler bilgisayar kontrollüdür ve farklı hâkim rüzgâr ve çevre koşulları altında çalışmak üzere tasarlanmıştır (Resim 4.17).

Mikroklimatik bu karkas yapı, atriyumu kışın birkaç derece daha sıcak ve yazın daha serin tutar. Doğal havalandırma iklimlendirme maliyetleri büyük ölçüde azaltmaktadır. Doğal havalandırma, tek başına yılın büyük bir bölümünde tüm alanlarda konforlu koşulları sağlamak için fazlasıyla yeterli olmaktadır. Bu zamanlarda, ek ısıtma ve soğutma, tüm binanın enerji tasarruflu ve geri kazanımlı HVAC ekipmanları ve kapalı devre radyant tavan ısıtma ve soğutma su sistemleriyle sağlanmaktadır. Tasarım, enerji ve su tüketimini düşük tutarak ılıman mevsimlerde %63, kış aylarında ise %80'e varan enerji tasarrufu sağlanması beklenmektedir (Resim 4.18).



Resim 4.17: Parkview Green Plaza kabuk yapının çalıştırılabilir havalandırma şaftı (Url-68).



Resim 4.18: Parkview Green Plaza'da radyant ısıtma örneği (Url-68).

ETFE hafifliği sayesinde çok daha açık alan kaplayarak daha az strüktürel malzeme kullanımına dolayısıyla içeriye daha fazla ışığın girmesine izin vermektedir. Binaların üzerine yayılmış ETFE yastıklı çatı, dört binaya yalnızca dikey yükleri aktarmak için basit bilyeli ve soket bağlantılarla bağlanmaktadır. Ana taşıyıcı sistem iki boyutlu bir kiriş çerçevesinden oluşmaktadır. Bunun üzerinde, ETFE yastıklarının bağlı olduğu ikincil yapı bulunmaktadır (Resim 4.19).



Resim 4.19: Basit bilyeli, soket bağlantısının yakın çekimi (Bessey, 2012).

ETFE yastıklarının her biri, 100 ila 250 mikron kalınlığında 2 veya daha fazla folyo tabakasıyla kullanılmıştır. Minderler, açıklıklarının %15-20'sinde bombeli ve 250 Pa'lık bir şişirme basıncına sahiptir. (Bessey, 2012)



Resim 4.20: Parkview Green Plaza, Çin (Url-65).

4.2.2. Kemer Çatı Sistemler - Anaheim Bölgesel Ulaşım Intermodal Merkezi (ARTIC), Los Angeles

Anaheim Bölgesel Ulaşım Intermodal Merkezi (ARTIC), HOK Group tarafından, Güney Kaliforniya'daki yeni nesil toplu taşımayı temsil eden yenilikçi bir transit istasyon olarak tasarlanmıştır. ARTIC, yeni ulaşım seçenekleri çağına açılan LEED NC Platinyum sertifikalı ikonik bir yapıdır. Orange County ve Anaheim Şehri'nin toplu taşıma kullanımını teşvik etme ve aynı zamanda otoyol tıkanıklığını hafifletme vizyonuyla tasarlanmıştır.

ARTIC, Anaheim'ın merkezindeki yayaların hâkim olduğu bölgede yer almaktadır. Bölge çapında yayaların yanı sıra toplu taşımayı ve bölgesel seyahati destekleyebilecek, bisikletliler, demiryolu, otobüs ve otomobil yolcuları gibi her türlü bağlantı için esnek, fütüristik bir terminal görevi görmektedir.

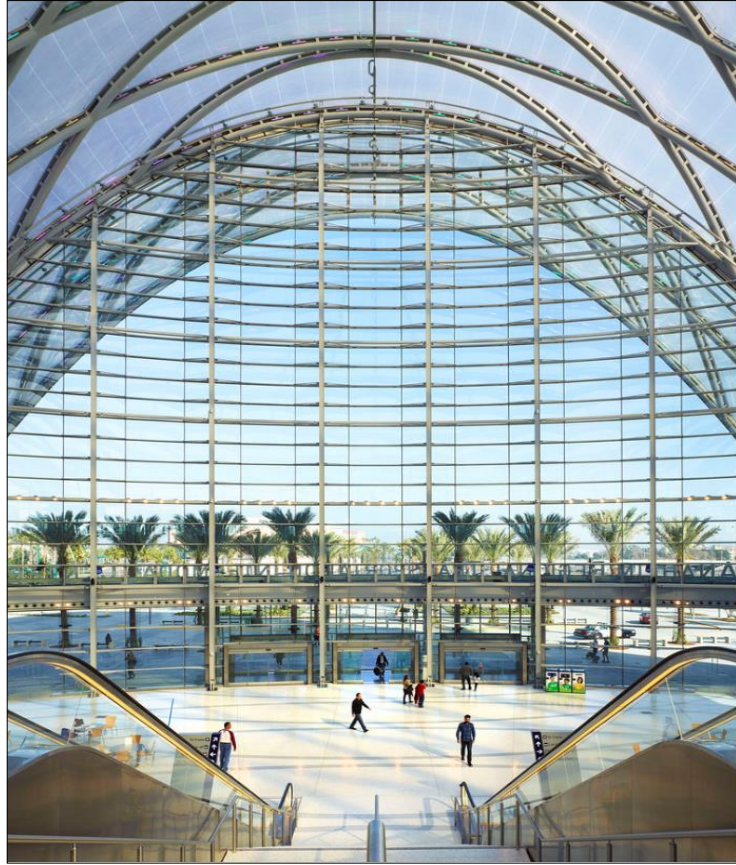
Mağazaları ve restoranlarıyla bu yoğun cadde, her gün binlerce yolcunun seyahat deneyimini olumlu yönde dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Kuzey ve güney cephelerinde iki parabolik, çalıştırılabilir cam duvar, Vector Foiltec tarafından tasarlanan ve kurulan kavisli yarı saydam ETFE yastıklardan oluşan kemer çatı formuyla birlikte bina, kullanıcılara ve Kaliforniya iklimine bir geçit havası uyandırmaktadır.



Resim 4.21: Kemer çatı formundaki ETFE yastıklarla ARTIC yapısı, Los Angeles (Url-69).

Yılda üç milyondan fazla kişinin ulaşım ihtiyacını karşılamak üzere projelendirilen 67.000 metrekarelik geçiş merkezinin bağlantıları, şehirlerarası otobüs sistemleri, banliyö ve bölgesel demiryolu servisi gibi birçok ulaşım sistemlerini birleştirmektedir. Ek olarak esnek tasarımıyla gelecekteki California'nın güney ucunda hizmet vermesi planlanan yüksek hızlı raylı sistemlerinde bu bağlantılara dâhil olması beklenmektedir.

İstasyon ayrıca, Anaheim'ın çekirdeğini, bağlantıyı ve canlı kullanımlı bir ortamı destekleyen yaya dostu bölgeye dönüştürmek için bir katalizör görevi görmektedir. “Platinum Üçgeni” olarak bilinen istasyonun etrafındaki bölge, Angel Stadyumu, Honda Center, Anaheim Kongre Merkezi ve yakındaki Disneyland gibi turizm sektöründe cazibe merkezi haline gelmiş yerleri içermektedir.



Resim 4.22: ARTIC yapısının içerden ön cepheye bakışı (Url-69).

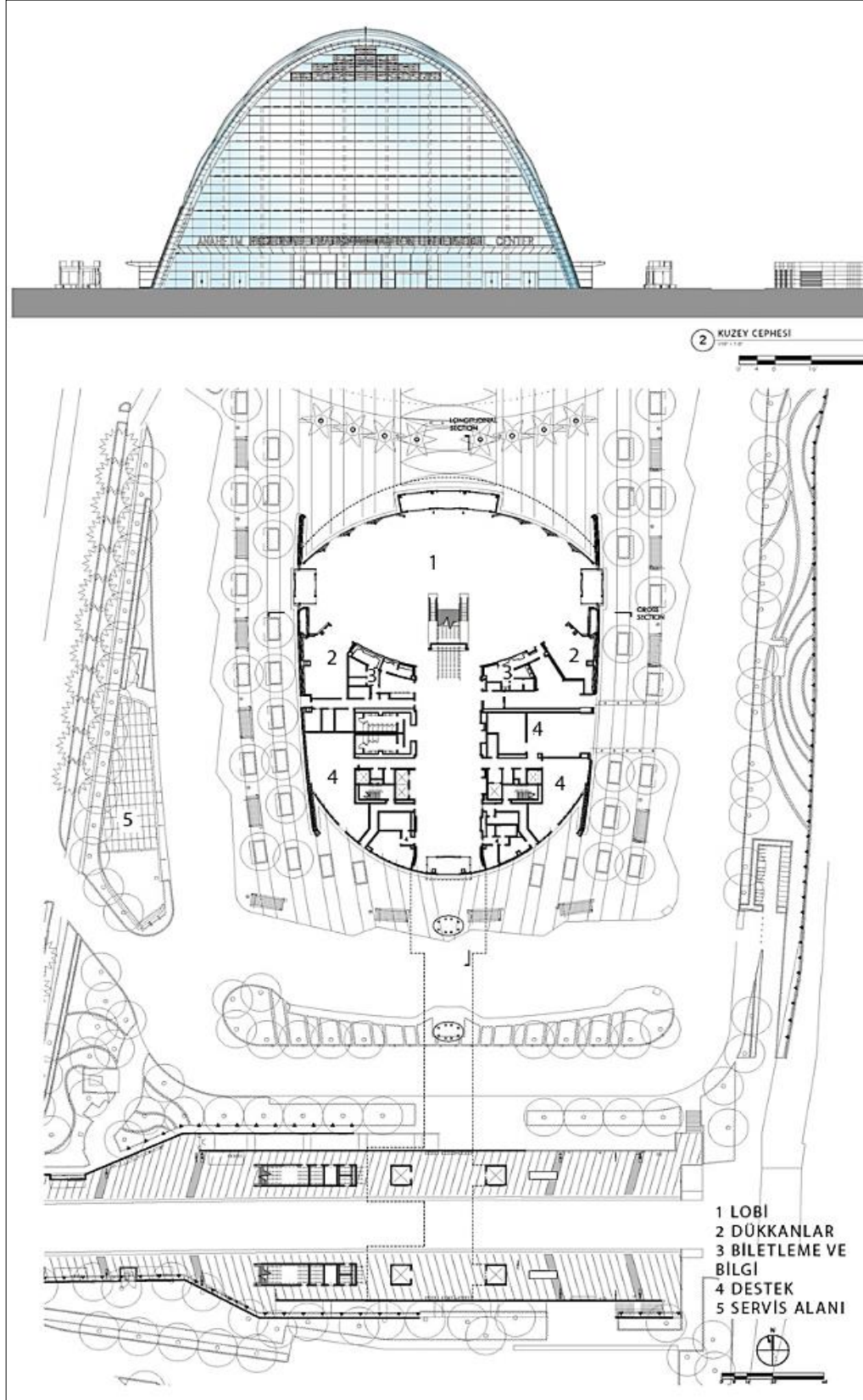
Tasarım, baklava dilimi şeklindeki çelik kemerlerin diyagrid strüktürel sistemine, yarı saydam ETFE yastıklar yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Geniş açıklıklı, ızgara kabuk yapısı açık atrium boşluğu hissi yaratmaktadır. ARTIC, yapı bilgi

modellemesi (BIM) kullanılarak tasarlanmıştır. BIM kullanılarak parabolik formdaki yapıdaki camın hassas geometrisi ile ETFE yastıkların optimizasyonu sağlanmıştır. ETFE yastıklar enerji verimliliğini optimize etmek için gelişmiş mekanik sistemlerle uyumlu olarak hareket etmektedir. ETFE yastıkların dış katmanlarındaki puantiyeli folyolar sayesinde ısı ve ışık geçişleri kontrol altında tutulabilmektedir. Çerçevenin içine monte edilen LED ışıklar, ETFE yastıklarda değişen renk geçişlerinde aydınlatarak gece silüetinde yapıya estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Philadelphia'nın Broad Street İstasyonu ve New York City'nin orijinal Penn İstasyonu gibi büyük toplu taşıma salonlarından esinlenen ARTIC'in katener formu ve diyagrid kabuk yapısal sistemi, ETFE yastıklar sayesinde geniş açıklıklara sahiptir (Resim 4.23). Bu sayede yapıda, strüktürel sistem için gerekli çelik miktarını en aza indirerek serbest ana salon mekânı yaratılmıştır.

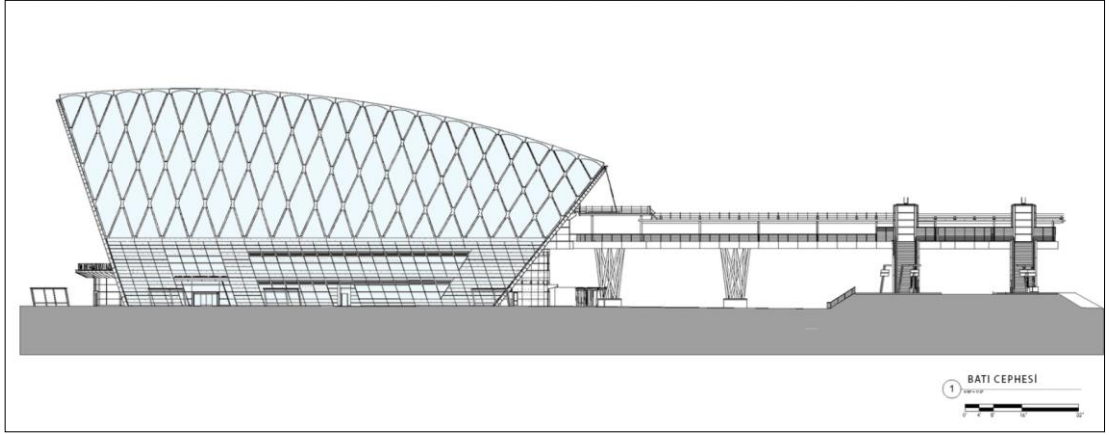


Resim 4.23: Soldaki görsel geleneksel çelik ve camla tasarlanan, ARTIC tasarımına ilham kaynağı olan Newyork Penn İstasyonu'nun iç görünüşü, sağdaki görselde çağdaş malzeme ve mimariyle yeniden yorumlanmış, ARTIC binasının içten görünüşü (Url- 69).

Dinamik ETFE çatı kaplaması içeriği gölgeleyip güneş koruması sağlarken, HVAC ile optimize edilmiş radyan ısıtma ve soğutma zemin sistemi ARTIC'in enerji maliyetlerini %35 oranında azaltmaya ve binayı iklim değişikliklerine karşı dayanıklı hale getirmeye yardımcı olmaktadır. Konveksiyon akımlarında sıcak hava, yapının alt güney bölgesinden, kuzey tarafına doğru yükselirken cam duvardaki çalıştırılabilir panjurlardan dışarıya çıkarılarak yapıda doğal havalandırma sağlanmaktadır.



Şekil 4.5: ARTIC binasının Kuzey cephesi ve Kat planı çizimleri (Url-70).



Şekil 4.6: ARTIC binasının Batı cephesi görünüşü (Url-70).



Resim 4.24: Diyagrid çerçeve ve kemer formundaki ETFE folyolardan meydana gelen ARTIC binası, Los Angeles (Url-70).

4.2.3. Kablo Destekli Gergi Sistemler – Unilever Genel Merkezi, Almanya

Unilever Genel Merkezi, Behnisch Architekten tarafından, Almanya, Avusturya ve İsviçre için, Almanya'nın Hamburg kentinde, Elbe Nehri kıyısı üzerinde tasarlanmıştır. 2009 Dünya Mimarlık Festivali'nde “Dünyanın En İyi Ofis Binası” ödülüne layık görülmüştür. Yapı içerisindeki Unilever ürünleriyle dolu mağazalar, yoldan geçenlere şirketi daha iyi tanıma fırsatı vermektedir. Gün ışığıyla

dolu atriyum aynı zamanda insanların buluştuğu ve iletişim kurduğu merkezi konum oluşturmaktadır.

Ayrıca, dünyanın en büyük tek katmanlı ETFE cephelerinden biridir. Kablo destekli gergi sistemler kullanılarak ETFE folyolar cephe üzerinde yatay veya düşey akslarda kablo payandalarla taşınmaktadır. ETFE folyolar, binanın ısıcam duvarın önüne tek tek yerleştirilerek, gün ışığını optimize eden UV koruma panjurlarını dış etkilerden korumak için bir perde görevi görmektedir. Ayrıca enerji tasarruflu yüzey, küf ve bakterilerin yapışmasına izin vermez ve bu cepheyi temizlemek için basit bir yağmur suyu yeterli olmaktadır.

Kablo payanda sistemi parabol şeklinde iki ana kablodan oluşur. Bu kablolar çeşitli çaplarda olabilirler. Bunlar germe ve bağlama için germe donanımı ve çatal uçlarla iki yanda yer alan taşıyıcı kolonlara desteklenir veya yan duvarlara ankre edilebilir. (Güzel, 2006)

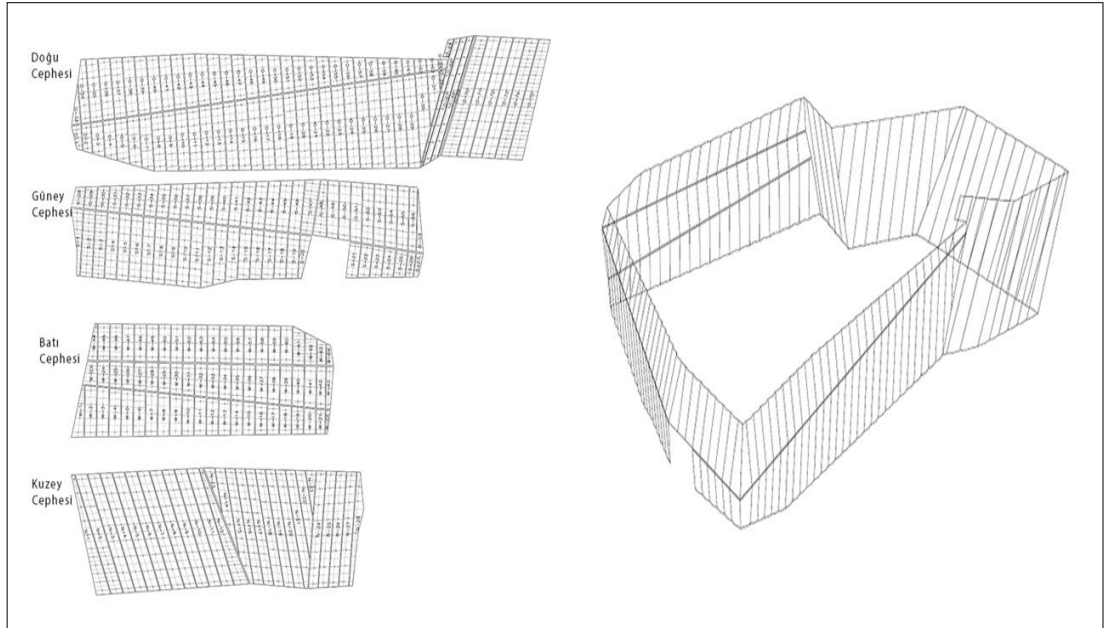


Resim 4.25: Unilever Genel Merkezi'nin doğu cephesi (Url-71).



Resim 4.26: Kablo gerdirme destekli ETFE folyolar, Unilever Merkez Binası, Hamburg (Url-72).

Giydirme cephe, 224 bağımsız birim panellerden oluşmaktadır (Şekil 4.7). Toplamda 6,454 m² ETFE-film ve 10 km inox-kablo döşenmiştir. Bina'nın genel aydınlatması ve işyeri aydınlatması için yeni geliştirilen SMD-LED sistemi uygulanmaktadır. Bu sistemin geleneksel halojen veya metal halide aydınlatmaya göre %70'e kadar daha verimli olması beklenmektedir. Bu bina yeni kurulan Hafencity EcoLabel'de altın eko etiketini almıştır (Pavlovic, A., Veljkovic S. D., Karamarkovic, J. 2018).

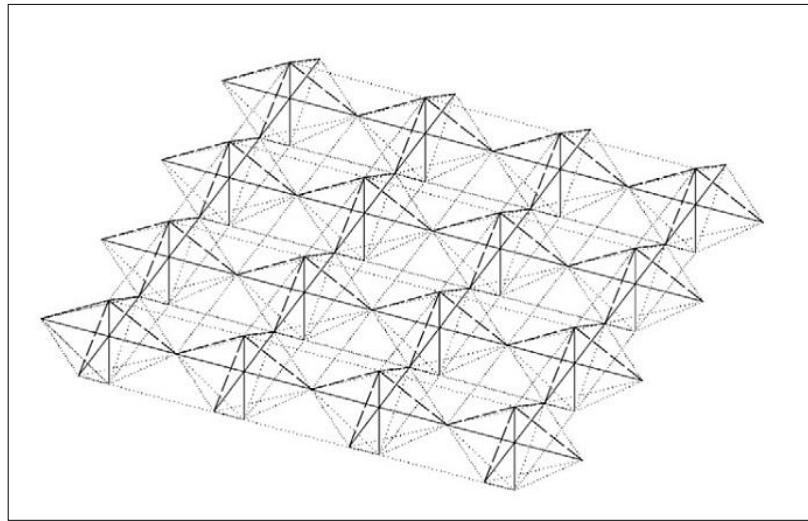


Şekil 4.7: Unilever Binasında cephelere ETFE panellerin yerleşim planı (Url-72).



Resim 4.27: Kablo destekli ETFE folyo panellerin aşağıdan görünümü (Url-72).

Almanya'nın Münih kentindeki Atık Yönetim Ofisi'nin kamyon deposu, kablo payandalı sisteminin bir başka olarak çatı örneğidir. Bu sistem ETFE yastıklarını desteklemese de PTFE kaplı cam elyaf membran benzer şekilde çalışmaktadır. Kablo payanda sistemi, üst ve alt kirişleri oluşturan kesişen iki kablo setinden ve bir payandadan oluşmaktadır. Destek çubuk, kabloları gerilmeye ve dikmeyi sıkıştırmaya zorlayarak ayırır. Yerçekimi yüklerinin alt kablolar tarafından taşınırken, üst kablolar ve membran ve rüzgâr yükünü çekmektedir. Yük altında, tüm kablo kuvvetleri diğer kablolar tarafından yanal olarak çözüldüğünden, kolonlar yalnızca dikey yüklere direnç göstermektedir.



Şekil 4.8: Açılabilir kablo dikme yapısı (kesik çizgiler aktif kablolardır, noktalı çizgiler pasif kablolardır ve düz çizgiler dikmelerdir (Cai, J., Ma, R., Deng, X. & Feng, J., 2015).

4.3. BÖLÜM DEĞERLENDİRMESİ

ETFE malzemesinin getirdiği teknolojik imkanların, mimarlık ve mühendislik alanları için önemli fırsat oluşturduğu anlaşılmaktadır. ETFE'nin mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde esneklik ve tasarım özgürlüğü, sadece kullanım alanlarında değil kullanım türlerinde de görülmektedir. Genellikle mimari projelerin tasarım ve uygulama süreçlerinde, mimarların estetik kaygısıyla, mühendislerin statik endişesi, anlaşmazlık ve çatışmalar oluşturabilmektedir. Bu durumlarda ETFE'nin müdahalesi, geniş açıklıkların geçilmesi için gerekli strüktürel elemanların ağırlığına, nakliyatına, maliyetine, uygulanabilmesi için kullanılan iş makinelerine ve yapının doğal aydınlatması için gerekli şeffaf alanların ısı yalıtımında oluşturabileceği olumsuzluklara, tasarımcı ve kullanıcılar için çözüm getirmektedir.

ETFE, yüksek ışık geçirgenlik, şeffaflık ve esneklik gibi özellikleri bakımından suya benzetilebilir. Su doğal ortamları çağrıştıran özellikleriyle, mimari alanda birçok kez kullanılmıştır. ETFE malzemesi kullanılan yapılar incelendiğinde biyomimesis etkileri oldukça sık görülebilmektedir. Tasarımcıların doğa, teknoloji ve dayanıklılığın bir arada görülebileceği yapı türlerinde ETFE'nin köprü görevi sağladığı söylenebilmektedir.

İnsanoğlu barınmak için geliştirdiği yapı sistemlerinin boyutları, zamanla sosyal aktivitelerin gelişmesi ve popülasyonun artışıyla geniş ölçeklere ulaşmıştır. Barınmanın temelindeki dış etkenlerden korunma felsefesi dışarıya taşınarak kompleks yapılar ve örtü sistemleri meydana gelmektedir. Geleneksel malzemelerle geniş bir alan içerisinde kontrollü bir biyom oluşturma çabaları fiziğin sınırlarıyla çatışmaktadır. ETFE gibi yenilikçi malzemelerin mimarlık ve mühendislik alanlarında kullanılması denklemlerin yeniden oluşturulmasına neden oluşturabilmektedir.

ETFE malzeme özellikleri ve uygulanış biçimi bakımından, HVAC sistemleriyle uyumu, konveksiyonel hava akışlarına sağladığı olanaklar, ısı yalıtımı performansı ve PV modülleriyle kullanılabilirliği, sürdürülebilir mimari için önemli

bir malzeme türü olmaktadır. Enerji korunumuna ve çevreye faydalarıyla yapının kendi kendine yetebilmesine imkân vermektedir.

ETFE sistemlerin geniş açıklıkları geçebilmesi, diğer malzeme ve teknolojilerle multidisipliner yaklaşım sergilemesi, kompleks yapılarda tercih sebebi oluşturmaktadır. Belirli bir yapıda cephe, çatı, atriyum gibi ek kısmi bölgelere karkas, kemer çatı, kablo destekli olarak tasarlanabildiği gibi tek başına çadır, kubbe, tonoz ve diyagrid formlarda da uygulanabilmektedir. Farklı form ve tasarım çeşitliliği mimari tasarım özgürlüğü sunmaktadır. ETFE, mimarlıktaki form ve fonksiyon arasındaki öncelik ilişkisi tartışmalarına yeni bir boyut kazandırmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

5.1. ALLIANZ ARENA, ALMANYA, MÜNİH

Allianz Arena Stadyumu, Alpine Bau Deutschland GmbH ve Herzog & De Meuron öncülüğünde, tüm binanın yapısal tasarımı, şemasını ve yapının betonarme çanak kısmını Arup & Partners üstlenirken, çatının çelik konstrüksiyon tasarımı Sailer Stephan und Partner, cephe strüktür tasarımı R+R Fuchs ve pnömatik giydirme tasarım hesapları Engineering + Design tarafından yapılmıştır.

2005 yılında Münih'te inşası tamamlanan Allianz Arena, 2017 yılına kadar TSV 1860 Münih ve FC Bayern Münih olarak iki farklı futbol kulübüne ev sahipliği yapmıştır. 2017 yılında TSV 1860 Münih'in Allianz Arena haklarıyla ilgili sözleşmesi, Bayern Münih tarafından iptal edilmiştir. ETFE cephe kaplamasının katkısıyla farklı renklerde gece aydınlatması sağlanabilmektedir. Yapının en çarpıcı özelliklerinden biri, iki kulüpten hangisinin arenayı kullandığını yansıtan flüoresan ışıklar sayesinde renk değiştiren ETFE yastık kaplamalı cephesidir. Arena'daki ortam havasını yansıtmak için etkinleştirilebilecek bir dizi aydınlatma senaryosu mümkündür (Resim 5.1).

Oyun sırasında goller ve diğer önemli olaylar cephede ışık altında kutlanabilmektedir. Bu özelliğini 2006 yılı Dünya Kupası'nda ev sahipliği yaptığı zamanda tüm dünyaya kanıtlamıştır. Yarı saydam beyaz cephe yastıklarındaki aydınlatma yoğunluk miktarı, cephede aşağıdan yukarıya doğru artan baskılı folyolarla değişebilmektedir. Taban ETFE yastık katmanlarında puantiyeli baskı seviyesi yüksek tutularak, yaya ve sürücülerin göz hizasındaki ışık şiddeti rahatsız etmeyecek seviyelerde tutulabilmektedir.



Resim 5.1: Allianz Arena Stadyumu'nda maç oynanan takıma göre dış aydınlatma renklerinin değişimi (Url-75).



Resim 5.2: Allianz Arena Stadyumu'nun gece aydınlatmasındaki dramatik etkisi (Url-73).

66.000 seyirci kapasiteli Allianz Arena, yağmur suyu ve güneş ışığını doğrudan alabilen saha üstü açık bir stadyumdur. Gelişimi için gün ışığına ihtiyaç duyan saha çimleri, seyirci koltuklarının üstündeki şeffaf ETFE yastık örtülü çatı sistemi sayesinde her açıdan beslenebilmektedir (Resim 5.4). Ayrıca seyircilerin güneş ışığından korunabilmesi için ETFE çatı altında kısmen açılır kapanır yansıtıcı ve ses yutucu gölgeleme sistemi bulunmaktadır (Resim 5.5). Çok katlı stadyumun içerisinde, gastronomi ve eğlence alanları, hatıra müzesi, çocuk oyun alanları, kulüp mağazaları, ofis ve konferans salonları, geniş medya tesisleri, yemek servisleri, taraftar ve aile restoranları, basın kafeteryası ve kafe-barlar bulunmaktadır.



Resim 5.3: Allianz Arena Stadyumu'nun maç esnasında içeriden görüntüsü (Url-76).

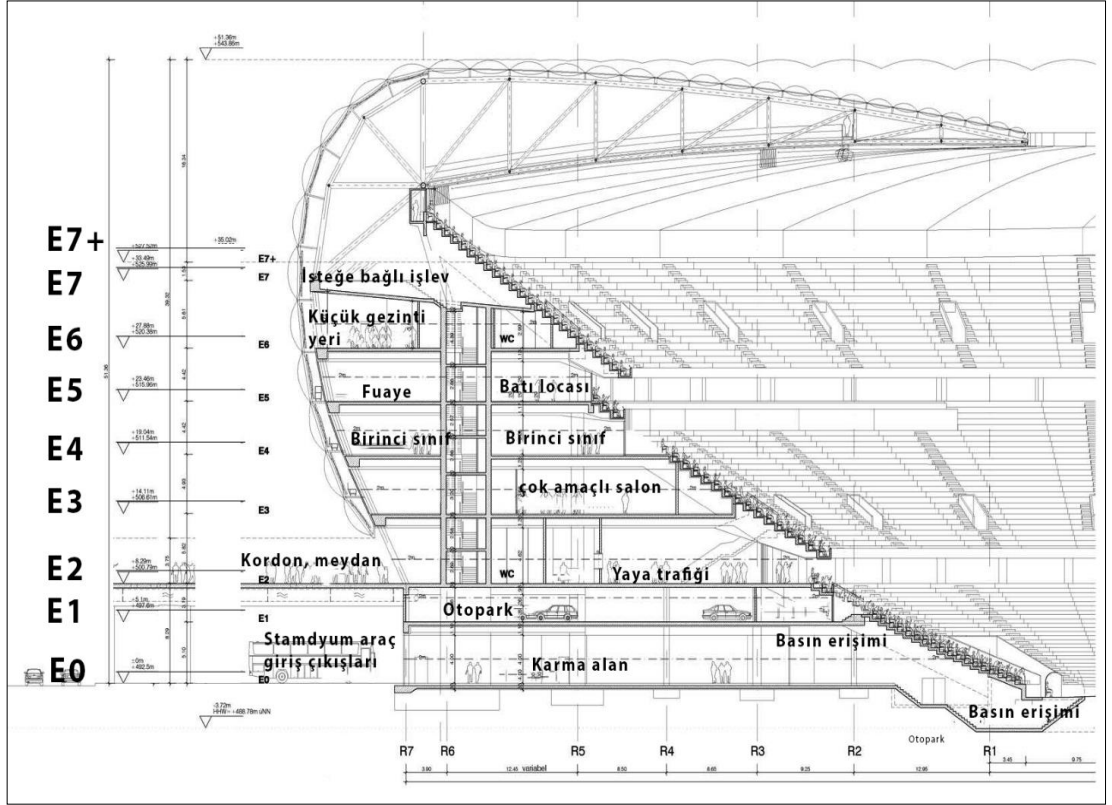


Resim 5.4: Allianz Arena'nın ETFE çatısına yakın çekim görseli (Url-73).



Resim 5.5: Allianz Arena'daki kısmen açılır kapanır güneş koruyucu sistemler (Url-74).

Şekil 5.1'deki Allianz Arena'nın kesit görselinde, çeşitli seviyelerdeki fonksiyonel dağılımı ve tasarımın temel yapıcı yönleri sergilenmektedir. İki alt seviyede E0 ve E1, oyuncuların otobüslerinin gelişini ve arabalar için park yerini içeren karma bölgedir. Kordon boyu'nun E2 olarak adlandırıldığı geliş katında tuvaletler ve halk yürüyüşleri yer almaktadır. E3'te, Sponsorlar için çok amaçlı salon bulunurken, E4 seviyesinde, VIP sınıf mekânlar yer almaktadır. E5'te, fuaye ve localar, E6'da, tuvaletler ve gezinti alanları, E7'de, isteğe bağlı işlevlendirilebilen mekanlar bulunmaktadır.



Şekil 5.1: Allianz Arena'nın fonksiyon, teknik ve yapısal çözümlerini gösteren kesiti (Url-74).

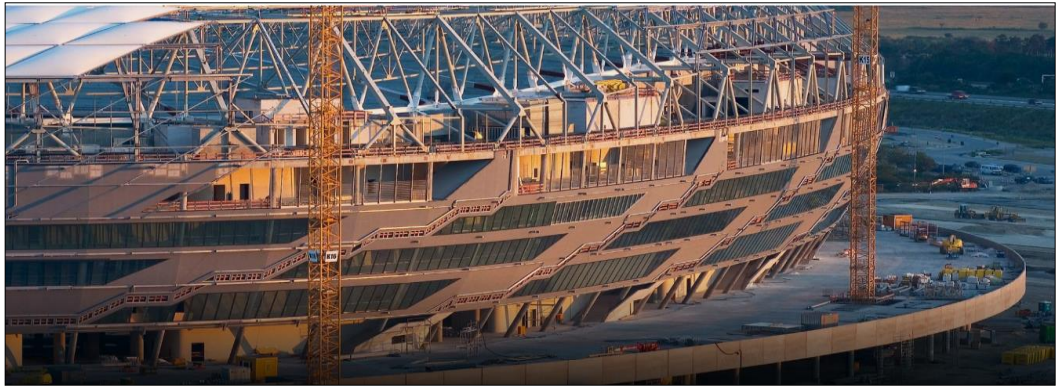
ETFE yastıklar, yapı genelinde yaklaşık 8 m kenar uzunluğuna sahip, maksimum 40 m² büyüklüklerinde, eşkenar dörtgen formunda, 2874 adet bulunmaktadır. Dış folyonun kalınlığı 200 ile 250 µm arasında, iç folyonun kalınlığı 150 ile 250 µm arasında değişmektedir. 38.000 m² çatı, 28.500 m² cephe olmak üzere toplamda 66500 m²'lik ETFE yastık kullanılmıştır. Mekânsal olarak kavisli yastıklar düzleştirilirse, bu, yaklaşık 147.000 m²'lik bir toplam folyo yüzeyi üretecektir.



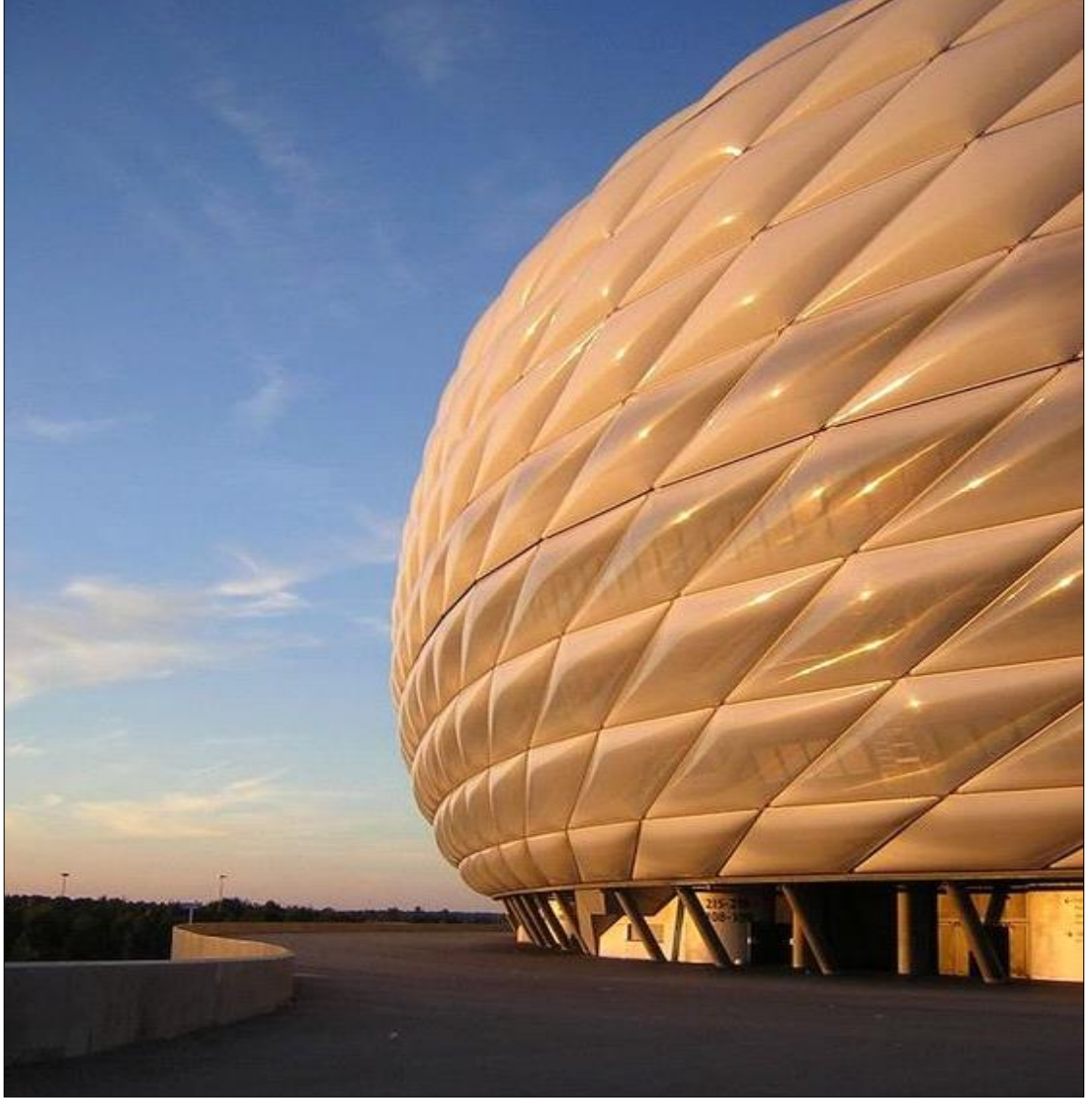
Resim 5.6: Allianz Arena'daki ETFE folyoların karkas sistem üzerindeki raya sıkıştırma işlemleri (Url-74).



Resim 5.7: Allianz Arena Stadyumu'nun giydirme ETFE cephe sistemi montaj aşaması (Url-74).



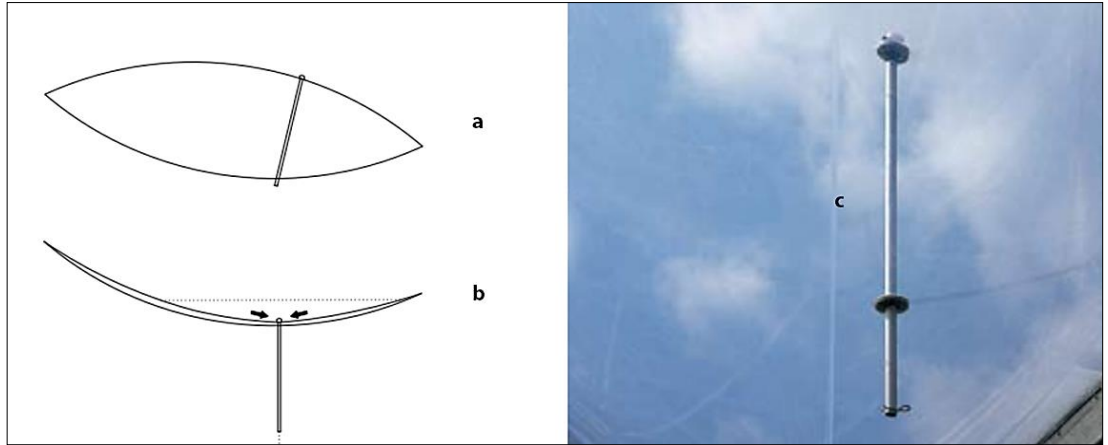
Resim 5.8: Allianz Arena Stadyumu'nun ETFE cephe giydirme yapılmadan önceki inşaat hali (Url-78).



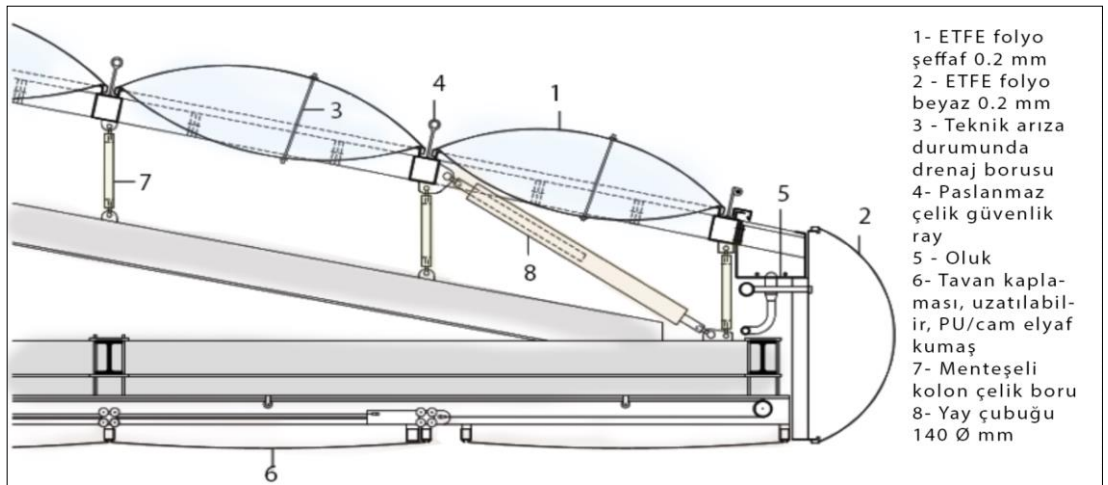
Resim 5.9: Allianz Arena gün batımında dış cephe ETFE yastıkların görünümü (Url-79).

Yangına veya vandal eylemlere maruz kaldığında ETFE cephenin davranışı çok önemlidir. ETFE, malzeme bakımından alev yürütmez özelliklidir. Ayrıca havalandırma ve duman tahliyesi için açılabilir yastık elemanları planlanmıştır. Doğrudan sivri cisimle kasıtlı bir zarar verilmediği sürece hasar görme olasılıkları çok düşüktür. Bunların dışında cephe bakım maliyetleri geleneksel cephe kaplamalarına kıyasla oldukça düşüktür. Allianz Arena, yapımından bu yana ETFE yastıkları ile ortaya çıkabilecek olası performans sorunlarına ilişkin örnekler bulunmaktadır. Geniş, düşük eğimli 65 m konsollu çelik çatı, yoğun kar yükü altında bazı yastıklarda arızalara neden oluşturmuştur. Çatıdaki kar ve suyun tahliye borularında yaşanan aksaklıklar, ETFE yastıklar ile havalandırma kanalları

arasındaki mekanik sızdırmazlık halkalarının gevşemesine ve hava kaybına neden oluşturmuştur. Bu durumda ETFE yastıklardaki şişlik azalarak göllenmelere olanak sağlamıştır. Arena çatısının düz alanında su toplanması olasılığını ortadan kaldırmak için 1900 yastıklama elemanı, kendi kendini etkinleştiren bir yastıklı drenaj sistemi ile donatılmıştır: üst folyoya sabitlenir ve alt katmandaki bir sızdırmazlık halkası içinden geçer (Şekil 5.2). Yastıklı drenaj sistemi, yalnızca hava besleme sisteminin arızalandığı ve aynı zamanda yoğun veya uzun süreli yağışların meydana geldiği durumlarda kullanılır. Dâhili yastık basıncının ayarlanmış bir minimum değerin altına düşmesi, servis kontrol merkezinde otomatik bir alarmı tetiklediğinden, basınç kaybı hızlı bir şekilde algılanabilir ve düzeltilebilir. Böylece yastık drenaj sistemi nadiren kullanılmaktadır.



Şekil 5.2: Yastık drenajının işlevi, (a); Düzenli iç basınca sahip yastık, (b); İşletim sisteminin arızalanması sonucu toplanan su, (c); Suyun boşaltıldığı drenaj borusu (Moritz, 2010).



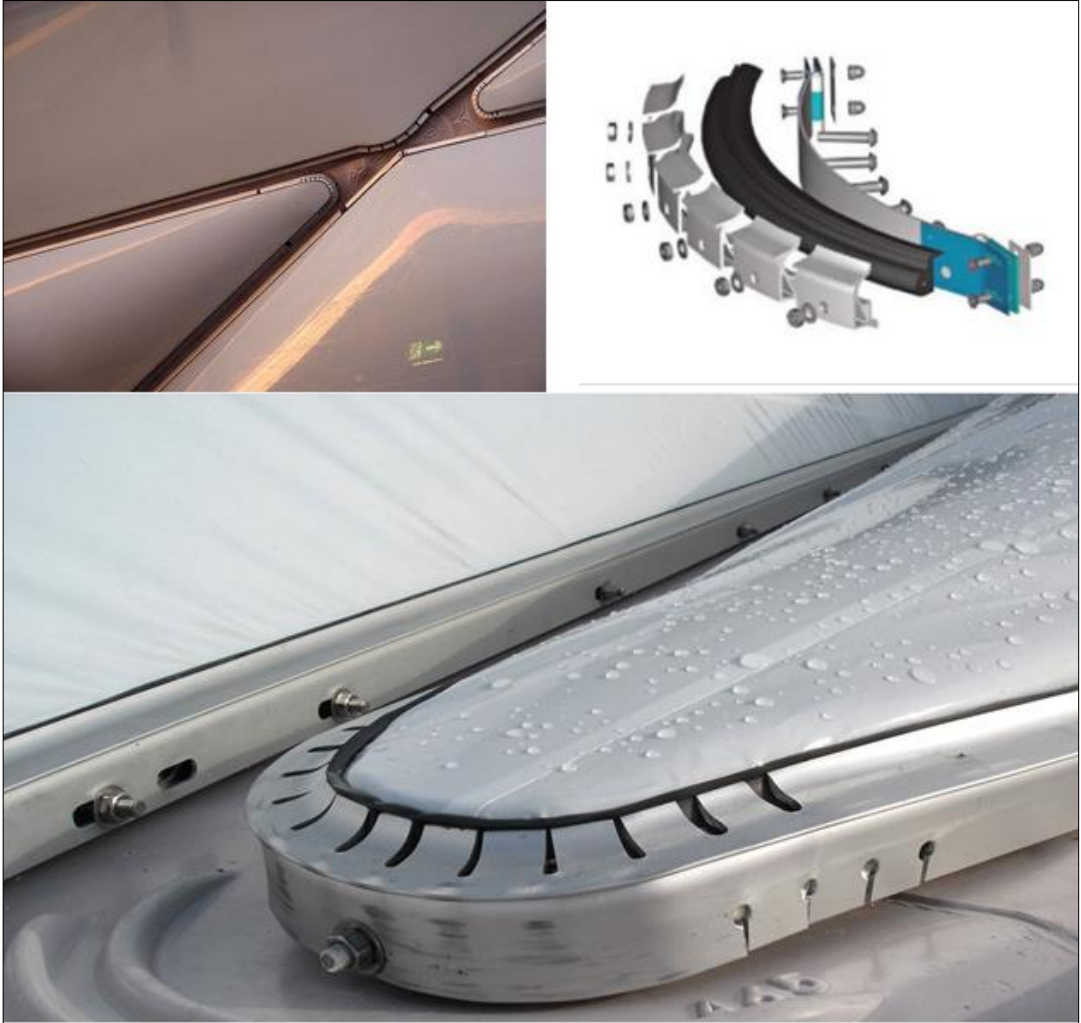
Şekil 5.3: Batı standının çatıdan kesiti (Moritz, 2010).

ETFE yastıklar, mekanik olarak ön gerilimli membranların aksine, iç basınç sayesinde ayarlanabilir ön gerilime sahiptir. İç basıncı oluşturmak için Allianz Arena'nın her köşesinde üç üfleyici kutusuna (birim) iki üfleyiciye (fan) sahip bir üfleme odası (istasyon) vardır. Her birim, 300 Pa (çatı) ila 450 Pa (cephe) nominal iç basınca sahip hava borularından oluşan bir dallanma sistemi aracılığıyla cephenin dörtte birini veya çatı yastıklarının sekizde birini beslemektedir (Resim 6.10). Kar yükleri oluştuğunda basınç 800 Pa'ya yükseltilmektedir. Bir ünitedeki her bir iki fan, haftalık olarak otomatik olarak değişir. Her fanın kapasitesi, stadyumun dörtte birinin hava ihtiyacına göre tasarlanmıştır, böylece bir ünite arızalanırsa destek basıncı besleme boruları tarafından korunabilmektedir. Bir elektrik kesintisi varsa, bir acil durum güç kaynağı sistemi çalışır durumda tutmaktadır. Hava beslemesinin önemli elemanları bu nedenle fazladan tasarlanmıştır. Yastıklardaki iç basıncın neden olduğu folyonun ön gerilmesi, öncelikle yastıkların rüzgâra karşı dengelenmesine hizmet etmektedir. Rüzgâr estiğinde folyoların çarpmasını engeller ve deformasyonunu azaltır. Ön gerilimin kapsamı, yastığın eğriliğine ve iç basıncına bağlıdır. Allianz Arena'da 300 Pa'lık nominal iç basınç, folyoda yaklaşık 1.0 kN/m'lik bir ortalama ön gerilimle sonuçlanır (Moritz, 2010).



Resim 5.10: ETFE yastıkları şişiren hava borularının yakın çekim görseli (Url-80).

Yastık kılıfının alt yapısındaki genişleme derzleri, bir inşaat yeniliğini temsil etmektedir. Allianz Arena'daki yastık kılıfı için çelik alt yapı alanlarının sürekli hâle getirilmesi bu yenilik sayesinde olmaktadır. Aksi takdirde, sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan genişleme derzlerinin açılıp kapanması, uzun vadede yastığın ince folyosunu tahrip edebilir. Bu yenilik, eşkenar dörtgenin geniş köşelerindeki her bir genişleme derzinde, bağlantı genişliğindeki değişikliği, yastığın açıklığındaki bir değişikliğe çeviren, yaylı çelik plakadan oluşmaktadır. Böylece ince folyonun zarar görmemesi sağlanabilmektedir. Bu çözüm, esnekliği sayesinde yay çeliği plakasının yarıçap değişikliği ile kolayca başa çıkabilen elastomer EPDM'den yapılmış bir tutma tertibatı kullanılmaktadır (Şekil 5.4). Bu gelişme de ilk kez Allianz Arena'da kullanılmıştır.



Şekil 5.4: ETFE yastığın geniş köşelerinde sıcaklık genişmesini almak için yaylı çelik plakalı kenar bölümü ve detayı (Moritz, 2010),(Url-80).

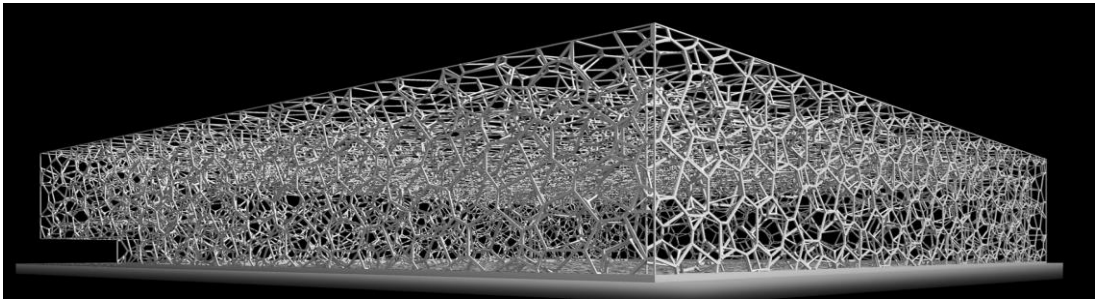
Allianz Arena Stadyumu hakkında genel bilgiler;

- **Mimarlar:** Jacques Herzog ve Pierre de Meuron
- **Yüklenici:** Alpine Bau, Ltd. (beton),
- **Danışmanlar:** ARUP Ltd., SSP Ltd.
- **Toplam yatırım maliyeti:** 290 Milyon. €
- **Yer:** Münih, Almanya
- **Futbol kulüpleri:** F.C. Bayern Münih
- **Tasarım:** Beton kâse ve çelik kafes çatı, yarı saydam ve şeffaf ETFE kaplama ile kaplı yapı.
- **İnşaat Süresi:** Sonbahar 2002 – İlkbahar 2005
- **Koltuk sayısı:** 66.000 adet
- **Stadyum boyutları:** 258m x 227m x 52m
- **Stadyum çevresi:** 840 m
- **Stadın kapladığı alan:** 37.600 m²
- **Toplam site alanı:** 171.000 m²
- **Aydınlatılmış alan (16 milyon renk; LED teknolojisi);** 25.500 m²
- **Kordon boyutları:** 543m x 136m x 0-12m
- **Ölçüm:** 1.358 m
- **Kapalı alan:** yaklaşık 73.900 m²
- **Cephe ve çatı:** 2.784 şişirme yastıktan oluşan toplam 66.500 m²
- **Çatı alanı:** 38.000 m²
- **Cephe:** 28.500 m²

5.2. ULUSAL SU SPORLARI MERKEZİ, ÇİN, PEKİN

2008 Pekin Olimpiyat Oyunları, uluslararası mimarlık, mühendislik ve inşaat firmalarının tasarım ve proje yönetimi yeteneklerini sergilemeleri için büyük fırsatlar sağlamıştır. Olimpiyat projelerinde benimsenen yeni teknolojiler, yeni malzemeler ve yenilikçi tasarımlar, tasarım ve inşaatın karmaşıklığı ve proje ekiplerinin farklı kültürel geçmişleri birleştiğinde, birçok zorluğu beraberinde doğurmuştur. Çin, Pekin'deki “Water Cube” Ulusal Su Sporları Merkezi, dijital teknolojinin, enerji azaltma ve su tasarrufu yöntemlerinin kapsamlı kullanımını ve yeni inşaat malzemelerinin dâhil edilmesiyle gerçekleştiren çok işlevli bir su merkezidir. PTW mimarlık tarafından Pekin Olimpiyatları yüzme sporları için 2008 senesinde inşa edilmiştir. ETFE folyoları Vector Foiltec tarafından sağlanarak tasarlanmıştır. Arup proje yönetimi ve yapısal mühendislik hizmetleri sağlamıştır.

Ulusal Su Sporları Merkezi'nde olimpiyatlar için beş yüzme havuzu, bir restoran, 17.000 seyirci için oturma alanı ve bu bileşenlerle ilgili tüm tesisleri içermektedir. Su Küpü, olimpiyatlardan sonra 17.000 koltuktan 7000 koltuğa indirecek şekilde esnek bir şekilde tasarlanmıştır; bu durum, içeriye ticari alan eklenmesine ve binanın devam eden eski işleyiş dönüşüne izin vermektedir. Yapının şekli, su oyunları ve işlevsel gereksinimlerle uyum içinde çalışacak şekilde özel olarak tasarlanmıştır. Tüm yapı su üzerindeki sabun köpüklerinin formuna benzer şekilde biyomimesis bir yaklaşım sergilemektedir (Resim 5.12). Doğadaki tekrar fraktallarından örnek alınarak su köpüğü ile bal peteği formlarının matematiksel analiziyle strüktürel bir sistem elde edilmiştir. Yapının su kabarcıklarına benzeyen formu Pekin'de bulunan sismik koşullara ideal uygunluk avantajı sağlamaktadır.



Resim 5.11: Ulusal Su Sporları Merkezi'nin çelik konstrüksiyon modeli (Url-82).



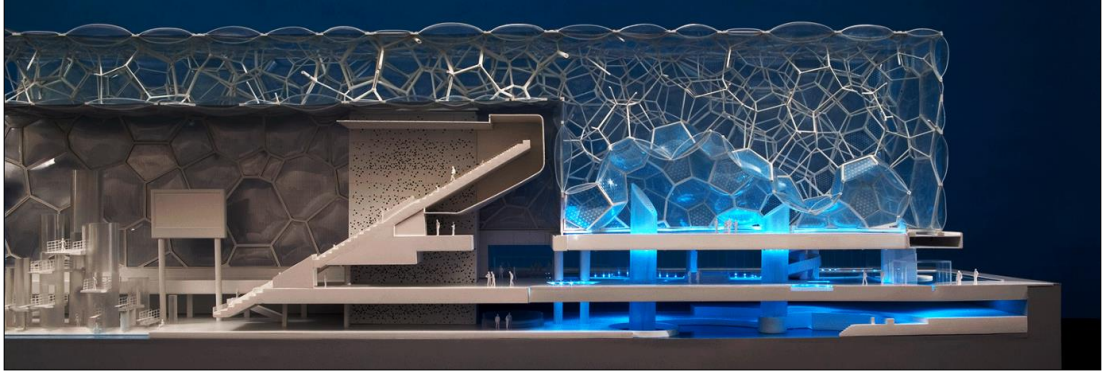
Resim 5.12: Su Küpü projesine ilham olan doğal sabun köpüğü (Url-83).

“Su Küpü konsepti, kısmen komşusu 'Kuş Yuvası' Olimpiyat Stadı'ndan esinlenmiştir. Parlayan Kuş Yuvası Ulusal Stadyumu'nun yanında yer alır ve iki karşıt şekil, Çin kültüründe önemli bir kavram olan 'yin-yang' uyumundadır. Örneğin, Su Küpü, Stadyumun kırmızısına karşı mavidir, suya karşı ateşe, kareye karşı yuvarlak, erkeğe karşı kadın, yeryüzüne karşı cennet.” (Zou, 2010). Ulusal Su Sporları Merkezi Su Küpü tasarımı, Çin kültüründe insanlık için yaşamın temel öğelerinden olan suyu ve insanla doğa arasındaki varoluş ilişkisini tasvir etmektedir. K p şeklindeki konsept, sakin, sorunsuz suyun güzelliğini ve dinginliğini temsil eden incelelikli, düşündürücü bir tasarımıdır.



Resim 5.13: Ulusal Su Sporları Merkezi'nin perspektif görünüşü (Url-84).

Yapısal çerçevenin iç ve dış olmak üzere iki bölümü bulunmaktadır. Dış kılıf, çatıyı, tavanı ve duvarları, ayaklı yapı olarak ortak fonksiyonda buluşturmaktadır. ETFE yastık bölümlerden oluşan karmaşık bir ağ strüktüründen oluşmaktadır. 12.000'den fazla küresel çelik düğüme bağlantı noktalarından kaynaklı, 22.000'den fazla paslanmaz çelik eleman, 177 m açıklık geçen baloncuk formların kenarlarını oluşturmaktadır. Çatı ve cephe yüzeyleri 100.000 m² ETFE, 4000 yastık ile kaplanmıştır, bu da dünyanın en büyük ETFE yapısı anlamına gelmektedir. Çatı strüktüründe 4 katmanlı ETFE yastıklar kullanılırken duvar için 3 katmanlı ETFE yastıklar tercih edilmiştir. Cephe kalınlığı 3.6 m, çatı kalınlığı 7.2 m ölçülerindedir. Yapı, 70.000 m²'lik bir taban alanına sahiptir.



Resim 5.14: Su Küpü projesinin kesit modeli (Url-82).

Tasarımcıların karşılaştığı zorluklardan biri, yetkilileri ETFE'nin avantajı ve tasarımın yılda 140.000 ton geri dönüştürülmüş su tasarrufuna izin verdiği konusunda ikna etmek olmuştur. Çatı ve cephe yüzeylerindeki ETFE'nin yüksek ışık geçirgenliği sayesinde, içeriye alınan yüksek orandaki günışığı, havuz suyunun ısıtılması ve aydınlatma için gereken enerjiyi sağlayabilmektedir. ETFE kaplama, güneş ısını içeri alarak enerji maliyetlerini %30'a kadar azaltma sağlayabilmektedir. Kullanılan su miktarının %80'i geri dönüştürülerek yüzme havuzlarında kullanılması sağlanabilmektedir. Su Küpü, hem ısıtma hem de aydınlatma için 'karbonsuz' güneş enerjisinin kullanımını en üst düzeye çıkaran yalıtımlı bir yapıdır. Cam yerine etilen tetrafloroetilenin (ETFE) kullanılması üstün bir akustik ortam yaratmaktadır. Yapı tarafından desteklenen malzemenin ağırlığını azaltır, sismik performansı iyileştirir, kendi kendini temizler ve geri dönüştürülebilir.



Resim 5.15: İnşaat halindeki Ulusal Su Sporları Merkez yapısına ETFE yastıkların montajı sırasında (Uri-85).

Çift yüzeyli cephe sistemi mevsim şartlarına göre çeşitli yollarla kullanılabilir. Mevsim geçişlerinde, her iki yüzeyde bulunan havalandırma kapakları açık durumdadır. Temiz hava dış cephe yüzeyinden alınarak güneş enerjisi ile ısınır ve iç-dış yüzey arasındaki boşluktan havuzların bulunduğu iç hacme fan yardımıyla taşınır. Yaz aylarında, dışarıdaki hava sıcak ve nemli olmasından dolayı iç cephe yüzeyindeki kapaklar kapalı tutulmaktadır. Kış aylarında ısı kaybının önlenmesi için, her iki yüzeydeki havalandırma kapakları kapalı tutulur (Sert, 2016).

Tasarıma sıkı bir sıcaklık, nem kontrol sistemi ve geri dönüştürülmüş bir sıcak su sistemi dâhil edilerek ortak alanın ve yüzme havuzunun iklimlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu iç ve dış hava geri dönüşüm sistemleri, güneş enerjisi sistemleri ve ahşap deck havalandırma sistemleri, mekânda konforlu bir iklim ve %50-60 oranında nem sağlamaktadır. Havuzdaki yüzücüleri veya sıçrama tahtasındaki dalgıçları etkileyebilecek tavandan çiy damlasının oluşumu ve düşmesi, ETFE ve klima sistemleri yardımıyla kısmen önlenmiştir. Ayrıca binanın hava beslemesi, dönüş girişleri ve egzoz çıkışları binanın üst bölümlerindeki havalandırmayı iyileştirmektedir.

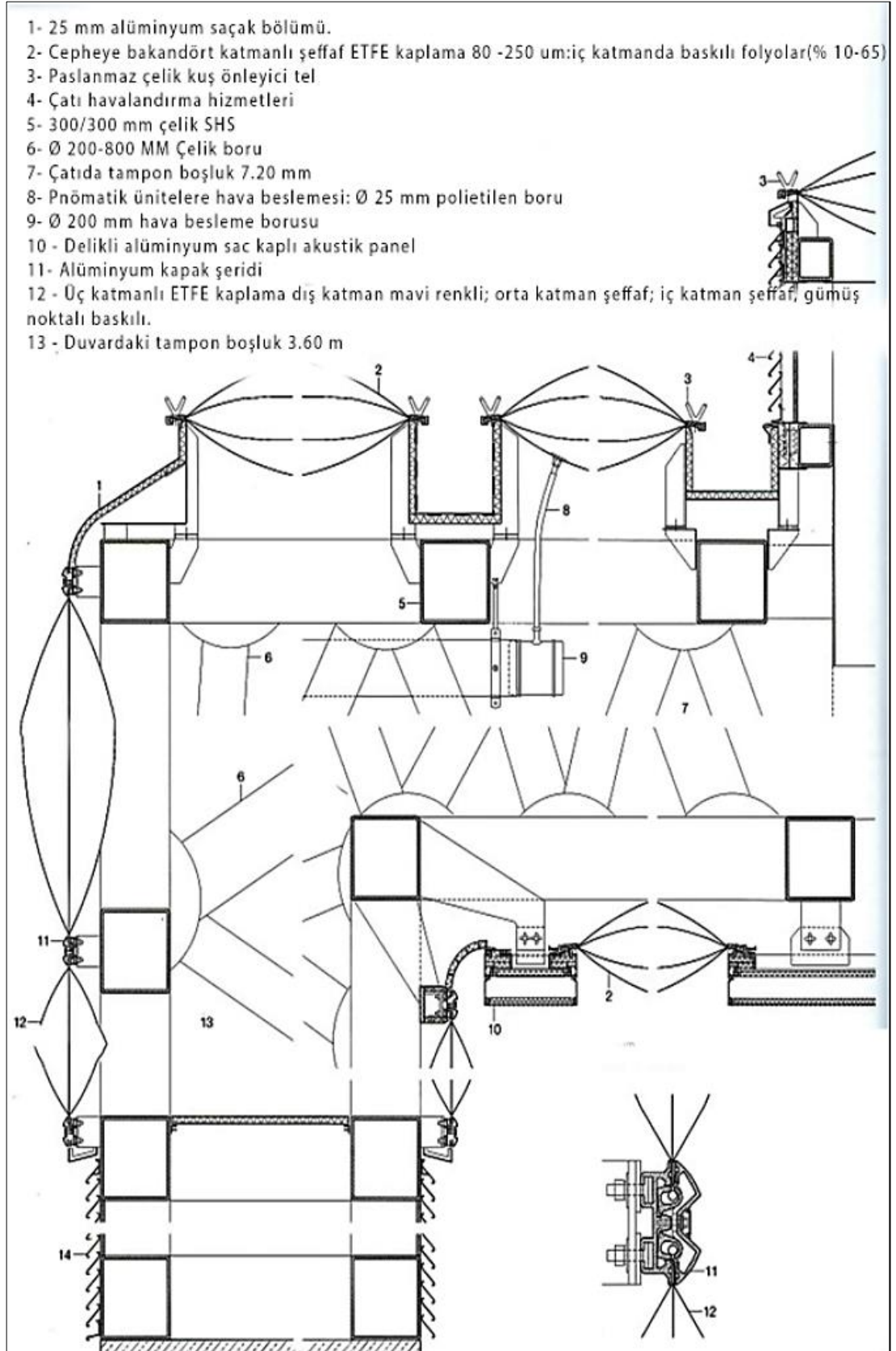


Resim 5.16: Ulusal Su Sporları Merkezi yapısının ETFE yastık kaplı çatısından içeriye giren doğal aydınlatma (Url-84).

Ulusal Su Sporları Merkezi Su Küpü, yüzme havuzlarını doğal olarak ısıtır, kendini aydınlatır, yağmur suyunu kullanır, depolar ve dünyanın en büyük sismik g  lerinden bazılarında direnç gösterebilmektedir. Ayrıca Su Küpü'n n tasarımı ve yapımı, ekolojik çevreyi iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Olimpiyatlar  ncesinde Pekin'in  evre kalitesini büyük  l de iyileştirmeye yönelik ulusal bir hareket başlamıştır. Su Küpü, ikonik Pekin binaları açısından, Tiananmen Meydanı  vresindeki geleneksel anıtsal komünist mimariden, kaynakları korumak, daha hassas ve sürdürülebilir inşa etmekle ilgili geleceğe gerçek bir geçişi temsil etmektedir.



Resim 5.17: Pekin 2008 Olimpiyatlar'ı sırasında Ulusal Su Sporları Merkezi yapısının içeriden görüntüsü (Url-84).



Şekil 5.5: Su Küpü Projesi'nin detay çizimleri (Url-86).



Resim 5.18: Ulusal Su Sporları Merkezi fuaye alanından bir görsel (Url-87).

Su Küpü, yeni teknoloji ile üretilen LED ışık kaynakları ile aydınlatılmaktadır. Son derece düşük çözünürlüklü bir ekranı simüle etmek için küpün aydınlatmasını kullanmak mümkündür. Dinamik aydınlatma, farklı aydınlatma senaryo efektlerine izin vermektedir. Yapının tamamına 450.000'den fazla LED yerleştirilmiştir. LED aydınlatma armatürleri, yapının yarı saydam duvarlarının içinden kabarcık tasarımlarını aydınlatarak tüm binanın olağanüstü renk değiştiren LED ışığıyla parlamasını sağlamaktadır. Oldukça az enerji tüketirken dramatik görsel etkiler yaratmanın mümkün olması ETFE malzemesinin ve yastık sistemlerinin verdiği avantajlardandır.

Beş katlı 31 m yüksekliğindeki dikdörtgen prizma formuna sahip bu yapı, 70.000 m² kullanım alanına sahiptir. ETFE yastık cepheler her gece Çin yaşamının geleneksel ve çağdaş yönlerini yansıtmak için tasarlanmış bir ışık gösterisiyle aydınlatılmaktadır. Renkler ve hareket kalıpları, eski Çin felsefi sistemine ve Çin halkının sosyal medya aracılığıyla ifade edilen günlük ruh haline dayanmaktadır.



Resim 5.19: Ulusal Su Sporları Merkezi yapısının kuzey batı köşesi (Url-85).

Geniş, düz çatı, yastıkların ters dönmesine ve bozulmasına neden olan göllenme riski taşımaktadır. Bunu önlemek için, her bir yastık, içine düzenli aralıklarla drenajların dâhil edildiği bir oluk ile çevrilidir. Her çatı yastığındaki iç hava cebi, daha yüksek bir basınçta kalmasını sağlamak için dış ceplerden ayrı bir hava şişirme tüpü ile beslenir ve ayrıca bir arıza durumunda yedek bir şişirme sistemi sağlanmaktadır.



Resim 5.20: Su Küpü'nün farklı LED ışıklandırmalarla gece aydınlatmasında sunduğu görsel şölen (Url-84).



Resim 5.21: Yapı içerisindeki galeri boşluğu ve bekleme alanından görseller (Url-87).

Tasarım ekipleri, havuz formunda iyileştirme, su filtreleme ve görsel-işitsel projeksiyonlarla ilgili olarak Federation Internationale de Natation (FINA) ile yapılan araştırma ve müzakereler dâhil olmak üzere, küresel bilgi kaynaklarını bir "hızlı havuz" tasarlamak için kullanmıştır. Havuz, olimpiyatlardan altı ay önce, yarışma düzeyinde testler ve yarışmacı koşullarının optimizasyonu sağlamak için açılmıştır.

Olimpiyat Oyunlarında yapının tasarımı ziyaretçileri ve sporcuları şaşırtmış ve ilham vermiştir. Havuzda açılan olimpiyat etkinliklerinde, toplam 42 altın madalya verilmiştir. 32 Olimpik yüzme etkinliğinin 21'inde en hızlı zamanlar rekorları kırılmıştır. Şu anda dünyanın en hızlı havuzu olan havuzda toplam 22 dünya rekoru kırılmıştır (Zou, 2010). Açılışından bu yana geçen kısa sürede, Su Küpü 21. yüzyılın ikonik projelerinden biri haline gelmiştir. Yapı Çin'in kendisini dünya spor etkinlikleri için liderlik amacı kurma kararlılığını sergilemektedir.

5.3. KINGSDALE OKULU, İNGİLTERE, LONDRA

Mimari yapıların kullanıcı üzerindeki etkisi Kingsdale Okul binasıyla daha iyi anlaşılabilir. Kingsdale Okulu ilk olarak 1950'li yıllarda Londra'da inşa edilmiştir. 2003 yılında yenilenene kadar, bu yarım asırlık bina oldukça kötü durumda kalmıştır. (Resim 5.22). Bu durum öğrencilerin performans ve davranışını da etkilemiştir. Okulun yenilenmesi, mimari ortamın öğrenci performansı üzerindeki etkisini gözlemlemeyi amaçlayan Mimarlık Vakfı'nın Okul İşleri girişimi sayesinde olmuştur. Bu yenileme projesi, Eğitim ve Beceriler Departmanı tarafından finanse edilmiştir. Okulu yeniden tasarlamak işi De Rijke Marsh Morgan Architects'e verilmiştir. Projenin yapısal mühendisliğini Michael Hadi Associates gerçekleştirmiştir (Url-93).



Resim 5.22: Üst görselde Kingsdale Okulu'nun yenilenmeden önceki hali, alt görselde yenilenmeden sonraki hali (Url-91),(Url-92).

Okulun merkezinde 80 m uzunluğunda ve 40 m genişliğinde büyük bir avlu bulunmaktadır. Renovasyonun önemli bir parçasını oluşturan bu avlu, Vector Foiltec tarafından sağlanan ve tasarlanan ETFE folyolarla çatı ile kaplanmıştır. Sığ boru şeklindeki 196 mm çapa sahip çelik boru kemerler avluya yayılarak ETFE yastıkları desteklemektedir. Çelik taşıyıcı sistem, 36 metrelik açıklık geçmektedir. Yaklaşık 4 metre aralıklı çelik kiriş konstrüksiyona 38 m uzunluğunda, 1,51x1,26 m'lik ETFE yastıklar yerleştirilmiştir.



Resim 5.23: Kingsdale Okulu avlu üstü ETFE yastıklı çatısı (Url-91).

ETFE yastıkların hafifliği ve destek yapısı, mevcut binanın yapısı tarafından kapsamlı bir güçlendirme olmaksızın kolayca desteklenebilmektedir. Avlu, yastıkların hangi hava bölgesi şişirildiğine bağlı olarak değişen miktarlarda ışığı engelleyen, üst iki katmanında desenli FEP (Florlu Etilen Propilen) baskılı, üç katmanlı ETFE yastıklarla kaplıdır. Orta folyo pnömatik olarak dış folyoya doğru kaydırılabilir ve bu sayede güneş ışığının kontrolü sağlanabilmektedir. Üç katmanlı ETFE yastıklarda her iki hava bölgesi şişirildiğinde avluya maksimum ışık geçirgenliği %50, sadece üst bölgesi şişirildiğinde minimum ışık geçirgenliği %5'tir.



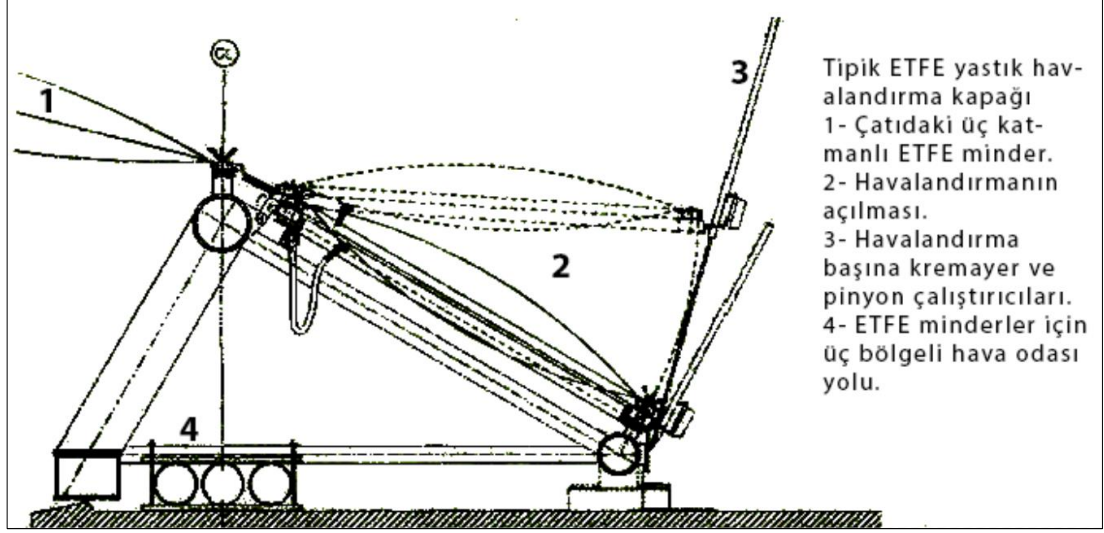
Resim 5.24: Kingsdale Okul avlusunda ETFE folyoların yarı ışık geçirgen davranışı görseli(Url-94).



Resim 5.25: Kingsdale Okulu avlusunda sosyal etkinlik (Url-91).

Folyo katmanlarının dinamikliği ve kullanımıyla iklim kontrolü gerçekleştirilebilmektedir. Kışın, yaza göre daha fazla ısı kazanımı sağlanarak avludaki sıcaklıklar düzenlenebilmektedir. Avlu için zemin seviyesindeki hedef sıcaklıklar kışın 14°C'den az, yazın 30°C'den fazla değildir. Güneş ısı kazanımı,

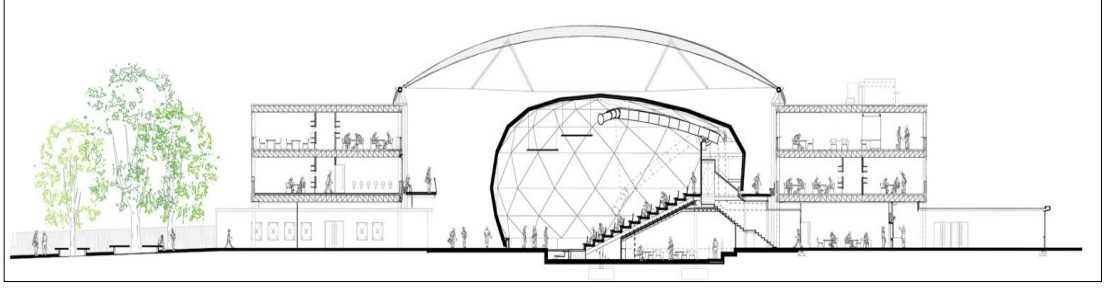
çatı ile bina arasındaki bir havalandırma açıklığı bandı vasıtasıyla çatı altındaki sıcak havanın dışarıya taşmasına izin verilerek kontrol edilmektedir. Sıcaklık kontrolü, hava ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak açılıp kapanmak üzere pistonlar tarafından otomatik olarak kontrol edilen, çatının her iki ucuna altı adet 12x2,5 m'lik ETFE kapakların yerleştirilmesiyle desteklenmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Kingsdale Okulu avlusundaki ETFE yastıklı çatının havalandırma kapakları şematik çizimi (Url-90).



Resim 5.26: Kingsdale Okulu avlusundaki ETFE yastıklı havalandırma kapakları (Url-90).



Şekil 5.7: Kingsdale Okulu'nun avlu ve oditoryum kesit görseli (Url-91).

Atriyumun ETFE yastıklarla kaplanması, hem eski binanın enerji verimli bir şekilde yenilenmesini hem de öğrenciler ve öğretmenler için yeni iç mekân oluşturarak, ekonomik ve sosyal kazanımlar elde etmesini sağlamıştır. ETFE yastık örtü sistemlerinin enerji verimliliği açısından sunduğu alternatiflere değil, aynı zamanda insanların buluşup çalışması için geniş, iyi korunan ve rahat alanların oluşturulmasına da bir örnek teşkil etmektedir. ETFE yastık örtü sistemlerinin hafifliği, neredeyse tüm güneş spektrumunu içeri alan ışık geçirgenliği ve akustik şeffaflık sayesinde, avlunun iç alanında yüksek konfor ortamı oluşturmaktadır.



Resim 5.27: Kingsdale Okulu avlu üstü ETFE çatısının üstten görünümü (Url-92).



Resim 5.28: Kingsdale Okulu'nun kuş bakışı görseli (Url-95).



Resim 5.29: Kingsdale Okulu ETFE yastık kaplı sıralı çatısı (Url-91).

5.4. PIOTRKOWSKA STREET MERKEZ TRAMVAY İSTASYONU, POLONYA, ŁÓDŹ

Tramvay duraklarıyla meşhur Łódź şehrinde, birbirinden bağımsız 4 ana tramvay hatlarını, şehir merkezinde Piotrkowska caddesi üzerinde birleştiren Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu, bekleyen yolcuların konforunu sağlamak ve onları kötü hava koşullarından korumak için, FOROOM mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Strüktürel mühendisliğini Buro Happold'un üstlendiği Piotrkowska Tramvay İstasyonu, dört tramvay platformunu da içeren bir çatı kanopisinden oluşmaktadır. Etkileyici ve dikkat çeken tasarımı nedeniyle şehirde modernleşmenin merkezi olarak görülmektedir. Turist ve vatandaşların ilgi odağı olan strüktür yalnızca topluma hizmet etmesi için değil şehrin tarihi bölgesine dikkat çekmek ve popülaritesini arttırmak üzere tasarlanmıştır.



Resim 5.30: Piotrkowska Tramvay İstasyonu, tramvay hattı ve altındaki tünel (Url-98).

İlk olarak karmaşık bir geometriye sahip ve renkli cam panellerden yapılmış bir çatı içeren çelik bir yapı olarak tasarlanan Piotrkowska Tramvay İstasyonu Merkezinde, güvenlik sorunları oluşturabileceği endişesiyle cam kullanımı tercih edilmemiştir. Su geçirmez bir çatı elde etmek için cam destekli yapının

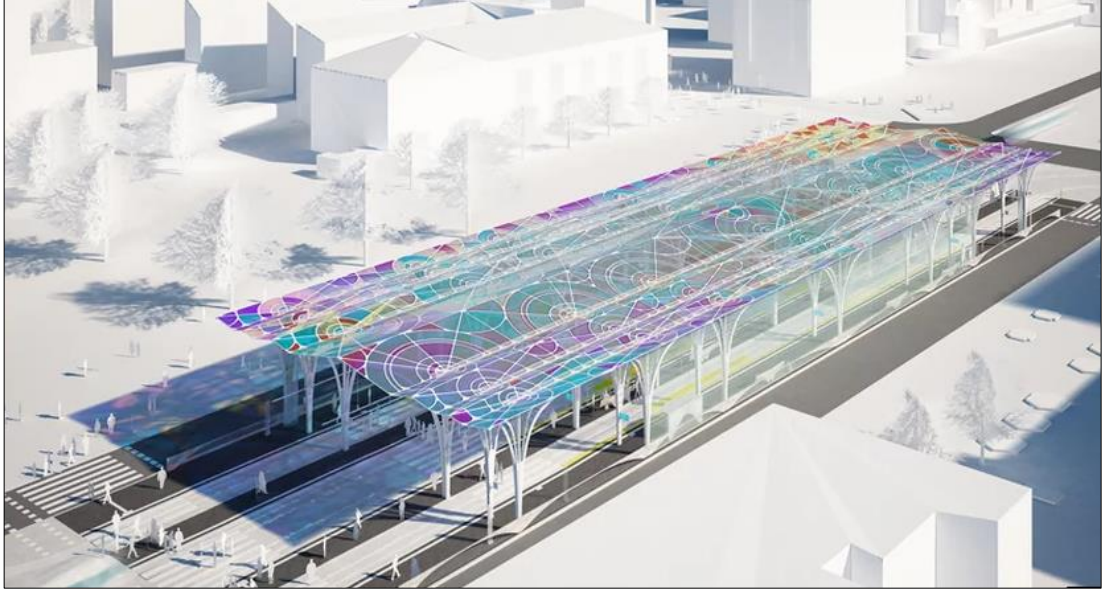
bükülmelerindeki rijit sınırlamalar engel oluşturmaktadır. Cam malzemesinin ağırlığını taşıyabilmesi ve geniş açıklıkları geçebilmesi için hantal, sert taşıyıcı elemanların kullanılması gerekmektedir. Bu durumda çok hafif ve zarif mimari tasarım zarar görmektedir. Ayrıca cam montajı ve cam panellerin karmaşık desenler halinde kesilmesi, çok verimsiz ve maliyetli olacağından tercih sebebi olmamasının nedenlerini oluşturmuştur.



Şekil 5.8: Piotrkowska Tramvay İstasyonu, renklerin kullanımını anlatan görsel (Url-97).

Buro Happold mühendislik bu karmaşık, renkli tasarıma tüm geçerli sorunlara çözüm oluşturabilecek ve optimizasyonu sağlayabilecek ETFE malzemesini önermiştir. FOROOM tarafından sunulan planların soyut ve deneysel doğası nedeniyle, gelişmiş parametrik modelleme teknikleri uygulanarak form üzerinde denemeler ve karmaşık tasarım geometrilerinin kavranabileceği çözümler üretilmiştir. Piotrkowska Caddesi Tramvay Merkez İstasyonu, şehrin tarihi bir unsuru olan Art Nouveau mimarisinden esinlenmiştir. Yükselen beyaz çelik kolonlar, sütun gibi karakteristik özellikleri taşımaktadır.

Form bulma ve çeşitlilik arama sürecinde farklı yazılımları birbirine bağlayarak, tamamen parametrik bir 3D model geliştirilmiştir. Modelde, sütun en ve boyları, çatı eğimleri; kemer açıları, eğimleri, uzunlukları ve tüm elemanların enkesitleri dâhil hemen hemen tüm geometrik ölçüler değişken parametrelere ayarlanmıştır. Avan proje sırasında yürütülen geometrik çalışmaların değişkenliğiyle, mimari tasarımlar arasında bir optimizasyon sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 5.9: Piotrkowska Merkez Tramvay Durağı'nın mimari konsept aşamasından render görseli (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).



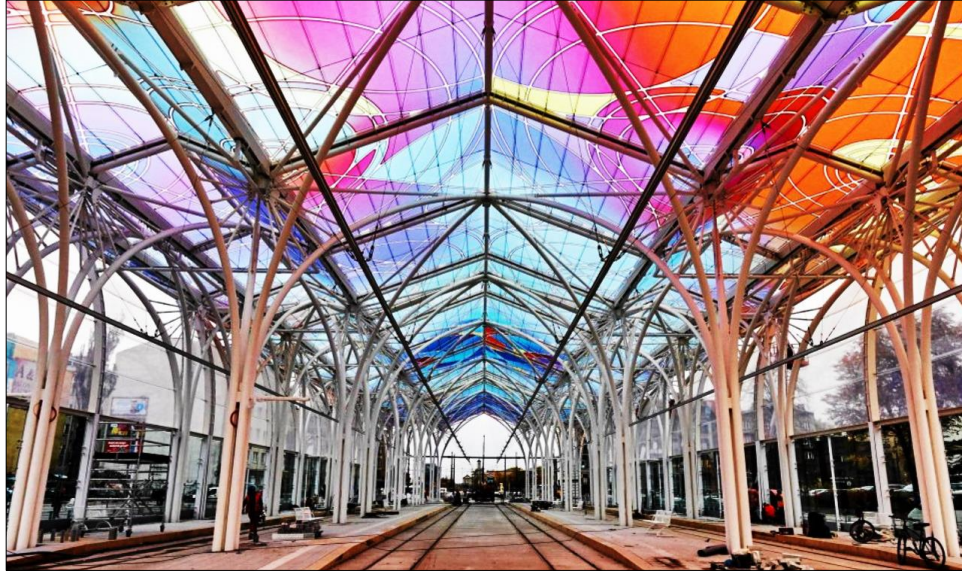
Şekil 5.10: Piotrkowska Merkez Tramvay Durağı kanopi çatısı için tasarlanan desen örneği (Url-97).



Şekil 5.11: Piotrkowska Tramvay İstasyonu , Polonya (Url-96).

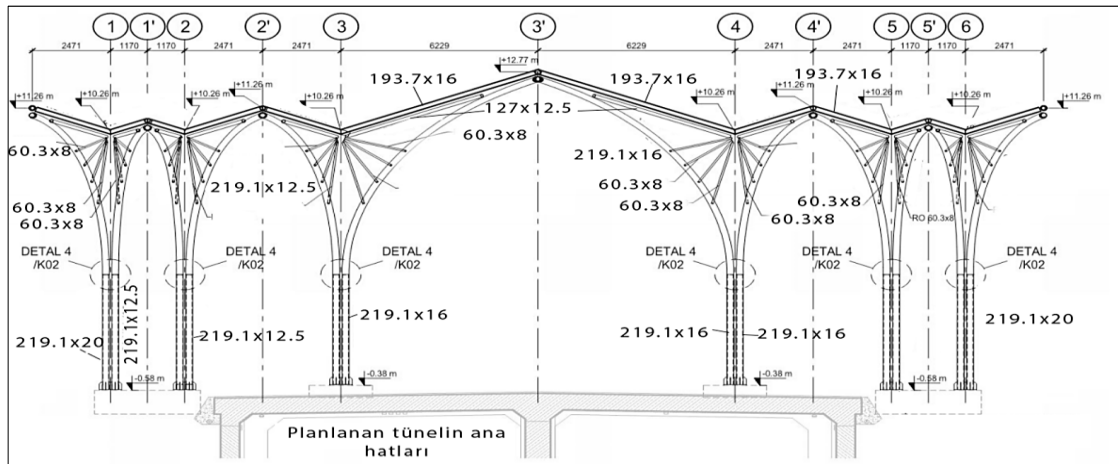
Çatı kısmında, Łódź'un yeni logosunun renkleriyle bağlantılı olarak mavi, sarı, mor ve kırmızı renklerde baskılı tek katmanlı 250 µm kalınlığında ETFE folyo kullanılmıştır. Renkli şeffaf özellikleriyle ETFE folyo kaplı kanopi modern vitray örneği temsil etmektedir. Yan cepheler plastik şeffaf bir membrandan yapılmıştır. Taiyo Europe Makmax tarafından Japonya'da üretilen toplam 3000 m² alana sahip ETFE folyolar Łódź'a ulaşmadan önce İtalya'da renklendirilme işlemi uygulanmıştır. Bu yapının dünya çapında benzersiz kılan en temel özelliği, ETFE folyo üzerine basılan renkli desen teknolojisidir (Url-99).

Piotrkowska Tramvay İstasyonu kanopisi, sanatın ve teknolojinin birleşiminden meydana gelen, Modern Art Nouveau akımı ilham kaynağı olmuş dikkat çeken bir mimari eserdir. ETFE'nin geniş bir sıcaklık aralığında yüksek bir korozyon direncine ve mukavemete sahip olması, kışın Polonya'nın dondurucu hava şartlarına ideal bir çözüm haline getirmektedir. (Url-89).

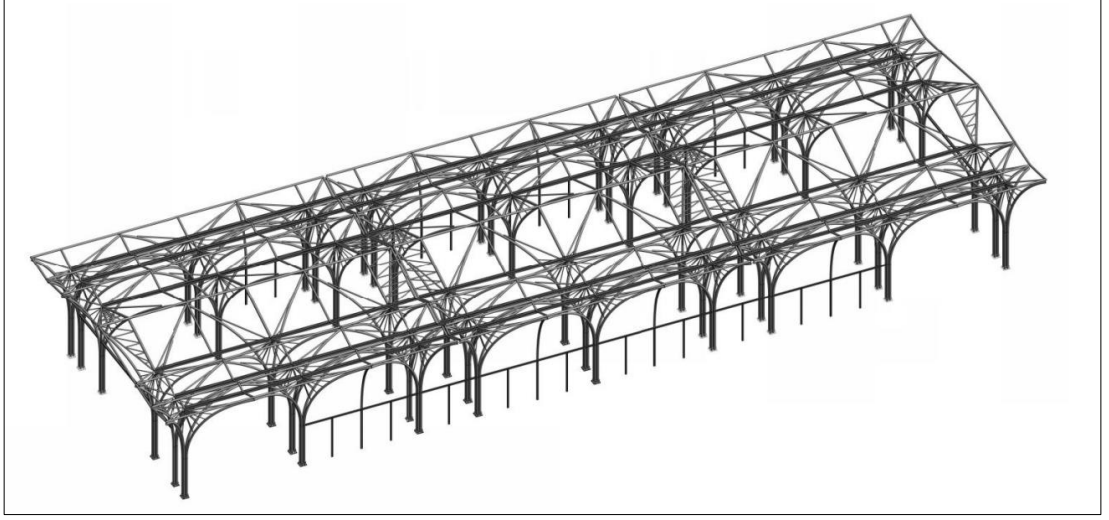


Resim 5.31: Piotrkowska Tramvay İstasyonu kanopi altından görünüşü (Url-98).

Piotrikowska Tramvay İstasyonu CHS profillerinden meydana getirilen yaklaşık 100 m uzunluğunda 32 m genişliğinde ve 13 m yüksekliğinde olan çelik bir strüktürdür. Her biri 33 m uzunluğuna sahip iki enine tasarlanan üç benzer parçadan oluşmaktadır. Dört tramvay hattını ve dört platformu içine alan çatı, 2.3 m den 13.2 m'ye kadar aralıklı sıralarla düzenlenmiş sütun ve kemerlerle desteklenmektedir. Yapının iki orta sütun sırası tramvay güzergâhı üzerinde destek bulurken dışta kalan sütunlar kendi temellerinden oluşmaktadır. Sütun profilleri 219.1x16 mm, kemer makas araları 60.3x8 mm, mertekler 193.7x16 mm ölçülerinde çelik borulardan oluşmaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu'nun kesit çizimi ve profil ölçüleri (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).



Şekil 5.13: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu yapısının 3 boyutlu görünümü (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).

Łódź şehrinin sert hava koşullarında ETFE folyoların rüzgâr ve kar yüküne karşı direnci önem oluşturmaktadır. Polonya'nın karakteristik rüzgar hız değeri 20 m/s, standart 50 yıllık bir dönüş süresi için kar yükü $0,9 \text{ kN/m}^2$ 'dir (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).

Çatı strüktürü dikkate alındığında, çatıdaki kar yükü girintilerde $1,49 \text{ kN/m}^2$, mahyalarda $0,86 \text{ kN/m}^2$ arasında değişmektedir. Yapının tasarımı gereği kar yükünün ömrü boyunca varsayılan sınırları aşması pek olası görülmemektedir. Ancak bu tür riskler tamamen ortadan kaldırılamayacağı için ek olarak, tasarımda kar birikiminin izlenmesi şart koşulmuş ve bir kar temizleme stratejisi geliştirilmiştir. Tüm kanopinin uzunluğu boyunca uzanan ana oluklar üzerinde bulunan dört platform ile, bir makaslı kaldırıcıdan çatının tepesine teknik erişime izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Buna ek olarak, tüm çatıya tırmanma kolları ve güvenlik hatları dahil edilmiştir. Kar temizleme amacıyla, paralel oluklar arasındaki çatıya keskin kenarlarında plastik koruyuculu alüminyum merdivenler yerleştirilebilmektedir. Farklı kar türlerini hesaba katılarak bu kar katmanlarının kalınlıkları dikkate alınmıştır. Sınırlar, dikkate alınan sonuçların ortalamasının, ilgili yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılmasıyla elde edilen kar yükü değerine göre verilmiştir.

Çizelge 5.1: Farklı kar türleri ve kar katmanlarının kalınlıkları (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).

Kar tipi	Hacim ağırlığı (kg/m³)	Kalınlık (m)
Taze	100	1,8
Yerleşik (düşükten birkaç saat/gün sonra)	200	0,9
Eski (düşükten birkaç hafta/ay sonra)	350	0,5

Sapmayı sınırlamak ve göllenmeyi önlemek için membranın altına çelik kablolar yerleştirilmiştir. Kablolar, uzun eksenine paralel olarak tüm kanopi boyunca ortalama 80 cm aralıklı ve 2,85 m veya 6,40 m uzunluğunda paslanmaz çelik spiral tellerden oluşmaktadır. Daha uzun bölmelerin her birinde, membranın kontrolüne daha fazla yardımcı olmak için uzunlamasına kablolar için bir ara destek sağlayan ek bir dikey kablo yerleştirilmiştir (Resim 5.32). Kablolardaki ilk ön gerilim kuvveti, kritik yük kombinasyonları altında 40.0 kN'ye ulaşan tepe gerilimleri ile birlikte 10.0 kN'dir. (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).

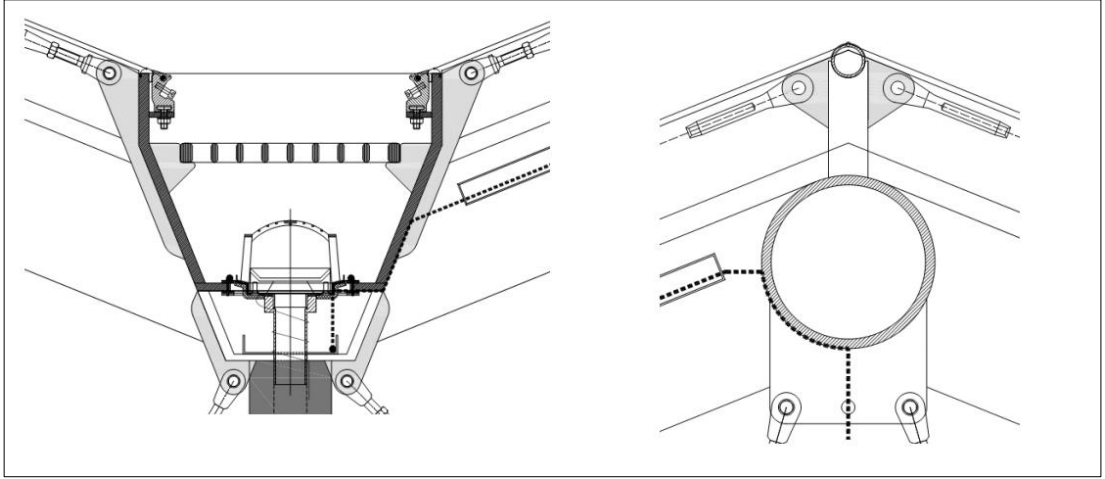


Resim 5.32: ETFE folyo altındaki destek gerilim kabloları (Url-98).

Kar temizleme için erişim sıklığını en aza indirmek, böylece membranın hasar görme riskini ve operatörler için herhangi bir tehlikeyi azaltmak için, olukların her biri, gerektiğinde karın erimesine yardımcı olmak için bir ısıtma teli ile donatılmıştır. Daha sonra eriyen karlar kanalizasyona giden drenaj borularına beslenmektedir (Resim 5.33).

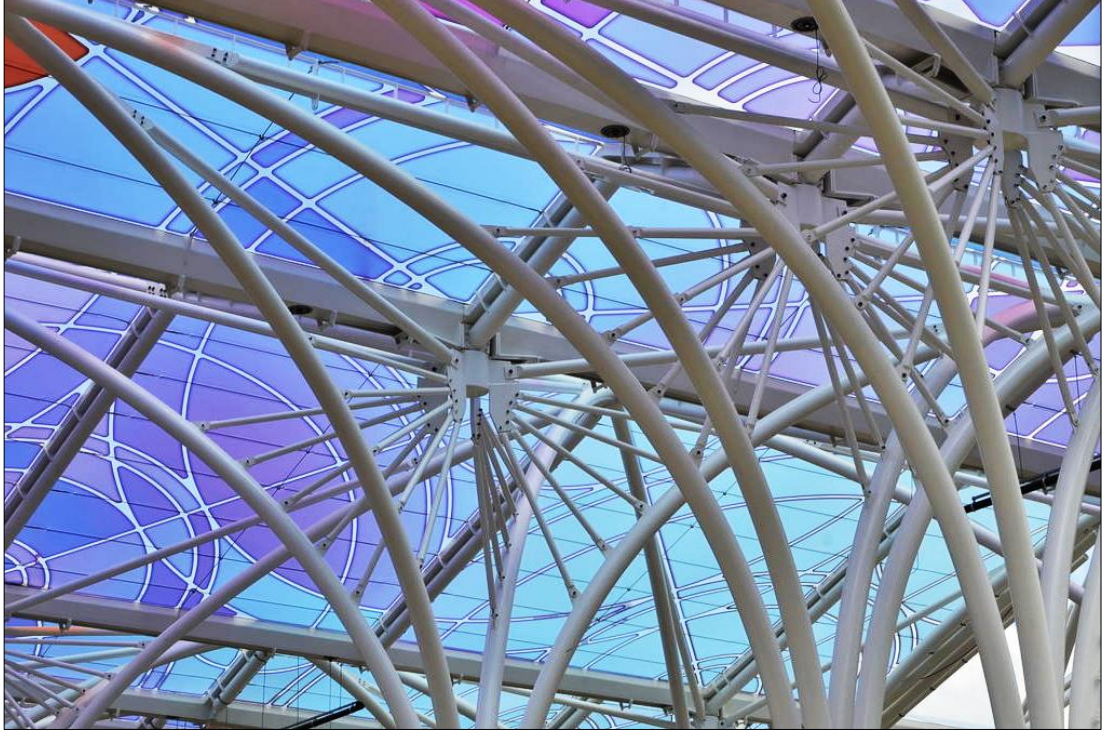


Resim 5.33: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu ETFE örtü yapının üstten görünümü ve oluk yapısı(Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).



Şekil 5.14: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu oluk detay çizimi (Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P., 2016).

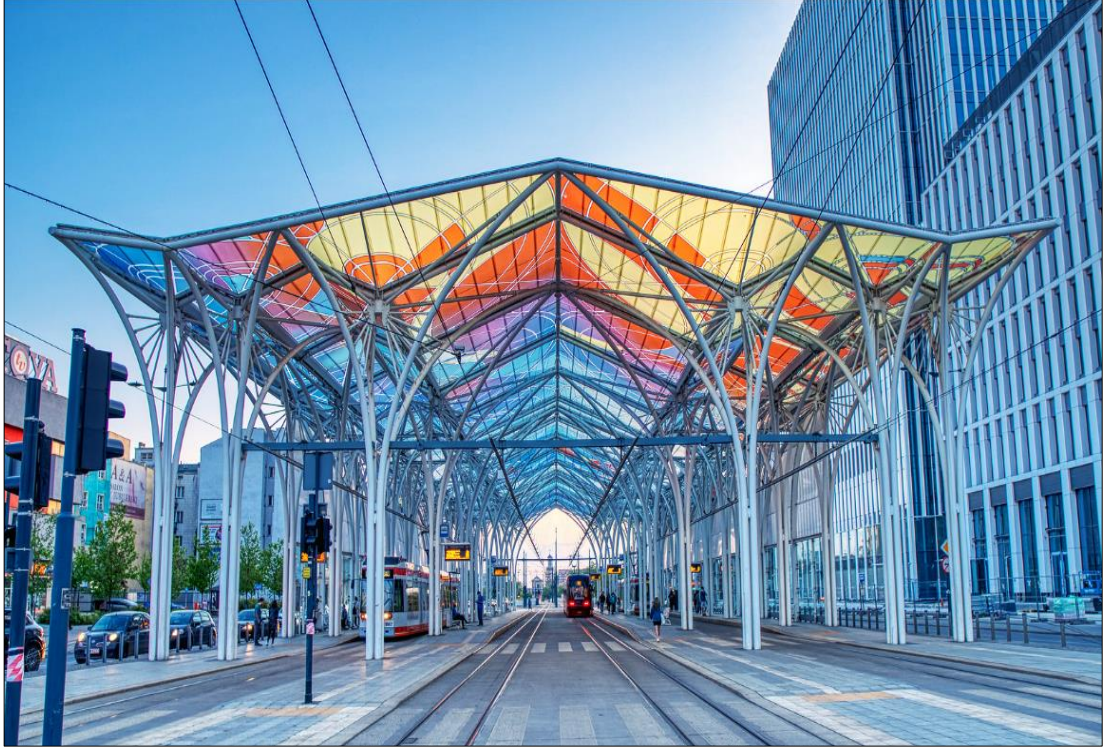
Sonuç olarak ağır cam paneller alınlmamış tek katmanlı ETFE'ye dönüştürülmüştür. Tek katmanlı gerilmiş ETFE folyoların kar yüküne karşı direncini ve genellikle geçerli bir durum olduğu bir iklimde uygulanmasıyla ilgili faydalar ve riskler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu, parametrik tasarım tekniklerinin avantajlarını ETFE sistemlerle entegresinin bir örneği teşkil etmektedir.



Resim 5.34: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu çelik strüktür yapının yakın çekimi (Url-102).



Resim 5.35: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu yan şeffaf cepheler (Url-98).



Resim 5.36: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu ön cepheden görünüşü (Url-101).



Resim 5.37: Piotrkowska Merkez Tramvay İstasyonu, Polonya (Url-98).

SONUÇ

Mimarlık tarihinde insanoğlunun yerleşik hayata geçişiyle, çadır yapıları oluşturan hayvan derisi, örgü ve hafif malzemelerden, daha sağlam ve rijit geleneksel malzemeler eksenine doğru yön verilmiştir. Yapı kavramı, bu malzemelerin dayanıklılığıyla ve uzun zaman dilimlerinde konum değiştirmemesiyle yorumlanmıştır. Hafif strüktürle alakalı dayanıklı olmama ve istikrarlı olarak konumlanamama algısı mimari kültürde uzun zamanlar boyu hüküm sürmüştür. Çadır yapıların modern ve yenilikçi yaklaşımı olarak karşımıza çıkan asma germe yapı sistemleri, geleneksel karkas strüktür anlayışına farklılıklar getirerek, çekme gerilim kuvvetlerinin devamlı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Yapıları ayakta tutan strüktürün malzeme ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Teknolojinin devamlı geometrik artış hızı göstermesiyle, yapılarda kullanılan malzemelerde çeşitlilik ve geleneksel malzeme kültüründe yeni kazanımlar sağlanmaktadır. Polimer bazlı ürünlerin keşfedilmesi, günümüzde kullanılan birçok araç gerecin icadına ve yumuşak malzeme algısı üzerindeki olumsuz düşüncelere farklı bir boyut kazandırmıştır. Öyle ki ETFE, PVC, PTFE gibi polimer bazlı malzeme türlerinin genel özellikleri, geleneksel olarak kabul gören ahşap, çelik, taş, cam malzeme türlerine göre avantaj ve dezavantaj sonuçlar gösterebilecek kıyaslanmalar yapılabilmektedir. Malzeme çeşitliliğinin artışı, yapı strüktüründe farklı yönelimlere, maliyet ve fonksiyonel verim açısından optimizasyonel çalışmalara neden oluşturmaktadır. Asma germe yapı sistemlerinin yaşam süresi devamlılığının sağlanmasıyla yapı kavramındaki rijit malzeme kullanım kültürü evrimsel bir süreç girmiştir. Bu tür polimer bazlı ürünlerin malzeme özellikleri bakımından diğer geleneksel malzemelere kıyasla hafif ve esnek bir formda bulunması, yapıların genel yük problemlerini azaltabilecek yeni fırsatlar doğurmuştur. Aynı zamanda strüktürel yapıda kullanılan malzemelerin fiziksel dirençlerinden kaynaklı estetik tasarım kısıtlamaları bu esnek malzeme türleriyle, kararlı denge formu prensipleri içeriğinde gevşetilmiştir. Asma germe yapı sistemleri kaotik hassas denge yükleriyle çalıştığı için yapı elemanları arasında küçük yer değiştirmeler tüm yapı strüktüründe bozulmalara yol açabilmektedir. Geleneksel malzemelerle inşa edilmiş bir betonarme

yapıdaki strüktürel tasarımın, üstüne sıva, alçı, boya, ahşap, mermer gibi kaplamaların gelmesiyle okunması güçlük oluşturabilmektedir. Ancak asma germe yapı sistemlerindeki taşıyıcı elemanlarda ve arasındaki yük aktarım ilişkisinde kullanılan malzemenin birincil düzeyde doğrudan görülebilmesi yapının strüktürel olarak okunmasına yardımcı olabilmektedir. Bu durum mimari estetik kazanımlar getirmektedir.

Asma germe yapı sistemlerinde hafif taşıyıcı olarak görülmesinin en önemli sebeplerinden biri, çekme kuvvetlerini ileten temel eleman örtü sistemlerinin membran malzemelerden meydana gelmesidir. Asma germe yapı sistemleri ve benzeri strüktürel tasarımların genelinde, kullanılan membran malzemesinin çeşidi ve kullanım şekli tasarımın cinsini ortaya koymaktadır. Kullanılan membran kumaş türü, yapının devamlılığına, fonksiyonuna ve türüne yön verebilmektedir. Membran kumaş çeşitliliği ve özellikleri, teknolojik ivmeyle artış göstermektedir. Doğal geleneksel malzemelerle ortaya konulan yapıların çevre sorunlarına ilişkin genel sorunlarına, sentetik esaslı yapay malzemeler destek ve çözüm oluşturabilmektedir. Halihazırda var olan yapılara veya alışagelmış yapı strüktürlerine entegre edilerek mimarlıkta yer edinmiş sentetik kumaş ve malzemelerin, yapının doğrudan kendisini oluşturacak asma germe yapı sistemlerine ve türevlerine evrimi, 20.yy sonlarına doğru hız artışı göstermiştir. Membran kumaşların yapılarda veya yapı olarak kullanılması süreci zamanla birer asma germe yapı sistemi kültürü oluşturmaktadır. Tasarımcıların malzeme yönelimi, yapı için gerekli özelliklerin sağlandığı, davranış biçimlerinin bilinirliği yüksek ve ortak paydada buluşabileceği PVC, ETFE, PTFE gibi belli başlı kumaş türlerinde yoğunlaşmıştır. Asma germe yapı sistemlerinde ve türevlerinde kullanılan membran kumaşların dezavantaj oluşturabilecek özelliklerine laminat kaplama teknolojileri uygulanarak membran kumaşa, dayanıklılık, alev yürütmezlik, yırtılma mukavemeti ve süneklik değerlerini iyileştirme, güçlendirme ve kazandırma söz konusu olabilmektedir. Malzemelerin bu özelliklerinin test edilmesi ve uluslararası kurumlarca onaylanması, yapılarda kullanılabilirlik derecelerini sınıflandırmaktadır. Bu değerlere göre yapılarda membran kumaşların kullanım şekli ve türü değişiklik gösterebilmektedir. Membran kumaşların, kemer destekli, birincil destekli, tepe ve çukur, direk destekli, sınır gerilmiş, pnömatik ve

kablo ağı sistemlerce farklı formlarda kullanımına rastlamak mümkündür. Membran kumaş yapıda örtü olarak taşıyıcı özellik gösterdiğinden, imalatta dokuma şekli, kesimi ve montaj usulleri yapının strüktürüne direkt etkisi olmaktadır. İlk başlarda güneş ışıklarından korunma amacıyla fonksiyonellik kazanan asma germe yapı sistemleri, membran kumaş çeşitlerinin artması ve özelliklerinin geliştirilmesiyle, ısı, ışık ve hava kontrollerinde ve iklimlendirme çalışmalarında aktif rol almaktadır. Bu durum asma germe yapıların türevlendirilmesine, farklı form ve tasarımlara yol açmaktadır.

Farklı kullanımlara ve olanaklara en yakın davranış gösteren çözümlü ve atkıdan oluşmamasına rağmen kumaş olarak sınıflandırılan, termoplastik ürün olan ETFE kopolimer malzemesi, önemli bir örnek teşkil etmektedir. Kimyasal özellikleri bakımından oldukça çeşitli kullanımlara yetkinlik sağlayabilen ETFE, mimarlıkta mucizevi malzeme türü olarak görülmektedir. ETFE'nin yüksek ışık geçirgenliği, kumaş türlerinin genel kullanım fonksiyonundan farklı fonksiyonlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Yarı kristalin ve amorf yapısı sayesinde sünek davranışı, yapılarda organik tasarımlar için yüksek esneklik oluşturabilmektedir. Işık geçirgenliğinin ve yırtılma mukavemetinin yüksek olması esnek, şeffaf tasarımlarda kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Malzeme yapısındaki esneklik kullanım alanlarında da görülebilmektedir. Yüksek süne kabiliyeti ve yırtılmaya karşı direnci şişirilerek pnömatik olarak kullanılmasına da neden oluşturmaktadır. Boyutları değişiklik gösteren şişirilmiş ETFE yastık modülleri, karkas sistemlerce taşınarak yapı destekli veya kendinden ayaklı yapılar olarak tasarlanabilmektedir. Bu yapılarda üfleme makinaları yardımıyla yahut yay destekli kablolarla, yastık veya tekil ETFE folyoların öngerilimlerinin devamlılığı sağlanabilmektedir. ETFE'nin malzeme özellikleri ve hava ile pnömatik olarak kullanılabilirliğinden dolayı sünek ve hafif olması, geniş açıklıkların geçilmesinde, taşıyıcı gereçlerin az kullanılmasında yapıya ekonomik ve mühendislik açıdan avantajlar kazandırabilmektedir. Bu hafiflik malzemeye kolay taşınabilirlik kazandırarak lojistik ve montaj aşamalarında düşük karbon ayak izi salınımlarına olanak sağlamaktadır. ETFE folyoların hava üfleme makinesi destekli gerilimle kullanılmasında ortaya çıkabilecek enerji maliyetlerinin, uzun yıllar boyu kullanılmasıyla yalıtım ve enerji korunumundan amorti

edilebilmesine rağmen, kablolu sıkıştırılmış yay teknolojisiyle bu riziko da ortadan kaldırılabilmektedir. ETFE polimer bazlı ürün olmasına rağmen alev yürütmez özellikli olması ve yangın esnasında büzüşme sergilemesi, gerekli açık alanların açılmasına ve sıcaklık, duman tahliyesine yardımcı koşullar oluşturmaktadır. ETFE'nin geri dönüşümü yüksek, leke tutmaz, bakım maliyetlerinin düşük bir malzeme olması sürdürülebilir mimari için önemli bir yapı malzemesi anlamı taşımaktadır. ETFE'nin yüksek ışık geçirgenliği, hafifliği ve düşük U değerleriyle yalıtım ve geçirgenlik performansları, geleneksel cam malzemesine kıyasla oldukça kullanışlı ve verimlidir. Doğal aydınlatmanın, ısı ve ışık kontrolünün, baskılı folyolar kullanılarak hava basınçlarıyla istenilen seviyelerde ayarlanabilmesi, yapı içindeki gerekli konforun oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bu ayarlamalar otonom sistemlerce, duyarlı sensörler aracılığıyla otomatik olarak yapılabilmektedir. Ayrıca ETFE folyoların PV modülleriyle birlikte kullanımı da mümkündür. Böylelikle doğal aydınlatmanın maksimize edildiği, ısı konforunun devamlılığı otomatik olarak ayarlandığı ve kullanılan enerji miktarlarının güneş ışınlarıyla PV modüllerinde oluşturulan enerjiyle karşılandığı, yüksek enerji dostu ETFE, gelecek için önemli sürdürülebilirlik kavramlarınca ele alınması uygun olmaktadır. ETFE'nin, PV modülleri ve LED aydınlatma sistemleriyle birlikte kullanılarak mimari dekorasyonda cephe aydınlatması ve estetik görseller sunması mümkündür. ETFE'nin farklı sistemler ve malzemelerle uyumu, yenilikçi ve esnek tasarımlarda fiyat performans özgürlük alanları sunmaktadır. ETFE, şeffaflığı ve yüksek ışık geçirgenliği sayesinde dış mekânları iç mekânlara taşıyarak korunaklı doğal ortamlar sağlayabilmektedir. Biyom ve seracılık mimarisinde kullanılması, yüksek geçirgenlik ve bitkiler için gerekli doğal ortamın sağlayabildiği değerlerle alakalıdır. Bu tür biyom oluşturan yapılarda kullanılması, korozyon dayanımı ve UV direncinin yüksek olması, uzay ve hava araç gereçlerinde, hatta gelecekte uzay mimarisi için kullanım potansiyeli yüksek bir malzeme türü haline getirmektedir.

ETFE'nin esnek, ışık geçirgen ve hafif bir malzeme olması mimari yapılarda kullanılmasının başlıca nedenlerini oluşturmaktadır. ETFE, mimari tasarımların mühendislik çıkmazlarıyla çatışmasına çözüm önerileri ve optimizasyonları sağlayabilecek türden bir malzemedir. Kullanıldığı yapılarda biyomimesis etkilerinin

görünmesinin nedeni, ETFE malzemesinin su gibi akışkan, uyumlu, şeffaf bir davranış göstermesidir. ETFE, doğal koşulların, teknolojik imkânlarla değerlendirildiği yeni fırsatlar sunabilmektedir.

Günümüzdeki yapıların, barınmanın ötesinde birçok farklı fonksiyonu bulunmaktadır. İnsanoğlunun toplum hareketleri ve sosyallik ihtiyacının dış ortamlarda konforlu şekilde devam ettirilmesi adına örtü sistemleri geliştirilmiştir. Bu durum ilk olarak barınma merkezli karşımıza çıkan yapıların evrilmesine ve kompleks yapılara bürünmesine yol açmıştır. ETFE örtü sistemleri, geniş alanların barınması için gerekli doğal malzemelerin strüktürel yetersizliğine, geniş açıklıkların geçilmesini ve dış ortamı içeriye alan şeffaflığı sağlayarak çözüm oluşturmaktadır. ETFE, nefes alan sürdürülebilir bir yapı için gerekli konveksiyonel akımlara, enerji korunumuna ve üretimine, ısı yalıtımına, düşük bakım ve maliyet değerlerine hizmet verebilmektedir. ETFE ışık geçirgenliği yüksek ve ışığa duyarlı bir sistem oluşturabildiği için atriyum, çatı ve cephe giydirme olarak yapılara çelik kemerle, karkas destekle veya kablo destekli olarak uygulanabilmektedir. Esnekliği ve yırtılma mukavemetinin yüksek olması sayesinde tekil olarak tonoz, kubbe ve çadır formlarında da yekpare başarılı sonuçlar doğurmuştur.

Sonuç olarak ETFE'nin kullanıldığı yapılarda enerji korunumuna doğrudan katkı sağladığı görülmüştür. Malzemenin esnekliği ve yüksek ışık geçirgenliği, dış ortamla ilişkili ve kullanıcı popülasyonu yüksek yapılarda uyarlanabilirliğini arttırmaktadır. ETFE, estetik kaygıların uzun vadede düşük maliyetlerle karşılanabildiği yeni yapım tekniklerinin uygulandığı, sanat ve teknolojinin mimarideki izdüşümü olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji etkin binaların gün geçtikçe değerinin arttığı günümüzde, ETFE'nin %100 geri dönüştürülebilir, farklı malzeme türleriyle ve aydınlatma, enerji, HVAC sistemleriyle ilişkili kurabilmesi, sürdürülebilir mimari ve geleceğin şehirleri için önemli bir konumda yer almasını sağlamaktadır. Mimaride farklı fonksiyonlarda ve biçimlerde görülebilmesi, parametrik tasarımlarda ve BIM uygulamalarında kullanılmasıyla, ETFE için gelecek potansiyelinin ve mimarlığa katacağı değerlerin dikkate alınması gereken bir malzeme türü olduğu söylenebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Aburas, M., Flor, J.F., Abd-Alhamid, F. & Wu, Y.** (2020). "Virtual Reality as a Tool for Evaluating User Acceptance of View Clarity Through ETFE Double-skin Façades." *Energy and Buildings.*, vol. 231
- Adham, A.** (2019). "Potentials of parametric modeling for design and fabrication of membrane structures", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Akçalı, İ. D.** (2002). "Mekanizma Tekniği", Birsen Yayınevi, İstanbul, S:249
- Bakbak, D.** (2011). "Architectural Form Design and Structural Analysis of Tensile Structures.", Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep
- Bakbak, D., Özakça, M., & Göğüş, M. T.** (2016). "İnşaat Mühendisliğinde Hareketli Membran Yapılar İçin Tasarım Metodolojisinin Geliştirilmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Cilt 31, No 1, 73-86, Ankara
- Barnes, M., Dickson, M., Happold, E.,** (2000). "*Widespan roof structures.*" International Symposium on Widespan Enclosures. London: T. Telford.
- Baysal, B.** (1981). "Polimer Kimyası", ODTÜ, Ankara
- Berger, H.** (1996). *Ligth structures, Structures of Ligth, the Art and Engineering of Tensile Architecture*, Berlin, Almanya.
- Behling, S., Breising, C., Fuchs, A., & Ingenhoven, C.** (2010). *Innovative Design and Construction.*
- Bessey, R. P.** (2012). "Structural Design of Flexible ETFE Atrium Enclosures Using a Cable-Spring Support System", Theses and Dissertations, Brigham Young University, Utah.
- Bridgens, B., Gosling, P., Birchall, M.** (2004). Membrane material behaviour: concepts, practice & developments', *The Structural Engineer*, vol 82/14, pp.21-27
- Bridgens, B., Birchall, M.** (2012). Form and function. The significance of material properties in the design of tensile fabric structures. *Engineering Structures*, 44: 1–24
- Cai, J., Ma, R., Deng, X. & Feng, J.** (2015). "Static Behavior of Deployable Cable-Strut Structures", *Journal of Constructional Steel Research*, 119: pp. 63-75

- Candemir, K. U.** (2003). “Inflatable Pillow System as a Glass Substitute In Terms of Building Envelope.” A Dissertation Submitted to the Graduate School in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of, Izmir.
- Cardoso, D., Michaud, D. & Sass, L.** (2007). “Soft Façade: Steps into the Definition of a Responsive ETFE Façade for High-rise Buildings” Predicting the Future, 25th eCAADe Conference Proceedings, pp. 567-573
- Ceres Greenhouse Solutions.** (2021). “An Introduction to ETFE Glazing Material for Greenhouses”, https://www.youtube.com/watch?v=c9Z_UXNJ_-8&ab_channel=CeresGreenhouseSolutionsCeresGreenhouseSolutions
- Charbonneau, L., Polak, M.A., Penlidis, A.** (2014). “Mechanical properties of ETFE foils: testing and modelling.” *Constr. Build. Mater.* 60, 63–72
- Chen, Y. S.** (2016). “Testing and modeling tensile stress-strain curve for prestressing wires in railroad ties.” Master Dissertations. Manhattan, Kansas: Kansas state University.
- Construction Specifier.** (2021). “Breaking the Glass Roof: Building with ETFE Architecture”, <https://www.constructionspecifier.com/breaking-the-glass-roof-building-with-etfe-architecture/>
- Cremers, M. J.** (2011). “Energy Saving Design Of Membrane Building Envelopes”, *Structural Membranes 2011 - 5th International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures*, 147–157
- Cremers, M. J., Lausch, F.** (2009). “Flexible Photovoltaics Integrated in Translucent PTFE/Glass and Transparent ETFE Membrane Structures”, 5th User Forum Thin-Film Photovoltaics (OTTI), Würzburg
- Dansık, F., & Şahin, M.** (2015). Germe Sistemlerin Yapısal İlkeleri Giriş, 6. *Çelik Yapılar Sempozyumu*, Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı, 217-244, Eskişehir
- Dansık, F.** (1999). Force Density Method and Configuration Processing, Doktora Tezi, Surrey Üniversitesi.
- ETFE Multifunctional Modules.** (2021), “Architectural possibilities, needs and trends for ETFE-MFM”, etfe-mfm.eu/contents/publicationsitem/etfe-mfm-d232-architectural-possibilities-for-etfe-mfm.pdf
- Fang, R.** (2009). “The Design and Construction of Fabric Structures”, B.S. Project, Department of Civil and Environmental Engineering, Cornell University.

- Ferkis, V., Fuller, R. B. & E. J., Applewhite** (1975). “Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking”. Technology and Culture, Macmillan, Newyork.
- Flor, J.F., Wu, Y., Beccarelli, P. & Chilton, J.** (2017). “Dynamic environmental control mechanisms for pneumatic foil constructions”, University of Nottingham, Department of Architecture and Built Environment, E3S Web of Conferences 22, 00048
- Flüeler, P. H., Aller, D.** (2011). “Long-Term Expectations and Experiences of ETFEMembrane Constructions”, International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto - Portugal
- Greenovate! Europe.** (2021a). “Introduction to textile-based architecture”, https://www.youtube.com/watch?v=PNm7KX27jX8&ab_channel=Greenovate%21EuropeGreenovate%21Europe
- Greenovate! Europe.** (2021b). “ETFE Multifunctional Modules for Sustainable Façade Lighting”, <https://www.youtube.com/watch?v=9E9iWST0YHM>
- Güzel, N. O.** (2006). “Saydam Giydirme Cepheler”, 3. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla
- Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W.** (2004). “Facade Construction Manual” Basel: Birkhauser-Publishers for Architecture.
- Huntington, C. G.** (2004). “The Tensioned Fabric Roof”, American Society of Civil Engineers, Reston
- Jauregui, V. G.** (2009). “Controversial Origins of Tensegrity”, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009, Valencia Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures Alberto DOMINGO and Carlos LAZARO (eds.), Universidad Politecnica de Valencia, Spain
- Karaman S.** (2019). “The Energy Performance Evaluation Of Etfе (Ethylene Tetrafluoroethylene) Cusion Systems Integrated On The South Facade Of A Hypothetical Test Room And Comparison Of It With Glass Facade Systems”, Master Thesis, Yaşar University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir
- Kaya, K.** (2005). “Tensegrity Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Kowalski, W., Pastuszka, S., & Romain, P.** (2016). "How an Innovative Membrane Brought a Vision to Life.", *Procedia Engineering*, 155, 486-495.
- Lamnatou, C.; Moreno B, À.; Chemisana V, D.; Reitsma, F.; Clarià S, F.** (2017). "Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) material: Critical issues and applications with emphasis on buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 82, p. 2186-2201.
- Le Cuyet, A.** (2008). "ETFE technology and design." Basel: Birkhäuser Verlag AG.
- Lewis, W. J.** (2003). "Tension structures: form and behavior", Thomas Telford, London.
- De Vecchi, L.** (2016). "L'impiego dell'ETFE in architettura: studio dell'evoluzione delle pressostrutture valutazione delle prestazioni e analisi di progetti rilevanti", Politecnico di Milano, Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle costruzioni Laurea di primo livello, Milano
- Luchsinger R.H, Galliot C.** (2011). "Uniaxial and Biaxial Mechanical Properties of ETFE Foils", *Polymer Testing*, EMPA - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Center for Synergetic Structures, Duebendorf, Switzerland
- Maywald, C., & Riesser, F.** (2016). "Sustainability - The Art of Modern Architecture", *Procedia Engineering*, 155, 238-248.
- McKeen LW.** (2016). "Fluoropolymers, In Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers" Third Edition, Pages 249-264
- Monticelli, C., Campioli, A. & Zanelli, A.** (2009). "Environmental load of ETFE cushions and future ways for their self-sufficient performances" *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Spain.*
- Monticelli, C., Lombardi, S., Würfl, C. & Ibrahim, H. M.** (2013). "Ellipsoidal Shape And Daylighting Control For The Etfе Pneumatic Envelope Of A Winter Garden" VI International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, *Structural Membranes.*
- Moritz, K.** (2007). "ETFE-Folie als Tragelement" Doctoral dissertation, Technische Universität München, Munich, Germany.
- Moritz, K.** (2010). "Foils and Membranes Allianz Arena, Munich: Design Aspects of ETFE Foil Cushions", *Foil and Membranes, Innovative Design and Construction*, pp.41-54

- Nazim, M. A. & Abdullah, S. & Elahi, M. M. M.** (2017). Heat Loss Reduction Analysis of 2-Layer ETFE Foil by Dymola Simulation,. International Journal of Structural and Civil Engineering Research Vol. 6, No. 2
- National Geographic.** (2011) “Mega Structures: World’s Biggest Tent”, <https://www.natgeotv.com/asia/megastructures-worlds-biggest-tent/about>
- Nuhođlu, A.** (2004). “Kablolu Sistemlerin Geometrik Nonlineer Statik Hesabı”, DEÜ Mühendislik Fakóltesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 6, Sayı: 1, sh. 17–38
- Özcan, U., Erol, H.,** (2018) “Yüksek ve Sürdürülebilir”, Yapı Dergisi, Sayı: 435, s:52
- Pavlovic, A., Veljkovic S. D., Karamarkovic, J.** (2018). “The importance of ethylene-tetrafluoroethylene for building daylighting”, Facta universitatis, Architecture and Civil Engineering, vol. 16, pp. 355-374, Serbia
- Poirazis, H., Kragh, M., & Hogg, C.** (2009). “Energy Modelling Of Etfе Membranes In Building Applications”, Building Simulation, Eleventh International IBPSA Conference, Scotland
- Robinson A.L.** (2005). “Structural Oportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene)”, Masters thesis at the Massachusetts Institute of Technology, USA
- Rudorf-Wittrin, W.** (2006). “ETFE-Foil, The Flexible Glass. An Alternative To Glass Roofs?!” Technical University of Eindhoven, 8-198-8-202.
- Shaeffer, R.E.** (1996). “Tension fabric structures a practical introduction”, American Society of Civil Engineer, Task Committee on Tension Fabric Structure, ASCE press.
- Sarıay, İ.** (1999). “Membranların malzeme ve konstrüksiyon özellikleri açısından mimari formun oluşumundaki yeri ve konvansiyonel yapıım sistemi ile yapılmış kagir malzemeli yapı örneği ile karşılaştırılması” (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Sanchez J., Serna A. & Morer P.** (2007). “A multi-step force–density method and surface-fitting approach for the preliminary shape design of tensile structures” Science Direct Engineering Structures, 29, 1966–1976.
- Seidel, M.** (2009). “Tensile Surface Structures: A Practiacal Guide to Cable and Membrane Construction” Book, Ernst & Sohn, Berlin, Germany

- Sert, F.Y.** (2016). “Çatı ve Cephe Sistemlerinde ETFE Kaplamalarının Kullanımı”, 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fındıklı İstanbul
- Sev A., Tuğrul F.** (2015). “An Overview to Sustainable Building Technologies in Future: Lightweight Structures”, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Gazi University, Ankara
- Srisuwan, T.** (2016). “ETFE: New Sustainable Material”, International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology (BUILT), c. 7, ss. 5-12. Thailand
- Son, M. E.** (2007). “The Design and Analysis of Tension Fabric Structures”, Thesis TMS, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley
- Türk Standadları Enstitüsü** (2006). Cam - Yapılarda Kullanılan - Temel Soda Kireç Silikat Cam Mamuller - Bölüm 2: Yüzdürme (Float) Cam, TS 10288 – EN 572/2, Ankara
- Umesh A., Hirawe R.** (2017). “To Find out the Feasibility of Ethylene-Tetra-Fluoro-Ethylene (ETFE) in Inflatable Pillow System (IPS) to be Used for Building Facades”, International Journal on Emerging Technologies 8(1): 711-716
- Üzer, M.** (2015). “Asma germe sistemlerin uygulandığı endüstriyel yapıların deprem davranışının incelenmesi”, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Vector Foiltec.** (2021a). “Fire Safety Is One Of The Most Critical Design Considerations When Selecting Building Materials.”, <https://www.vector-foiltec.com/textlon-etfe/#fire-safety>
- Vector Foiltec.** (2021b). “When Selecting Cladding Materials It Is Important To Consider Acoustic Performance Criteria.”, <https://www.vector-foiltec.com/textlon-etfe/#acoustic-benefit>
- Vector Foiltec.** (2021c). “New Mangrove Hall Burger Zoo.”, <https://www.vector-foiltec.com/projects/new-mangrove-hall-burger-zoo-textlon-etfe-durability/>
- Wu M., Wu Y., Kim JY.** (2011). “ETFE foil spring cushion structure and its analytical method.” Thin Wall Struct; 49:1184–1190
- Zhao, Bing & Chen, Wu-jun.** (2020). “Experimental study and constitutive modeling on viscoelastic-plastic mechanical properties of ETFE foils subjected to uniaxial monotonic tension at various strain rates.” Construction and Building Materials. 263, China.

Zou, Patrick X. W., & Leslie-Carter, Rob. (2010). "Lessons learned from managing the design of the 'Water Cube' National Swimming Centre for the Beijing 2008 Olympic Games." *Earthscan, Architectural Engineering and Design Management*, 6, 3, 175-188.

İNTERNET KAYNAKLARI

Url-1:

<<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87ad%C4%B1r#/media/Dosya:LittleBigMouth.1869.ws.jpg>> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-2: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Gorskii_04412u.jpg> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-3:

<<https://i.pinimg.com/originals/f4/ca/fa/f4cafa633431f3ca6aef68b230a636fc.jpg>> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-4:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Tensile_Steel_Lattice_Shell_of_Oval_Pavilion_by_Vladimir_Shukhov_1895.jpg> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-5: <<https://www.pmi.org/learning/library/benchmark-quality-management-life-cycle-5150>> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-6: <<https://www.6sqft.com/check-out-this-1960s-plan-to-cover-midtown-manchattan-with-a-giant-geodesic-dome/>> Erişim Tarihi: 02.06.2021

Url-7: <https://www.spatialagency.net/2009/08/24/buckminsterfuller_1-960x607.jpg> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-8: <<https://www.pbase.com/qleap/image/52265074>> Erişim Tarihi:02.06.202

Url-9: <https://www.archdaily.com/607935/frei-otto-named-2015-pritzker-laureate/54ff6630e58ece0642000134_frei-otto-posthumously-named-2015-pritzker-laureate-_1280px-munich_-_frei_otto_tensed_structures_-_5293-jpg> Erişim Tarihi:02.06.2021

Url-10: <<https://www.birdair.com/birdair-portfolio/university-of-la-verne-sports-science-and-athletics-pavilion/>> Erişim Tarihi:02.06.2021

- Url-11:** <<http://www.tensaform.com/tr/teknik-bilgiler/detay/membran-baglanti-tipleri/>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-12:** <<https://tr.pinterest.com/pin/426575395937901002/>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-13:** <<https://www.bdir.com/projects/tensile-fabric-structure-for-luxes-island-saddle-club-chendu-china>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-14:** < <https://rocklyn.co.uk/recent-projects/wallace-park-indoor-tennis-centre>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-15:** <<https://www.archdaily.com/887462/tensile-structures-how-do-they-work-and-what-are-the-different-types>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-16:** <<https://wewanttolearn.wordpress.com/tag/anticlastic/>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-17:** <<https://www.ce.jhu.edu/perspectives/protected/ids/Index.php?location=Munich%20Ice-Scating%20Rink>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-18:** < <http://www.tensaform.com/tr/projeler/tamamlanmis-projelerimiz/konya-havaalani-giris-kanopisi/>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-19:** < <https://inspiration.detail.de/office-for-waste-management-in-munich-106880.html>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-20:** <<https://id.pinterest.com/pin/447826756696289015/>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-21:** <<https://shadecoindia.com/product/inverted-umbrella/>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-22:** <<https://www.sophersparn.com/blog-ssa/dia-tents>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-23:** <<https://archello.com/project/khan-shatyry-entertainment-centre>> Erişim Tarihi:02.06.2021
- Url-24:** <<https://www.stuartforbes.com/millennium-dome>> Erişim Tarihi:03.06.2021
- Url-25:** < <https://effisus.com/en/2018/10/10/effisus-fr-a-fire-resistant-waterproofing-membrane/>> Erişim Tarihi:03.06.2021

Url-26: <http://www.etfe-mfm.eu/contents/publicationsitem/textile-based-architecture_slides.pdf> Erişim Tarihi:03.06.2021

Url-27: <http://www.cistructures.com/products_architectural_membrane.html> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-28: <<https://http://www.tensaform.com/media/7146/etfe-sunum.pdf>> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-29: <<https://www.vector-foiltec.com/projects/new-mangrove-hall-burger-zoo-textlon-etfe-durability/>> Erişim Tarihi:03.06.2021

Url-30:< <https://www.agc-chemicals.com/jp/en/fluorine/products/detail/feature/index.html?pCode=JP-EN-F018>> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-31: <<https://bigspans.com/membranes/etfe-film/>> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-32:< http://fabritecture.com/knowledge/etfe/?gclid=CjwKCAjwj6SEBhAOEiwAvFRuKKpiwvoFaarjHCpxmHbyMu32sAKuOS31LW2Ao-eIDeYSPf9MlAlaoBoCjFcQAvD_BwE> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-33: <<https://i.pinimg.com/originals/7b/9d/48/7b9d4851a08a5b4881f2a0bbdf49b73b.png>> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-34: <<https://www.agcce.com/fluon-etfe-resins>> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-35: < <https://www.semanticscholar.org/paper/Inflatable-pillow-system-as-a-glass-substitute-in-Candemir/78120e012b4188c217e990505977ae9bf3ecd60c>> Erişim Tarihi:16.04.2021

Url-36: <<https://malzemebilimi.net/cekme-testi-nedir-neden-uygulanir-nasilyapilir.html>> Erişim Tarihi:04.06.2021

Url-37: Architen Landrell, <<https://www.architen.com/products/etfe-cushions/>> Erişim Tarihi:04.06.2021

Url-38: Architen Landrell, <<https://www.architen.com/products/intelligent-printing/>> Erişim Tarihi:04.06.2021

- Url-39:** Architen Landrell. “ETFE Foil: A Guide to Design”, <<https://www.architen.com/articles/etfe-foil-a-guide-to-design/#:~:text=ETFE%20Foil%20is%20naturally%20a,lead%20to%20a%20small%20reduction>> Erişim Tarihi:04.06.2021
- Url-40:** <https://www.makmax.com/dcms_media/image/13_ETFE_film.pdf> Erişim Tarihi:04.06.2021
- Url-41:** <<https://www.machabseiling.co.uk/etfe>> Erişim Tarihi:05.06.2021
- Url-42:** Tensaform, <<http://www.tensaform.com/tr/urunlerimiz/etfe-sistemler/etfe-avantajlari/>> Erişim Tarihi:05.06.2021
- Url-43:** Architen Landrell, < <https://www.vector-foiltec.com/texlon-etfe/#transparency>> Erişim Tarihi:05.06.2021
- Url-44:** < <https://www.vector-foiltec.com/projects/zoom-erlebniswelt-tropenparadies-light-transmission/>> Erişim Tarihi:04.06.2021
- Url-45:** Tensaform , < <http://www.tensaform.com/tr/urunlerimiz/etfe-sistemler/sistem-baglanti-detaylari/>> Erişim Tarihi:05.06.2021
- Url-46:** Architen Landrell, < <https://www.architen.com/articles/how-to-look-after-your-etfe-cushion-roof/>> Erişim Tarihi:04.06.2021
- Url-47:** Architen Landrell, < <https://www.architen.com/articles/etfe-foil-a-guide-to-design/etfe-bird-wire-diagram/>> Erişim Tarihi:04.06.2021
- Url-48:** < <https://www.youtube.com/watch?v=EY0dSXNSOEA>> Erişim Tarihi:16.04.2021
- Url-49:** <<https://carminereddarter.wordpress.com/tag/kew-garden/>> Erişim Tarihi:06.06.2021
- Url-50:** <<https://www.flickr.com/photos/joesonoftherock/48890370881/>> Erişim Tarihi:06.06.2021
- Url-51:**<<https://www.architen.com/projects/north-swindon-school/>> Erişim Tarihi:06.06.2021
- Url-52:** <<https://pfeifer-structures.com/portfolio/atl-next-central-passenger-terminal-complex/>> Erişim Tarihi:06.06.2021
- Url-53:** <<https://airsculpt.co.uk/wp-content/uploads/2017/06/ETFE-Canopy.jpg>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-54: < <https://en.wikiarquitectura.com/building/eden-project/#02-proyecto-eden>>
Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-55: <<https://ziraatyapma.blogspot.com/2019/12/eden-jeodezik-kubbe-sera-projesi-eden.html>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-56: <<https://en.wikiarquitectura.com/building/eden-project/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-57: < <https://www.vector-foiltec.com/projects/eden-project-botanic-sustainable/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-58: < https://tr.wikipedia.org/wiki/Eden_Projesi> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-59: <<https://www.travelhk.com/en/travel-detail-18224-scenic.html>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-60: <<https://tr.pinterest.com/pin/54817320451131737/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-61: < <https://www.fosterandpartners.com/projects/khan-shatyr-entertainment-center/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-62: <<https://www.designboom.com/architecture/foster-partners-khan-shatyr-entertainment-centre-opens/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-63:
<https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Khan_Shatyr_Entertainment_Centre>
Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-64: <<http://www.parkviewgreen.com/eng/news-and-events/from-the-press/>>
Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-65: < <https://inhabitat.com/beijings-encapsulated-parkview-green-fangcaodi-has-its-own-energy-efficient-microclimate/parkview-green-integrated-design-associates-8/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-66: < http://www.building.com.hk/feature/2011_0131parkview.pdf> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-67: < <https://www.vector-foiltec.com/de/projects/parkview-green-fang-cao-di-nachhaltigkeit/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-68:

https://www.youtube.com/watch?v=I28KeVx9QQ&ab_channel=USGBC%28U.S.GreenBuildingCouncil%29 Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-69: < <https://www.hok.com/projects/view/anaheim-regional-transportation-intermodal-center/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-70: < https://www.archdaily.com/615466/anaheim-regional-transportation-intermodal-center-hok/551cbc52e58ece845e0000b0-first-floor-plan-with-context?next_project=no> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-71: <https://www.archdaily.com/41761/unilever-headquarters-behnisch-architekten/5011f53628ba0d5f4c0006d7-unilever-headquarters-behnisch-architekten-photo?next_project=no> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-72: < <https://www.form-tl.de/en/project/folienfassade-unilever-gebaeude-hamburg-d/>> Erişim Tarihi:06.06.2021

Url-73: <<https://allianz-arena.com/en/wallpaper/gallery>> Erişim Tarihi:08.06.2021

Url-74: < https://aga.arq.br/wp-content/uploads/2017/05/2017_02_ENG_Case-study-Munich-Allianz-Arena-Stadium_GONCALVES.pdf> Erişim Tarihi:08.06.2021

Url-75: < https://aga.arq.br/wp-content/uploads/2017/05/2017_02_ENG_Case-study-Munich-Allianz-Arena-Stadium_GONCALVES.pdf> Erişim Tarihi:08.06.2021

Url-76: <<https://www.beinsports.com/en/football/news/1860-munichs-allianz-arena-contract-cancell-1/593153>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-77: < <https://www.bavarianfootballworks.com/2019/9/19/20873753/bayern-munich-allianz-arena-tunnel-robert-lewandowski-thimas-muller-manuel-neuer-led-lighting>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-78: < <https://www.arup.com/projects/allianz-arena>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-79: < https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/campos-de-futbol-con-firma-de-arquitecto_1736/2> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-80: <<https://www.to-experts.com/en/projects/detailview-references/maintenance-of-efte-cushions-and-inner-ceiling/>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-81:

<http://www.addbeton.com/documentation/EQUIPEMENTS%20D'OUVRAGES/MATURER/Infos%20Projects/Proj_01gb%20ALLIANZ%20ARENA%20Munich%200202005%20Version_neu.pdf> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-82:<http://www.ptw.com.au/ptw_project/watercube-national-swimming-centre/> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-83:<<https://sites.google.com/site/ae390watercube/conclusion/diagram>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-84:<<https://www.westchinatour.com/beijing/attraction/water-cube.html>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-85:<<https://inspiration.detail.de/watercube-national-swimming-centre-in-beijing-103313.html>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-86:< <https://moreaedesign.wordpress.com/2010/09/13/more-about-watercube-%E2%80%93-beijing-china/>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-87:< <https://www.l-a-v-a.net/projects/beijing-watercube/>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-88: <<https://www.reuters.com/article/us-olympics-rio-swimming-pool-idUSKCN10301O>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-89: < <https://www.burohappold.com/projects/piotrkowska-street-tram-stop-roof/>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-90: < http://www.mha-consult.com/pdf/2003/Kingsdale_BD.pdf > Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-91: <<https://drmm.co.uk/project/kingsdale-school/>> Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-92: < <https://schoolstyleu.blogspot.com/2018/11/kingsdale-school-staff-list.html>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-93: < <https://miesarch.com/work/840>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-94: <<https://www.architectsjournal.co.uk/news/opinion/retrofirst-flexible-new-builds-are-essential-to-future-proofing>> Erişim Tarihi:10.06.2021

Url-95: <
<https://www.google.com/maps/place/Kingsdale+Foundation+School/@51.4320891,-0.0853547,218m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x487603fda0388687:0x9b91a2507f3328a7!8m2!3d51.4321965!4d-0.0854919>> Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-96:<<https://www.fakt.pl/wydarzenia/polska/lodz/zobacz-przystanek-piotrkowska-centrum/xmwqgcg>> Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-97:<

https://www.makmax.com/dcms_media/image/22_Taiyo_ETFE_Brochure_English.pdf> Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-98:< <https://lodz.wyborcza.pl/lodz/51,35136,19177377.html?i=15>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-99:<<https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/lodz-membrana-nad-przystankiem-piotrkowska-centrum-z-opoznieniem-49182.html>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-100:<

<https://revistes.ub.edu/index.php/waterfront/article/download/31746/31550>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-101:< <https://www.flickr.com/photos/ssokolowki/49951762062>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-102:<<https://www.radiolodz.pl/posts/16539-zadaszenie-przystanku-piotrkowska-centrum-juz-gotowe>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-103:< <https://www.vector-foiltec.com/projects/zentrale-unilever-state-of-the-art/>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-104:< <https://www.usgbc.org/projects/parkview-green-beijing>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-105:< <http://www.parkviewgreen.com/eng/news-and-events/from-the-press/>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-106: <<http://www.imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2016/tekil/fevzi-dansik/5-fevzi-dansik.pdf>>

Erişim Tarihi:12.06.2021

Url-107: <<https://docplayer.biz.tr/17932703-Asma-germe-membran-sistemler.html>>

Erişim Tarihi:12.06.2021