

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİKARBONAT PANEL VE CAM CEPHELERİN ENERJİ  
PERFORMANSLARININ OFİS YAPISI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN SİMÜLASYON  
YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Filiz İrem MEMİŞOĞLU**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**MAYIS 2023**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİKARBONAT PANEL VE CAM CEPHELERİN ENERJİ  
PERFORMANSLARININ OFİS YAPISI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN SİMÜLASYON  
YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Filiz İrem MEMİŞOĞLU  
(502181509)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER**

**MAYIS 2023**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502181509 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Filiz İrem Memişoğlu, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “POLİKARBONAT PANEL VE CAM CEPHELERİN ENERJİ PERFORMANSLARININ OFİS YAPISI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Mustafa Erkan Karagüler** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Mustafa ÖZGÜNLER** .....  
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 24 Mayıs 2023  
**Savunma Tarihi** : 15 Haziran 2023





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca desteğini esirmeyen, yol gösterici fikirlerini ve değerli tecrübelerini aktaran danışmanım Prof. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin özgün kısmını oluşturan simülasyon çalışmalarım ile ilgili sorularımı geri çevirmeyen, bilgilerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Nazanin MOAZZEN FERDOS'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans sürecimde de desteklerini bir an olsun esirgemeyen canım aileme müteşekkirim.

Mayıs 2023

Filiz İrem MEMİŞOĞLU  
(Mimar)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                                                                                                                                | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                                                                                                         | ix        |
| KISALTMALAR .....                                                                                                                                                                                         | xi        |
| SEMBOLLER .....                                                                                                                                                                                           | xiii      |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                                                                                                                                      | xv        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                                                                                                                                        | xvii      |
| ÖZET.....                                                                                                                                                                                                 | xix       |
| SUMMARY .....                                                                                                                                                                                             | xxi       |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Araştırmanın Amacı .....                                                                                                                                                                              | 1         |
| 1.2 Araştırmanın Kapsamı.....                                                                                                                                                                             | 2         |
| 1.3 Araştırmanın Yöntemi.....                                                                                                                                                                             | 2         |
| <b>2. YAPI CEPHELERİ .....</b>                                                                                                                                                                            | <b>3</b>  |
| 2.1 Tarihsel Süreçte Cepheler .....                                                                                                                                                                       | 4         |
| 2.2 Enerji Yükleri Bağlamında Cephe Kavramı .....                                                                                                                                                         | 7         |
| 2.3 Cephelerde Kullanılan Malzemeler.....                                                                                                                                                                 | 8         |
| 2.4 Cephelerde Kullanılan Transparan Malzemeler.....                                                                                                                                                      | 10        |
| 2.4.1. Cam esaslı malzemeler ve uygulama örnekleri.....                                                                                                                                                   | 11        |
| 2.4.2 Polimer esaslı malzemeler ve uygulama örnekleri .....                                                                                                                                               | 20        |
| 2.4.3 Tekstiler / Membranlar ve uygulama örnekleri.....                                                                                                                                                   | 30        |
| 2.4.4 Akıllı malzemeler ve uygulama örnekleri.....                                                                                                                                                        | 34        |
| 2.4.5 Yeni nesil kompozit malzemeler ve uygulama örnekleri.....                                                                                                                                           | 37        |
| 2.5 Cephelerden Beklenen Performans Gereklilikleri .....                                                                                                                                                  | 41        |
| <b>3. TRANSPARAN CEPHE MALZEMESİ OLARAK CAM VE<br/>    POLİKARBONAT PANELLER.....</b>                                                                                                                     | <b>43</b> |
| 3.1 Cam Cepheler.....                                                                                                                                                                                     | 43        |
| 3.1.1 Özellikleri.....                                                                                                                                                                                    | 44        |
| 3.1.2 Uygulama örnekleri.....                                                                                                                                                                             | 45        |
| 3.2 Polikarbonat Panel Cepheler .....                                                                                                                                                                     | 48        |
| 3.2.1 Özellikleri.....                                                                                                                                                                                    | 48        |
| 3.2.2 Uygulama örnekleri.....                                                                                                                                                                             | 50        |
| <b>4. SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRME: OFİS YAPISI<br/>    ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN CAM VE POLİKARBONAT PANEL<br/>    CEPHELERİN ENERJİ PERFORMANSLARININ<br/>    DEĞERLENDİRİLMESİ VE İNCELENMESİ .....</b> | <b>57</b> |
| 4.1 Benzetim Programı: Design Builder .....                                                                                                                                                               | 57        |
| 4.2 Değerlendirme Yapılacak Ofis Planının Seçilmesi.....                                                                                                                                                  | 58        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3 Çalışma Kapsamında Ofis Mekanlarında Değerlendirilecek Konfor Koşulları ..... | 60        |
| 4.3.1 Termal konfor.....                                                          | 61        |
| 4.3.2 Görsel konfor.....                                                          | 62        |
| 4.4 Değerlendirmede Kullanılacak Parametreler .....                               | 64        |
| 4.5 Modelleme ve Kabuller .....                                                   | 67        |
| 4.6 Çıktıların Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi .....                             | 72        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                  | <b>85</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                             | <b>89</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                             | <b>93</b> |



## KISALTMALAR

|               |                                                                                                                                              |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABD</b>    | : Amerika Birleşik Devletleri                                                                                                                |
| <b>ASHRAE</b> | : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği) |
| <b>ETFE</b>   | : Ethylen Tetra Fluoro Ethylen                                                                                                               |
| <b>ISO</b>    | : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)                                                        |
| <b>K</b>      | : Kelvin                                                                                                                                     |
| <b>PC</b>     | : Polikarbonat                                                                                                                               |
| <b>PE</b>     | : Polietilen                                                                                                                                 |
| <b>PMMA</b>   | : Polimetil metakrilat                                                                                                                       |
| <b>PVC</b>    | : Polivinilklorür                                                                                                                            |
| <b>SHGC</b>   | : Güneş Isı Kazanç Katsayısı (Solar Heat Gain Coefficient)                                                                                   |
| <b>U</b>      | : Isıl Geçirgenlik Katsayısı                                                                                                                 |
| <b>UV</b>     | : Ultraviyole                                                                                                                                |
| <b>VT</b>     | : Gün Işığı Geçirgenlik Değeri (Visible Transmittance)                                                                                       |
| <b>W</b>      | : Watt                                                                                                                                       |



## SEMBOLLER

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| <b>cm</b>            | : Santimetre       |
| <b>kg</b>            | : Kilogram         |
| <b>m</b>             | : Metre            |
| <b>mm</b>            | : Milimetre        |
| <b>m<sup>2</sup></b> | : Metrekare        |
| <b>° C</b>           | : santigrat derece |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 4.1:</b> Değerlendirme parametreleri için malzemelere ait veriler.....                                   | 66 |
| <b>Çizelge 4.2:</b> Değerlendirmede kullanılan polikarbonat panellerin iç yapıları ve görselleri.....               | 67 |
| <b>Çizelge 4.3:</b> Modelleme Künyesi .....                                                                         | 71 |
| <b>Çizelge 4.4:</b> Geleneksel çift cam malzemeye ait veriler.....                                                  | 72 |
| <b>Çizelge 4.5:</b> Cephe alternatiflerinin 21 Temmuz 2022 günü kWh cinsinden saatlik soğutma yükleri tablosu. .... | 73 |
| <b>Çizelge 4.6:</b> Cephe alternatiflerinin 1 Ocak 2022 günü kWh cinsinden saatlik ısıtma yükleri tablosu. ....     | 76 |
| <b>Çizelge 4.7:</b> Cephe alternatiflerinin 2022 yılı için kWh cinsinden toplam enerji yükleri. ....                | 80 |
| <b>Çizelge 5.1:</b> İki malzemenin özelliklere göre avantaj/dezavantaj durumları .....                              | 86 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Kristal Palas .....                                                                              | 5  |
| Şekil 2.2: Zincirlikuyu Karayolları Binası .....                                                            | 6  |
| Şekil 2.3: Yansıtıcı özellik gösteren ayna camlı cephe uygulaması .....                                     | 12 |
| Şekil 2.4: Renkli cam cephe uygulamasının iç mekâna yansımaları .....                                       | 13 |
| Şekil 2.5: Cam esaslı cephe malzemelerinin sınıflandırılması .....                                          | 13 |
| Şekil 2.6: Güneş kontrol camı çalışma prensibi. ....                                                        | 15 |
| Şekil 2.7: Hava tabakalı camın içyapısı.....                                                                | 15 |
| Şekil 2.8: Tabakalı (lamine) cam örneği.....                                                                | 17 |
| Şekil 2.9: Farklı cam tiplerinin kırılma davranışları.....                                                  | 18 |
| Şekil 2.10: Telli cam örneği.....                                                                           | 18 |
| Şekil 2.11: Cam tuğla duvar örneğinden bir kesit. ....                                                      | 19 |
| Şekil 2.12: Cam mozaik kaplama malzemesi örneği.....                                                        | 19 |
| Şekil 2.14: Eden Sera Projesi, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda).....    | 23 |
| Şekil 2.15: Ulusal Yüzme Merkezi, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda)..... | 24 |
| Şekil 2.16: Han Çadırı AVM, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda).....       | 24 |
| Şekil 2.17: PMMA.....                                                                                       | 25 |
| Şekil 2.18: Akrilik kullanılmış sera örneği.....                                                            | 26 |
| Şekil 2.19: Reiss Merkez Binası, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda). .... | 26 |
| Şekil 2.20: Münih Olimpiyat Stadyumu, Yapının genel görünüşü (solda), Detay görünüm (sağda) . ....          | 27 |
| Şekil 2.21: İki Duvarlı Polikarbona Levha Örneği .....                                                      | 28 |
| Şekil 2.22: Laban Çağdaş Dans Merkezi, Londra .....                                                         | 28 |
| Şekil 2.23: Tekstil/ Membran cephe malzemelerinin sınıflandırılması.....                                    | 30 |
| Şekil 2.24: Allianz Arena; Işıklandırılmış genel görünüş (solda), yakın görünüş (sağda). ....               | 32 |
| Şekil 2.25: Fritz Lipmann Enstitüsü, Gündüz Görünüş (solda), Gece Görünüş (sağda). ....                     | 33 |
| Şekil 2.26: Fritz Lipmann Enstitüsü, Gündüz Görünüş (solda), Gece Görünüş (sağda) .....                     | 33 |
| Şekil 2.27: Fritz Lipmann Enstitüsü, Gündüz Görünüş (solda), Gece Görünüş (sağda).....                      | 34 |
| Şekil 2.28: Akıllı cephe malzemelerinin sınıflandırılması. ....                                             | 35 |
| Şekil 2. 29: Arap Enstitü Binası, Genel görünüş solda), Yapı cephesi yakından görünüş (sağda). ....         | 35 |
| Şekil 2.30: Aviva Binası Genel görünüş .....                                                                | 36 |
| Şekil 2.31: Alterswohnen yapısı genel görünüş .....                                                         | 36 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.32:</b> Centre Pompidou-Metz, Gündüz Görünüşü (solda), Gece Görünüşü (sağda). .....                                | 37 |
| <b>Şekil 2.33:</b> Expo 2010 İtalya Pavyonu.....                                                                              | 38 |
| <b>Şekil 2.34:</b> Biyoreaktör Cepheli Bina .....                                                                             | 39 |
| <b>Şekil 2.35:</b> Bahai Tapınağı Dış Görünüş (solda), İçeriden görünüş (sağda). .....                                        | 39 |
| <b>Şekil 2.36:</b> Bahai Tapınağı Dış Görünüş (solda), İçeriden görünüş (sağda). .....                                        | 40 |
| <b>Şekil 2.37:</b> Cephe malzemelerinin saydamlık derecelerine göre sıralanması.....                                          | 40 |
| <b>Şekil 3.1:</b> Farklı cam türlerine ait performans değerleri.....                                                          | 45 |
| <b>Şekil 3.2:</b> Şişecam Genel Merkezi, İstanbul. ....                                                                       | 46 |
| <b>Şekil 3.3:</b> Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü yapının dışarıdan görünümü .....                                             | 46 |
| <b>Şekil 3.4:</b> Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü yapının iç avludan görünümü .....                                            | 47 |
| <b>Şekil 3.5:</b> Avrupa Yatırım Bankası yapının dışarıdan görünümü.....                                                      | 47 |
| <b>Şekil 3.5:</b> Avrupa Yatırım Bankası yapının yakın açılı cephe görünümü . ....                                            | 47 |
| <b>Şekil 3.6:</b> Spor ve Kültür Merkezi, Danimarka, Yapının genel ve detay görüntüleri .....                                 | 50 |
| <b>Şekil 3.7:</b> Kanalizasyon Arıtma Tesisi, İspanya, yapı cephesinin dışarıdan görüntüleri . ....                           | 51 |
| <b>Şekil 3.8:</b> Kayıkhane yapısının gündüz (solda) ve akşam (sağda) görüntüleri.....                                        | 51 |
| <b>Şekil 3.9:</b> Deponun gece ışıklandırması ile otoyol aksında dikkat çekici görüntüsü .....                                | 52 |
| <b>Şekil 3.10:</b> Deponun gündüz (solda) ve gece (sağda) görüntüleri.....                                                    | 53 |
| <b>Şekil 3.11:</b> Konut bloğu gündüz görünümü .....                                                                          | 53 |
| <b>Şekil 3.12:</b> Konut bloğu gece görünümü. ....                                                                            | 54 |
| <b>Şekil 3.13:</b> Konutun dışarıdan görünümü (solda), iç mekandan bir görünüş (sağda). .....                                 | 54 |
| <b>Şekil 3.14:</b> Kulübe yapısı, Yeni Zelanda. ....                                                                          | 55 |
| <b>Şekil 4.2:</b> Simülasyon programında yapılan modelin görünümü. ....                                                       | 69 |
| <b>Şekil 4.3:</b> Referans Binada Bölgelerin Düzeni. ....                                                                     | 70 |
| <b>Şekil 4.4:</b> 21 Temmuz 2022 İstanbul için saatlik sıcaklıklar .....                                                      | 73 |
| <b>Şekil 4.5:</b> Cephe alternatiflerinin 21 Temmuz 2022 günü kWh cinsinden saatlik soğutma yüklerinin grafik gösterimi. .... | 74 |
| <b>Şekil 4.6:</b> Cephe alternatiflerinin 21 Temmuz 2022 günü kWh cinsinden günlük toplam soğutma yükleri. ....               | 75 |
| <b>Şekil 4.7:</b> Cephe alternatiflerinin 1 Ocak 2022 günü kWh cinsinden saatlik ısıtma yüklerinin grafik gösterimi.....      | 77 |
| <b>Şekil 4.8:</b> Cephe alternatiflerinin 1 Ocak 2022 günü kWh cinsinden günlük toplam ısıtma yükleri.....                    | 78 |
| <b>Şekil 4.9:</b> Cephe alternatiflerinin 21 Aralık 2022 günü kWh cinsinden günlük toplam aydınlatma yükleri.....             | 79 |
| <b>Şekil 4.10:</b> Cephe alternatiflerinin 2022 yılı kWh cinsinden toplam enerji yükleri. .                                   | 81 |
| <b>Şekil 4.11:</b> Alternatiflerin VT değeri ile enerji yüklerindeki azalmasının ilişkisi.....                                | 82 |
| <b>Şekil 4.12:</b> Yıllık tüketim yüklerinin alanlara göre dağılımı. ....                                                     | 83 |
| <b>Şekil 4.13:</b> Aydınlatma yükünün VT değeri ile ilişkisi. ....                                                            | 83 |

# **POLİKARBONAT PANEL VE CAM CEPHELERİN ENERJİ PERFORMANSLARININ OFİS YAPISI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

## **ÖZET**

Yapı cepheleri tarihsel süreç boyunca geçmişten günümüze transparanlaşmaktadır. Cephelerdeki bu dönüşümde bilim ve teknolojiyle hızla gelişen malzeme biliminin etkisi büyüktür. Diğer taraftan günümüzde hemen her alanda en önemli konu başlıklarından birisi enerji korunumudur. Yapılar dünya üzerinde tüketilen toplam enerjinin oldukça büyük bir kısmından sorumludur. Transparan yapı cepheleri ise, binalarda enerjinin en çok kazanıldığı ya da kaybedildiği elemanlar oldukları için yapıların enerji performansı üzerindeki etkisi büyüktür. Bu noktada transparan yapı cephelerinin enerji performansları önem kazanmaktadır.

Bu araştırmanın amacı; yapı cephelerinde tarih boyunca saydam yapı malzemesi olarak kullanılan cam malzeme ile oluşturulmuş cam cepheler ile son yıllarda alternatif/yenilikçi transparan cephe malzemesi olarak üretilen polikarbonat paneller ile oluşturulmuş cephelerin iç mekan konfor koşullarından olan enerji ve ışık geçirgenlik performanslarının incelenmesi ve malzemelerinin üstün ve zayıf özelliklerinin değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

Çalışma kapsamında yapı cephelerinde kullanılan malzemelerin tarihsel süreçteki saydamlaşmasına vurgu yapılarak, inceleme konusu olan iki malzeme detaylı literatür taraması ile tanıtılmıştır. Malzemelerin zayıf ve güçlü yönleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İç mekan konfor koşullarından ısı ve görsel konfor sağlama analizleri ile enerji değerlendirmeleri Design Builder Bina Enerji Simülasyon programı aracılığıyla yapılmıştır. Değerlendirmeler enerji tüketiminde yüksek pay sahibi olan ofis yapıları üzerinden ele alınarak; İstanbul’da bulunan örnek bir ofis yapısı Design Builder programında modellenmiştir. Modellenen yapının cam cepheli olduğu durum ile polikarbonat panel cepheli olduğu durum olmak üzere iki grup için toplam yedi farklı alternatif üzerinden enerji analizleri yapılmıştır.

Değerlendirmeler yapılırken malzemelerin, Isıl Geçirgenlik Değeri olan U değeri, Güneş Isı Kazanç Katsayısı olan SHGC değeri ve Gün Işığı Geçirgenlik Değeri olan VT değerleri dikkate alınmıştır. Değerlendirmeler 2022 yılı üzerinden yapılmıştır. En sıcak gün kabul edilen 21 Temmuz günü için saatlik ve günlük olarak soğutma yükü analizleri, en soğuk gün kabul edilen 1 Ocak günü için saatlik ve günlük olarak ısıtma yükü analizleri, günlük en kısa aydınlanma süresine sahip olan 21 Aralık günü üzerinden aydınlatma yükü değerlendirmeleri ve yıllık toplam enerji tüketim değerlendirmeleri şeklinde yapılmıştır. Yapılan simülasyonlarda çıkan sonuçlar tablolar ve grafikler halinde aktarılmıştır. Sonuçlar üzerinden malzemelerin ışık geçirme değerleri ile enerji kazançları arasında ve aydınlatma yükleri ile ışık geçirme değerleri arasındaki ilişkiler grafikler çizilerek gösterilmiştir.

Malzemelerin üretim aşamalarında yapılan değişiklikler ve ikincil işlemler sayesinde, tüm alternatiflerde performans gelişimi izlenmiştir. Yıllık toplam enerji tüketim yükleri üzerinden incelendiğinde PC-I’e kıyasla PC-II %8,9 oranında, PC-III ise

%13,1 enerji tasarrufu sağlamıştır. Benzer şekilde en zayıf performans gösteren PC-I değerlendirmede başlangıç noktası kabul edildiğinde G-I %11 oranında, G-II %16,7 oranında ve G-III ise %16,3 oranında enerji yüklerinden tasarruf ederek performanslarını geliştirmişlerdir.

Malzemelerin performansları kendi grupları içerisinde tutarlı dağılım göstermektedir. Polikarbonat panellerde malzemelerin ışık geçirgenlikleri ile enerji tasarruf performansları arasında ters orantı vardır. Polikarbonat panellerde iç yapılarındaki katmanlaşmaya bağlı olarak malzemenin VT değeri düştükçe enerji performansı artmaktadır, bu durumda kullanılacak mekanın ihtiyaçlarına uygun alternatifin seçilmesi en doğrusu olacaktır.

Her iki malzeme için de birim hacim ağırlıkları değişkenlik göstermekle birlikte, polikarbonat paneller camların yarısı hafifliktedir. Polikarbonatların birim hacim ağırlığının çok düşük olması özellikle ülkemiz gibi yüksek deprem riski taşıyan lokasyonlarda kullanılmasıyla yapı yükünü hafifleterek önemli avantajlar sağlamaktadır.

Polikarbonat paneller tasarımcıların taleplerine göre istenilen renk ve şekillerde kolaylıkla üretilebilmektedir. Nakliye ve montaj süreçleri camlara kıyasla kolaydır. Ayrıca iyi derecede ses yalıtımı sağlarlar. Sayılan tüm bu özellikler polikarbonatların gün geçtikte daha çok talep görmesini ve malzemenin ar-ge çalışmalarının hızla devam ederek gelişmiş performansta yeni alternatiflerinin üretilmesini beraberinde getirmektedir.

İki malzemenin de zayıf ve güçlü yanları vardır. Değerlendirmesi yapılan alternatiflerden yalnızca birisini öne çıkartmak doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Mekanın, zamanın ve kullanıcının ihtiyaçları bir arada değerlendirilerek uygun malzeme seçimini yapmak en iyi sonucu verecektir.

# **EVALUATION OF ENERGY PERFORMANCE OF POLYCARBONATE PANEL AND GLASS FACADES BY SIMULATION METHOD ON THE EXAMPLE OF OFFICE BUILDING**

## **SUMMARY**

Building facades have been becoming transparent from past to present throughout the historical process. In this transformation of facades, science and technology and rapidly developing material science have a great impact. On the other hand, one of the most important topics in almost every field today is energy conservation. Buildings are responsible for a large portion of the total energy consumed in the world. Transparent building facades, on the other hand, have a great impact on the energy performance of buildings as they are the elements where the most energy is gained or lost in buildings. At this point, the energy performance of transparent building facades gains importance.

Nowadays, transparent facade elements, especially glass, have ceased to be just elements that provide a minimum level of light into the building, and have turned into elements that play a decisive role on the building from the design stage as the building envelope, and often even determine the characteristics of the building. Aesthetic concerns in design and rapidly developing technology have a great impact on this situation. Thanks to technology, transparent building materials with improved performance properties continue to be developed day by day without compromising transparency.

Today, when the world's resource consumption is at its peak, energy conservation is one of the most important topics of discussion in every aspect. Buildings have a large share in the world's energy consumption. From this point of view, almost every element of buildings should be selected and designed very carefully. As an important element of buildings, building facades have become one of the most important components in energy conservation in buildings, as it is the component of a building where most heat is lost in winter and most heat is gained in summer.

As a result of the changes that have emerged over time in both the principles of space construction and the building envelope that carries / covers / separates the constructed spatial order, it has brought about the rapid spread of buildings with almost completely transparent building shells today. Developing technology responds rapidly to the increasing transparency demands of designers, and as a result, the number of buildings with transparent facades is increasing in our country as well as all over the world.

In addition to having a determining effect on indoor comfort conditions, building shells play a very effective role in the gain and loss of energy in buildings. For this reason, transparent facades, which are widely used today, have been the determining subject of this research.

Transparent surfaces are very important in determining the quality of comfort in buildings. Transparent surfaces are more permeable to heat gain and loss than other building elements. Therefore, the most energy gain and loss situations occur on transparent facades. In cases where the appropriate material selection is not made for the facade, the energy loads spent for heating the building in winter or cooling the

building in summer increase significantly. Similarly, in cases where the interior space does not receive enough natural light, energy loads increase due to the use of artificial lighting, and vice versa, uncontrolled daylighting negatively affects comfort conditions by causing glare problems. Since it will be difficult to correct such negative situations later, appropriate material selection and energy load calculations should be made during the design phase of the buildings.

The aim of this research is to examine the energy and light transmittance performances of the facades formed with glass material, which has been used as a transparent building material throughout history in building facades, and the facades formed with polycarbonate panels produced as alternative / innovative transparent facade material in recent years, and to evaluate the superior and weak properties of the materials.

Within the scope of the study, the transparency of the materials used in building facades in the historical process is emphasized and the two materials that are the subject of investigation are introduced with a detailed literature review. Weaknesses and strengths of the materials are analyzed comparatively. Thermal and visual comfort analyses and energy assessments were made through the Design Builder Building Energy Simulation program. A sample office building in Istanbul was modeled in the Design Builder program by considering office buildings, which have a high share in energy consumption. A total of seven different alternatives were analyzed for two groups, one with glass facades and the other with polycarbonate panel facades.

While making the evaluations, U value which is the Heat Transmittance Value, SHGC value which is the Solar Heat Gain Coefficient and VT value which is the Daylight Transmittance Value of the materials were taken into consideration. Assessments were made over the year 2022. Hourly and daily cooling load analyses for July 21, the hottest day, hourly and daily heating load analyses for January 1, the coldest day, hourly and daily heating load analyses for December 21, the day with the shortest daily illumination period, and total annual energy consumption assessments. The results of the simulations are presented in tables and graphs. The relationships between the light transmittance values of the materials and energy gains and between lighting loads and light transmittance values are shown by drawing graphs.

Due to the changes made in the production stages of the materials and secondary treatments, performance improvement was observed in all alternatives. When analyzed in terms of total annual energy consumption loads, PC-II saved 8.9% and PC-III saved 13.1% compared to PC-I. Similarly, when the poorest performing PC-I is taken as the starting point in the evaluation, G-I improved its performance by saving 11%, G-II by 16.7% and G-III by 16.3% of energy loads.

The performances of the materials show a consistent distribution within their groups. In polycarbonate panels, there is an inverse correlation between the light transmittance of the materials and their energy saving performance. In polycarbonate panels, energy performance increases as the VT value of the material decreases due to the layering in their internal structure, in this case, it would be best to choose the alternative suitable for the needs of the space to be used.

Polycarbonate panels can be easily produced in desired colors and shapes according to the demands of designers. Transportation and assembly processes are easy compared to glass. They also provide good sound insulation. All these features make polycarbonates more and more in demand day by day and the R&D studies of the material continue rapidly and new alternatives with improved performance are produced.

Although unit volume weights vary for both materials, polycarbonate panels are half the weight of glass. The very low unit volume weight of polycarbonates provides significant advantages by lightening the building load, especially when used in locations with high earthquake risk such as our country.

Both materials have weaknesses and strengths. It would not be the right approach to emphasize only one of the alternatives evaluated. Choosing the appropriate material by evaluating the needs of the space, time and user together will give the best result.





## 1. GİRİŞ

Günümüzde başta cam olmak üzere transparan cephe elemanları yalnızca yapı içerisine minimum düzeyde ışık alınmasını sağlayan öğeler olmaktan çıkmış, yapı kabuğu olarak tasarım aşamasından itibaren yapı üzerinde belirleyici rol alan, hatta çoğu kez yapının karakteristiğini belirleyen elemanlara dönüşmüştür. Bu durumun oluşmasında tasarımda estetik kaygıların ve hızlı gelişen teknolojinin etkisi büyüktür. Teknoloji sayesinde her geçen gün saydamlıktan ödün verilmeksizin performans özellikleri geliştirilmiş saydam yapı malzemeleri geliştirilmeye devam edilmektedir.

Yapı kabukları iç mekan konfor koşullarında belirleyici etkiye sahip olmalarının yanında yapılarda enerjinin kazanım ve kayıp durumlarında da oldukça etkin rol oynamaktadır. Bu sebeple günümüzde yaygın olarak kullanılan transparan cepheler bu araştırmanın belirleyici konusu olmuştur.

Bu bölümde çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemi açıklanmaktadır.

### 1.1 Araştırmanın Amacı

Yapı cepheleri, gelişen teknoloji ve mimari tasarım kaygılarının bir sonucu olarak gün geçtikçe transparanlaşmaktadır. Günümüzde saydam yapı elemanları cephe uygulamalarında en çok tercih edilen yapı malzemeleri haline gelmiştir. Yapı kabuğunun bir elemanı olarak cepheler, istenilen konfor koşullarının sağlanmasında ve binanın toplam enerji tüketiminde büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda araştırmanın amacı; yapı cephelerinde tarih boyunca saydam yapı malzemesi olarak kullanılan cam malzeme ile oluşturulmuş cam cepheler ile son yıllarda alternatif/yenilikçi transparan cephe malzemesi olarak üretilen polikarbonat paneller ile oluşturulmuş cephelerin iç mekan konfor koşullarından olan enerji ve ışık geçirgenlik performanslarının incelenmesi ve malzemelerinin üstün ve zayıf özelliklerinin değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

## **1.2 Araştırmanın Kapsamı**

Çalışma kapsamında yapı cephelerinde kullanılan malzemelerin tarihsel süreçteki transparanlaşmasına vurgu yapılarak, inceleme konusu olan iki malzeme detaylı literatür taraması ile tanıtılacaktır. Malzemelerin zayıf ve güçlü yönleri karşılaştırmalı olarak incelenecektir. İç mekan konfor koşullarından ısı ve görsel konfor sağlama analizleri ile enerji değerlendirmeleri yapılacaktır. Değerlendirmeler enerji tüketiminde yüksek pay sahibi olan ofis yapıları üzerinden ele alınarak; yapının cam cepheli olduğu durum ile polikarbonat panel cepheli olduğu durum olmak üzere iki grup için enerji analizleri yapılacaktır.

## **1.3 Araştırmanın Yöntemi**

Çalışmanın kapsamı gereği güncel malzemelerin ve uygulama örneklerinin takip edilip incelenmesi amacıyla çalışmanın başlangıcından tez yazımına kadar geçen süre boyunca devam eden yoğun literatür taraması ve aktarımı planlanmaktadır. Bu çalışmada üretilecek özgün kısım; ofis yapısının bilgisayar ortamında modellenmesi ile cam ve polikarbonat panel cepheli varyasyonlarının benzetim yöntemi kullanılarak elde edilecek analitik bulguların karşılaştırılmalı aktarımı ile olacaktır. Yapılan modellemeler ile kullanılan transparan malzemelerin, ısı ve ışık geçirgenlik derecelerine bağlı olarak oluşan iç mekan konfor koşulları analiz edilecek ve malzemelerin transparanlık dereceleri ve enerji performansları matematiksel veriler ile değerlendirilecektir. Çıkan sonuçlar oluşturulan tablo ve grafikler üzerinden yorumlanacaktır.

## 2. YAPI CEPHELERİ

Cephe, yapının bulunduğu lokasyon ve şartlardan bağımsız olarak her yapıda ilk algılanan tasarım ögesidir. Cephe kavramı için, ele alınan bağlam üzerinden literatürde çokça farklı tanımlama yapılmıştır. Ulusal literatürümüzde en sık kullanılan tanım; ‘bir binanın görünen yüzeylerinden her biri, özellikle ön yüz veya bina yüzüne dik doğrultuda sonsuzdan bakılan görünüş’ ifadeleriyle Mimarlık Sözlüğü’nde yer almaktadır (Hasol, 2012).

Literatürde yer alan farklı tanımlamalar üzerinden özgün bir tanımlama yapılacak olursa; cephe kavramı iç mekan ve dış hava arasında seperatör görevi gören, mekan sınırlayıcı, bir çeşit filtre olarak görev yapan yapı elemanı şeklinde tanımlanabilir.

Cephe, hem tasarım bağlamında yapının algılanması açısından hem de yapıda gerekli olan fiziksel koşulları sağlaması işlevi açısından önemli görevleri olan bir yapı elemanıdır. Bu nedenle, cephe tasarımı sadece estetik kaygılarla değil, aynı zamanda fonksiyonel gereklilikleri de göz önünde bulundurarak yapılmalıdır.

Bina cephelerinin tasarımı; binanın işlevi, çevre koşulları, malzeme seçimi ve yerel bina yaklaşımları gibi birçok faktöre bağlıdır. Tasarımın bağlı bulunduğu bu parametreler sonucunda ortaya çıkan cepheler birbirinden oldukça farklılık göstermektedir. Yapı cephelerinin bazıları basit bir düz kaplama iken diğerleri karmaşık bir şekil veya desenle tasarlanmış olabilmektedir. Hatta aynı malzemenin tasarım ve uygulama tekniklerinin farklılaştırılması ile oldukça farklı algılandığı örnekler de mevcuttur. Ayrıca, bazı cepheler doğal ışığı içeriye alacak şekilde delikli veya cam panellerle tasarlanırken, diğerleri tamamen kapalı/opak olabilmektedir. İyi tasarlanmış bir yapı cephesi, binanın dayanıklılığını artırırken aynı zamanda enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik sağlayabilir.

Bu bölümde; tarihsel süreçte cephelerin dönüşümü, enerji yükleri bağlamında cephe kavramı, cephelerde kullanılan malzemeler, cephelerde kullanılan transparan malzemeler ve cephelerden beklenen performans gereklilikleri açıklanacaktır.

## 2.1 Tarihsel Süreçte Cepheler

Geçmişten günümüze tarih boyunca yapı cepheleri, gelişen teknoloji ve imkanlarla birlikte büyük değişimlere uğramış ve sürekli olarak gelişmiştir. Cepheler, bir yapının dış görünümünü belirlemenin yanı sıra işlevsel, estetik ve teknolojik gereksinimlere cevap vermek amacıyla evrim geçirmiştir. Bu gelişim ve dönüşüm günümüzde de hız kesmeden devam etmektedir.

Tarihsel süreç içerisinde bakıldığında; antik dönemde sağlamlık, dışarıdan güçlü görünmek ve iç mekanı korumak amaçlarıyla yapı kabuğunda doğal taşlar kullanılırken, ortaçağ mimarisinde yine benzer amaçlarla yapı cephelerinde sert taş kaplamalar kullanıldığı görülmektedir.

Rönesans dönemi ise cephelerdeki dönüşümlerin başladığı süreç olarak gözlemlenebilir, bu süreçte estetik kaygılar daha ön plana çıkmıştır. Endüstri devrimiyle hemen her alanda olduğu gibi yapı cephelerinde de köklü değişimler olmuştur. Endüstriyel malzemeler olan demir ve çeliğin yapıda yoğun olarak kullanılması cephe karakteristiğinin de değişmesi olarak karşılık bulmuştur. Camın üretim teknolojisindeki gelişmeler yapıda cam malzemenin kullanılmasını arttırmış, ilk transparan cepheli yapı bu dönemde yapılmıştır.

20. yüzyılın başından itibaren modernizm gibi akımlar, yapı cephelerinin tasarımını etkilemiştir. Yapılarda işlevsellik ve basitliğe odaklanılırken; cam, beton ve çelik gibi malzemeler ön plana çıkmıştır.

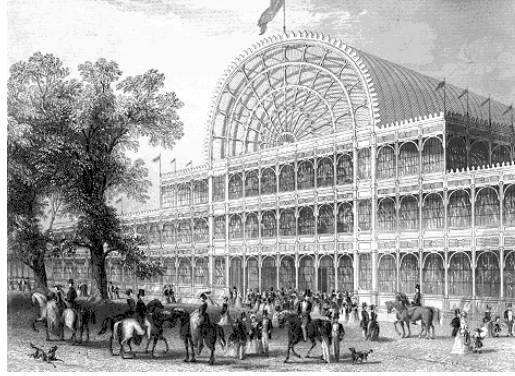
Hem mekân kurgulama ilkeleri hem de kurgulanan mekânsal düzeni taşıyan/örten/ayıran bina dış kabuğunda zaman içinde ortaya çıkan değişimler sonucunda, günümüzde neredeyse tamamen transparanlaşmış bina kabuklarına sahip yapıların hızla yayılması sonucunu beraberinde getirmiştir (Eyyüce, 2012). Tasarımcıların gittikçe artan transparanlık isteklerine gelişen teknoloji hızla yanıt vermektedir, bunun sonucunda da tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de transparan cepheli yapıların sayısı artmaktadır.

Bilinen en temel saydam yapı malzemesi olan cam malzemesinin üretiminden sonra mimariye geçişi çok uzun sürmemiştir. Tarihsel süreçte cam, ilk başta özellikle zengin sınıfa ait yapılarda pencerelerde kullanılarak dış etkenlere karşı iç mekânı izole etme

ve iç mekana ışık alınması amacıyla kullanılmıştır. İlk camlı pencere uygulamalarında kullanılan camın saydam tekniğinin tam olarak gelişmediği, daha opak ve yarı-saydam türdeki hali olduğu bilinmektedir.

Camın ilk olarak pencerelerde sabit bir eleman olarak uygulanmasıyla başlayan süreci zaman içerisinde açılabilir pencerelerin ve sonrasında da çift kanatlı pencerelerin geliştirilmesiyle devam etmiştir. Hız kesmeden devam eden gelişimin bir sonucu olarak cam malzeme günümüzde yalnızca pencerelerde kullanılmaktan çıkmış, döşemeden tavana olarak uygulanan ve giydirme cephe olarak tariflenen bugün sıkça gördüğümüz uygulama örneği haline gelmiştir.

Wigginton cam malzemenin mimarideki ilk gerçek uygulamasının Kuzey Avrupa’da gotik bir binada olduğunu belirtse de literatürde cam cepheli transparan ilk yapı Kristal Palas (Chrystal Palace) olarak kabul görmektedir (Wigginton, 1996). Şekil 2.1’de görülen görülen Kristal Palas, 1851’de seracılıkla uğraşan Joseph Paxton tarafından sanayi fuarı için tasarlamıştır, yapıda kullanılan parça camlar, dökme demir çubuklar tarafından taşınmıştır (Url-1, 2022).



**Şekil 2.1:** Kristal Palas (Url-1, 2022).

Bilim ve teknolojiye büyük ivme yapı cephelerinde de kendisine aynı hızla karşılık bulmuştur. Özellikle cam cepheli yapılarda bu durumu gözlemlemek oldukça kolaydır. Günümüzde en yüksek yapı olarak bilinen, 2010 yılında yapımı tamamlanan, Dubai’de bulunan Burj Khalifa binası da cam cepheli bir yapıdır, dünyada bunun gibi uç noktadaki örneklerde cam malzemeyi cephelerde sıkça görmek mümkündür. Ülkemizde cam cepheli yüksek katlı ilk uygulamalar; 1960’lı yılların sonuna doğru tasarlanan Zincirlikuyu Karayolları Binası ve Kızılay Emek İşhanı olarak

bilinmektedir. Konuralp Mimarlık tarafından tasarlanan Zincirlikuyu Karayolları Binası Şekil 2.2’de görülmektedir.



**Şekil 2.2:** Zincirlikuyu Karayolları Binası (Url-2, 2022)

Cepheler tarih boyunca büyük bir değişim ve evrim geçirmiştir. Bugün, yapı cepheleri teknolojinin ilerlemesi ve sürdürülebilirlik gereksinimleri doğrultusunda sürekli değişmeye devam etmektedir. İşlevselliğin yanı sıra estetik ve teknolojik gereksinimlere cevap veren cepheler, yapıların karakterini ve kimliğini belirlemektedir. Her geçen gün daha sürdürülebilir, akıllı ve interaktif yapı cephelerinin yaygınlaştığı görülmektedir. Cephelerde; daha çevreci binalar için enerji verimliliği sağlayan kaplamalı cam cepheler, fotovoltaik paneller ve yeşil duvar sistemleri gibi yenilikçi çözümler ortaya konmaktadır. Ayrıca günümüzde dijital teknolojilerin kullanımıyla interaktif ve dinamik cepheler de popüler hale gelmiştir.

Tarihsel süreç içerisinde yapı cepheleri incelendiğinde, hem tasarımda estetik kaygıların hem de bilimsel gelişimin bir sonucu olarak cephelerin transparanlaştığı görülmektedir. Dökme demir sistemler ile taşınan camlar ile başlayan süreç, bugün neredeyse ek taşıyıcıya dahi ihtiyaç duymadan kendisi taşıyıcı özellik gösterebilen tamamen şeffaf cephelere evrilmiştir. Cephelerde transparanlığın bu kadar artması saydam malzeme alternatiflerinin de oluşmasını beraberinde getirmiştir. Günümüzde yapı cephelerinde transparanlık yalnızca cam malzemeler ile değil, yüksek teknoloji ile geliştirilmiş yenilikçi malzemelerle de sağlanabilmektedir. Tüm bu gelişmeler pek çok yapı malzemesinin saydam ya da yarı saydam halinin üretilmesi için denemeler

yapılmasını sağlamıştır. Bugün bakıldığında beton ve ahşap gibi geleneksel malzemelerin bile şeffaf beton, transparan ahşap isimleriyle şeffaflaştırılmış denemelerinin yapıldığı görülmektedir buna ek olarak; Ethylen Tetra Fluoro Ethylen (ETFE), polikarbonat paneller gibi yenilikçi transparan malzemeler yapı sektöründe yoğun ilgi görmektedir. Gelişen teknolojiyle üretilen yenilikçi malzemeler cepheleri dolayısıyla da yapıları doğrudan etkilemektedir. Tüm bu gelişmeler bu çalışmanın ana konusunun transparan cepheler üzerinde yoğunlaşmasında belirleyici olmuştur.

## **2.2 Enerji Yükleri Bağlamında Cephe Kavramı**

Dünya’da kaynak tüketiminin zirveye çıktığı günümüzde, enerji korunumu her açıdan en önemli tartışma konularından birisidir. Binalar, dünya enerjisinin tüketiminde oldukça büyük pay sahibidir. Bu açıdan bakıldığında yapıların hemen her elemanın çok dikkatli seçilmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Binaların önemli bir elemanı olarak yapı cepheleri de bir binada kış döneminde en çok ısınn kaybedildiği, yaz döneminde de en çok ısınn kazanıldığı yapı bileşeni olduğu için, yapılarda enerji korunumunda en önemli bileşenlerden biri haline gelmiştir (Altın & Orhon, 2016).

Bu kapsamdaki bir diğer bakış açısı ise; metropellerin sayıca dünyadaki yerleşimlerin çok az bir kısmını oluşturmalarına rağmen tükettikleri toplam enerji oranının oldukça yüksek olmasıdır. Metropollerdeki yapıların çoğunun transparan cephe olduğu dikkate alındığında, transparan cephelerin malzeme seçiminin enerji tüketimindeki önemi bir kez daha göz önüne gelmektedir. Transparan cephe malzemelerinden geleneksel olarak en çok kullanılan cam malzemenin yapı cephelerinde ve mekanlarda giderek daha fazla kullanıldığı bilinmektedir. Binaya uygun olarak seçilmeyen cephe malzemeleriyle yapılarda enerji yüklerini kontrol altında tutmak zorlaşmaktadır ve bina kullanıcılarına gerekli konfor koşullarını sağlayamamaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında cephelerde kullanılacak olan malzemelerin enerji korunumunu sağlaması aynı zamanda da gerekli konfor koşullarını yerine getirebilecek potansiyelde olmasına dikkat edilmelidir.

Saydam yüzeyler yapılarda konforun kalitesini belirlemede oldukça önemlidir. Saydam yüzeyler ısı kazancı ve kaybı konusunda diğer yapı elemanlarına oranla daha geçirgendir. Dolayısıyla en çok enerji kazanım ve kayıp durumları transparan

cephelerde gerçekleşmektedir. Cepheye uygun malzeme seçiminin yapılmadığı durumlarda kışın yapının ısıtılması için ya da yazın yapının soğutulması için harcanan enerji yükleri önemli oranda artmaktadır. Benzer şekilde iç mekanın yeteri kadar doğal ışık alamadığı durumlarda yapay aydınlatma kullanımına bağlı olarak enerji yükleri artış göstermektedir, bu durumun tam tersi düşünüldüğünde gün ışığının içeriye kontrolsüzce alınması kamaşma problemi yaşanmasıyla konfor koşullarını olumsuz etkilenmektedir. Yaşanabilecek bu gibi olumsuz durumların sonradan düzeltilmesi zor olduğundan yapıların tasarım aşamasında uygun malzeme seçimi ve enerji yükleriyle ilgili hesaplamaları yapılmalıdır.

Uygun malzeme seçimiyle, güneş kontrolü ve gün ışığı kontrolü sağlanarak ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri, doğal gün ışığının içeri alınmasıyla, yapay aydınlatma ihtiyacının azaltılarak optimum aydınlatma koşulları sağlanabilirken aynı zamanda yapay aydınlatma ihtiyacı da azaltılabilmektedir. Üstün performanslı malzeme seçimiyle optimize edilmiş enerji tüketimi ve iç mekân konfor koşulları aynı anda sağlanabilmektedir.

Anlatılan tüm bu durumlar sbirlikte düşünüldüğünde, yapılarda enerjinin kazancı ve kaybı durumunda en önemli birimlerden birisi olan yapı kabuğundan transparan cephelerde kullanılan malzemeler ve performansları oldukça önemlidir.

### **2.3 Cephelerde Kullanılan Malzemeler**

Hem mimari biçimin oluşturulmasında, hem de iç mekan ile dış ortam arasında filtreleme yapılmasında önemli bir görev üstlenen yapı cephesi ve cephe bileşenlerinin malzeme seçimleri, önemle düşünülmesi gereken bir konudur. Yapı, cephesi üzerinden fiziksel çevre ile ilişki kurar (Küçüközdemir, 2003).

Bir yapının cephesinde kullanılan malzemeler o yapının görünüşünde dolayısıyla da uyandırdığı etkide önemli bir rol oynar. Yapı malzemeleri yapım faaliyetinin temelini oluşturduğu kadar, insanlar ile binalar arasındaki iletişimi sağladığı için de önemlidir.

Malzeme biliminin hızlı gelişiminin etkisi mimari üzerinden de okunabilmektedir. Önceleri yapı malzeme çeşitliliği oldukça kısıtlıyken, endüstrileşmeyle birlikte malzemeler çeşitlenerek yerleşik kalıpların dışına çıkmaya başlamıştır, günümüzde yapı cephelerinde kullanılan malzemelerin sayısı ve çeşitliliği oldukça fazladır.

Malzemelerin çeşitliliği arttıkça kullanım olanakları da genişlemektedir (Hegger, Drexler, & Zeumer, 2006) .

Hızla gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçların bir sonucu olarak istenilen performans özelliklerine hizmet eden malzemeler üretmeye yönelik çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Bu talebin bir karşılığı olarak her alanda olduğu gibi cephe malzemelerinde de malzeme çeşitliliği artmıştır. En genel hatlarıyla üretimi kolay yapılabilen, düşük maliyetli ve ihtiyaç duyulan performans ölçütlerin karşılayabilen yapı malzemesi üretimi için malzeme ve hammadde araştırmaları literatürde oldukça yaygın yer bulmaktadır.

Malzemelerin performanslarını sürekli olarak geliştirme çabaları sistemli bir şekilde günümüzde artarak devam etmektedir. Çalışma kapsamında daha önce de bahsedilen cam cepheler üzerinden bir örnek ile durum açıklanacak olursa; cam geçmişte en temel haliyle saydamlık sağlayan basit bir yapı ögesi iken, bugün yüzey işleme ve katmanlı üretim teknikleri sayesinde işlev ve tasarım açısından çok çeşitli imkânlar sunmaktadır. Tüm bu gelişmeler sonucunda üretilen yenilikçi malzemelerden geleneksel malzemelere kadar, yapı cephelerinde kullanılabilen malzeme çeşitliliği oldukça fazladır.

Yapı cepheleri için kullanılan malzemeler geniş bir yelpazede yer almaktadır ve seçimleri birçok faktöre bağlıdır. Var olan bu çeşitlilikte tek bir sınıflandırma yapmak gerçekçi olmayacaktır ancak en genel haliyle cephelerde kullanılan malzeme grupları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Metal esaslı malzemeler
- Ahşap esaslı malzemeler
- Cam esaslı malzemeler
- Polimer esaslı malzemeler
- Tekstiller/Membranlar
- Akıllı malzemeler
- Kil esaslı malzemeler

- Doğal taş esaslı malzemeler
- Çimento esaslı malzemeler
- Sıvalar, şaplar ve boyalar
- Kompozitler

Yukarıda sıralanan malzeme çeşitliliği arasından; ahşap esaslı, kil esaslı, doğal taş esaslı, çimento esaslı olanlar ile sıvalar, şaplar ve boyalar en geleneksel cephe kaplama malzemeleridir ve opak özellik gösterirler. Yapılan bu çalışma kapsamında transparan cepheler ele alındığından, transparan özellik gösterebilen; cam esaslı malzemeler, polimer esaslı malzemeler, tekstiller/membranlar, akıllı malzemeler ve yeni nesil kompozit malzemeler detaylı olarak ele alınacaktır.

## **2.4 Cephelerde Kullanılan Transparan Malzemeler**

Yapı kabuğunun belirgin bir parametresi olarak cephelerin değişimi sanayi devrimiyle birlikte başlamaktadır. 19. Yüzyıldan itibaren demir, çelik gibi yeni malzemelerin yapıda kullanımının gelişmesiyle yapı kabuğunun taşıyıcı olma özelliklerini kaybederek yalnızca ‘örtücü’ bir eleman olma özelliği kazanmasını sağlamıştır. Dökme demir ve cam ile inşa edilen Kristal Palas ile birlikte yapı kabuğu ilk kez şeffaflık kavramıyla birlikte anılmaya başlanmıştır (Orhon, 2013).

Günümüzde hem estetik anlayışla hem de işlevsel ihtiyaçların bir sonucu olarak, doğal aydınlatma ve havalandırmaya en iyi şekilde olanak veren, enerji korunumu sağlayabilen, kullanıcı gereksinimlerini karşılayabilen aynı zamanda da estetik olarak dış çevre ile görsel dengeyi kurabilecek biçimde tasarlanmış yapı cepheleri geliştirilmektedir. Bu gelişimin en temel noktası malzeme ölçeğinden başlamaktadır.

Saydam malzemeler, yapıların tasarımında ve estetiğinde önemli bir rol oynar. Bu malzemeler, doğal ışığın iç mekanlara girmesini sağlayarak daha aydınlık ve ferah bir

ortam oluşturur. Ayrıca, iç ve dış mekan arasında bir bağlantı sağlar ve binaların dış görünümünü zenginleştirir.

Gerek tasarımcıların gittikçe artan saydamlık istekleri gerek gelişen teknolojinin bir sonucu olarak saydam özellik gösterebilen ve yapı cephelerinde istenilen transparanlık düzeyine göre uygulanan malzeme çeşitleri mevcuttur. Bu malzemeler, bilinen en eski saydam malzeme olan camdan başlayıp günümüzde hala geliştirilmeye devam eden akıllı malzemelere kadar ulaşmaktadır. Bu bölümde transparan özellik gösterebilen malzemeler; cam esaslı malzemeler, polimer esaslı malzemeler, tekstiller/membranlar, yeni nesil kompozit malzemeler ve akıllı malzemeler olmak üzere beş alt ana başlıkta detaylı olarak incelenecektir.

#### **2.4.1. Cam esaslı malzemeler ve uygulama örnekleri**

Cam, en basit ifadeyle kum, soda ve kireçtaşından oluşturulan inorganik ve amorf yapılı bir malzemedir.

Kendine özgü özellikleri sayesinde diğerk malzemelerden kolaylıkla ayrışan çok eski tarihsel başlangıca sahip cam, farklı kimyasal fonksiyonlar ile çeşitli formlar alabilen bir malzemedir. Camın en basit malzemesi kumdur. Cam malzemenin en geniş kullanım alanlarından birisi mimaridir. Cam malzemenin, derinliğı, renk değışimi, parlaklığı, saydamlığı, ısı ve ışık geçirgenliğı, yansıtıcı oluşu gibi özellikleri sayesinde hem iç hem de dış mekanda kullanıcı isteklerini kolaylıkla karşılayabilmektedir.

Cam şeffaflığı ile geçirgenliğı çağrıştırması, içeri si ile dışarı si arasındaki sınırı ifade etmesi ile tarih boyunca mimari tasarımda etkisi olmuş bir malzemedir. En genel ifadeyle cam malzeme amorf iç yapılı, ışığı düzgün kırma özelliğıne sahip, geçirgen bir yapı malzemesidir. 20. Yüzyılda kullanımını giderek artan cam malzemeler yeni biçim ve denemelerin de önünü açmıştır (Sönmez & Demirtaş, 2009).

Cam malzeme yalınlığı, yekpare oluşu, transparan ve nötr oluşu gibi özellikleri ile diğerk malzemelerden rahatlıkla ayrışmaktadır. Cam malzemeler uygulama şekillerine

göre baskın ya da geri planda kalıp diğer malzemelerin ön plana çıkmasına olanak verebilecek şekilde kullanılabilir (Altınok, 2011).

Cam malzemenin teknolojik gelişmelere bağlı olarak cephelerde kullanılmaya başlanması ile birlikte, tasarımcılar ve kullanıcılar tarafından klasik pencere camlarının sağladığı olanaklar dışında farklı performans gerekliliklerini de sağlaması ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaçlardan bazıları; güneş ışınlarının zararlı radyasyon ısısına karşı koruma, iç mekan ile dış ortam arasındaki ısı dengesinin sağlanması, dayanıklılık, gürültü kontrolü, kamaşma kontrolü olarak sıralanabilir. Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde cam malzemeler bu ihtiyaçların hemen hepsine yanıt verebilmektedir.

Teknolojik gelişmeler sayesinde yüzeye uygulanan kaplamalar, filmler, cam panellerin sayısı ve camın diğer özelliklerinin değiştirilmesi gibi uygulamalar sayesinde camın performansı değiştirilebilmektedir. Tabakalanarak dayanımının artırılması, temperlenerek güvenli hale getirilmesi, ince film tabakalarının uygulanmasıyla güneş kontrolünün sağlanması gibi uygulamalar cam malzemenin performansını geliştirmeye yönelik yapılan uygulamalara örnektir. Cam malzeme yüzeyine yapılan kaplamalar ile camlar yansıtıcı özellik göstererek iç mekanda mahremiyet ve ışık kontrolü sağlayabilirler, Şekil 2.2’de yansıtıcı özellik gösteren camın cephede kullanıma ait örnek görülmektedir.



**Şekil 2.3:** Yansıtıcı özellik gösteren ayna camlı cephe uygulaması (Url-3, 2020)

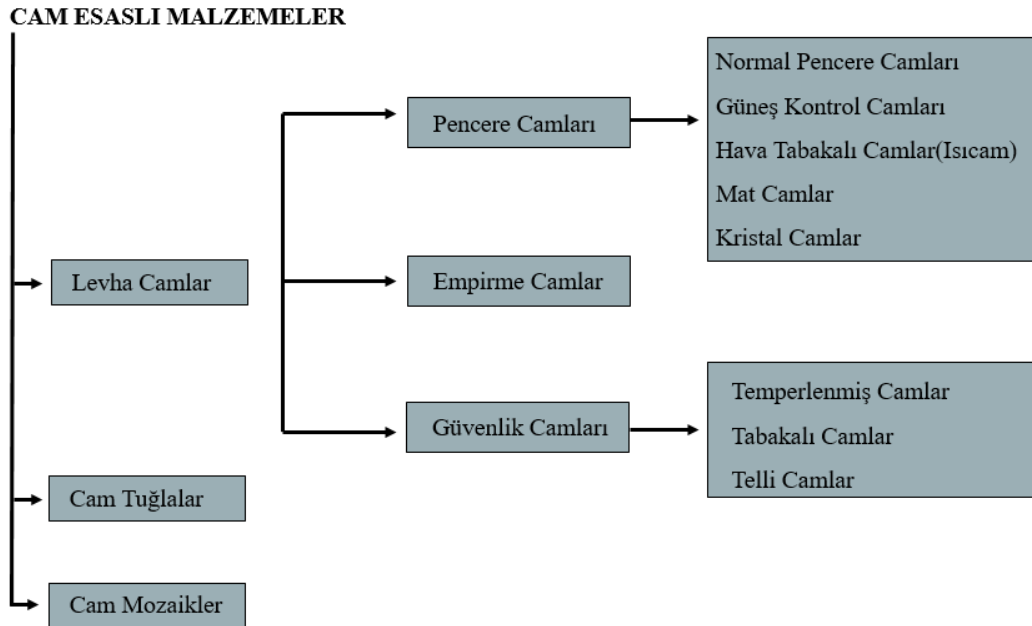
Zaman içerisinde düz camların yerine kullanılmaya başlanan renkli camlar ısı ve güneş kontrol kaplamaları, temperleme, laminasyon, opaklaştırma gibi ek işlemlerin uygulanmasıyla cam; cephede yaygın olarak kullanılan tuğla, mermer gibi malzemelerle dayanıklılık, güvenlik, yalıtım özellikleri açısından kıyaslanacak boyuta gelmiştir (Altınok, 2011). Malzeme yüzeyine yapılan uygulamalar ile istenilen

görünümün verildiği renkli cam uygulamasının iç mekandan görünümüne ait örnek görsel Şekil 2.4’te görülmektedir.



**Şekil 2.4:** Renkli cam cephe uygulamasının iç mekâna yansımaları (Url-4, 2020)

Cam malzemeler; üretim aşamasındaki farklılaşmaları, üzerine yapılan çeşitli uygulamalar ve iç yapısındaki farklılaşmalara bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir ve çeşitlenmektedir bu sebeple yapı cephelerinde kullanılan cam esaslı malzemeler de kendi içlerinde alt gruplara ayrılmaktadır bu sınıflandırma Şekil 2.5’te gösterilmektedir. Yapı cephelerinde kullanılabilen cam esaslı malzemeler temelde levha camlar, cam tuğlalar ve cam mozaikler olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir. Bu gruplamalardan levha camlar da kendi içinde alt sınıflandırmalara sahiptir. Bu kısımda yapılan sınıflandırmaya göre malzemeler incelenecektir.



**Şekil 2.5:** Cam esaslı cephe malzemelerinin sınıflandırılması, (yazar tarafından düzenlenmiştir).

## Levha Camlar

Levha camlar düz cam olarak üretilen, yapı ölçeğinde kullanılan camların en temel halidir. Mimari olarak düz camın üretilmesinde en yaygın olan cam tipi soda kireç camıdır. Cam malzelenin giydirme cephe sistemlerinde kullanılması düz camın üretilmesiyle olmuştur. Yapılarda kullanılan camların büyük bir kısmı levha camlardır.

Levha camlar doğrudan levha halinde üretilmiş olabileceği gibi bu camların ikincil işlemlerle farklılaştırılarak üretilen tabakalı ya da havalı türleri de vardır. Camın ilk üretiminden sonraki ikinci evresi, farklı ihtiyaçlara cevap vermesi için gerçekleştirilir. Bu ihtiyaçlardan en temel olanları ses geçişini önleme, ısı geçişi ve kaplama olarak sayılabilir. Yapılan bu işlemlerle farklılaşan düz camın mimarideki etkisi farklı kombinasyonlarla farklı sonuçlar vermektedir (Toydemir, 1990).

Levha camlar; kendi içerisinde pencere camları, empirme camlar ve güvenlik camları olarak üç alt grupta incelenmektedir.

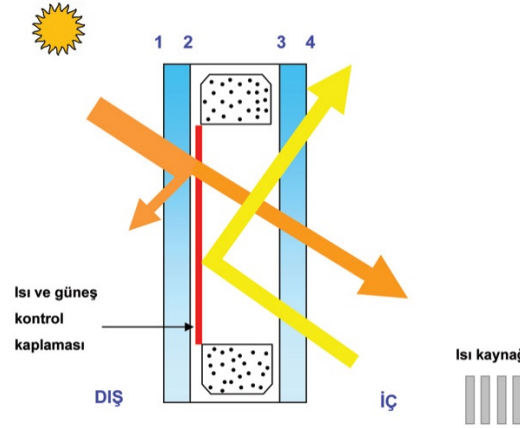
- **Pencere Camları**

Binalarda yapı malzemesi olarak kullanılan cam malzemenin büyük bir yüzdesini pencere camları oluşturmaktadır. Pencereleler dış ortam ile iç ortam arasında görsel ilişkinin kurulmasında çok önemli görev üstlenmektedirler (Toydemir, 1990). Günümüzde hemen her alanda özellikle ihtiyaç duyulan enerji korunumu, ses yalıtımı gibi performanslar zaman içinde cam malzeme için de sağlanması gereken bir ihtiyaç olmuştur. Bunun sonucunda pencerelerde kullanılan camların fonksiyonlarında da değişiklikler gerçekleşmiştir. Böylece pencere camları olarak değişik işlevlerin karşılanmasında kullanılan çeşitli camlar üretilmiştir. Bu cam çeşitleri; Normal Pencere Camları, Güneş Kontrol Camları, Hava Tabakalı Camlar, Mat Camlar, Kristal Camlar olarak sınıflandırılabilir.

**Normal Pencere Camları:** Bu tür camlar değişik kalınlıklarda ve çekme yöntemi ile üretilen camlardır. Isı yalıtımı sağlamak açısından cam kalınlığını artırmanın rasyonel bir yanı olmamasına karşın ses yalıtımı yönünden yararı daha belirgindir (Toydemir, 1990).

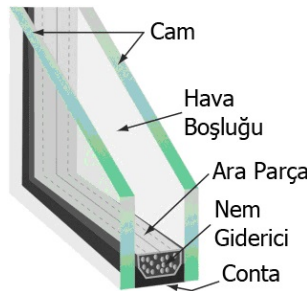
**Güneş Kontrol Camları:** Cephede camlardan geçen güneş ışınlarının ısıl yönden denetlenmesi güneş kontrol camları ile sağlanır. Güneş kontrol camları tek ya da çok

katmanlı olarak ve genelde iç yüzeye yapılacak olan kaplama ile güneşten gelen enerjinin ancak belirli bir yüzdesini geçirmek üzere üretilmektedir. Benzer şekilde iç mekandaki ısının da dışarıya çıkmasını engelleme prensibiyle çalışmaktadır. Güneş kontrol camları ile ısıl yönden denetleme sağlanmaktadır. Bu camların çalışma prensibi Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



**Şekil 2.6:** Güneş kontrol camı çalışma prensibi (Url-5, 2020).

**Hava Tabakalı Camlar:** Tek katmanlı levha camlar ısı kaybı yönünden büyük kayıplara neden olmaktadır. Bu durum günümüzün en temel ihtiyaçlarından birisi olan enerji korunumu ile çalışmaktadır. Bu duruma engel olmak için iki adet cam yüzeyi oluşturularak arada belirli kalınlıkta hareketsiz bir hava tabakası ile hava tabakalı camlar üretilmektedir. Hava tabakalı camlar için ülkemizde ısıcam kelimesi de yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı kaybını önlemek için yapılan bu sistem aynı zamanda sesin geçmesini de önemli ölçüde engellediği için bu camlar ses geçmesi istenmeyen hallerde de kullanılabilir. Ancak ses yalıtımı sağlanması istenilen durumlarda iç ya da dış tarafa gelecek olan camın kalınlığı diğerlerinden farklı olarak seçilmelidir. Cam levha sayısı artırılıp, cam kalınlıkları farklılaştırılarak ısı ve ses yalıtımı açısından daha yüksek performanslı camlar elde edilebilir. Şekil 2.7’de hava tabakalı camların iç yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.7:** Hava tabakalı camın iç yapısı (Url-6, 2020).

**Mat Camlar :** Mat camlar; düz levha cam üzerine uygulanan ikincil işlemler ile, özellikle mahremiyet sağlamak istenilen durumlarda kullanılan cam tipleridir. Bir diğer ifadeyle kullanıcının ya da mekanın ihtiyacı doğrultusunda cama uygulanan işlemler ile camın saydamlık özelliğinin azaltılmış olduğu cam tipleridir.

Camların matlaştırılması işlemi için camın kalınlığı önemli bir etken değildir, her cam matlaştırılabilir. Matlaştırma işlemi camın yüzeyini pürüzlendirerek saydamlığını bozduğundan camın arkasını göstermemesini sağlar. Bu işlemle birlikte camın ışık geçirgenliği de azalır. Ancak bununla beraber pürüzlendirilmiş cam yüzey, ışığı yeniden yayan bir ekran oluşturacağından bu tür camlar ışığın daha derinlere yayılmasında kullanılabilirler (Toydemir, 1990).

**Kristal Camlar :** İçyapısında yoğunlukla kurşun oksit içeren cam tipleridir. Kurşun oksit cama berraklık verirken camın ışık geçirgenliğini arttırmaktadır aynı zamanda da camın sertliğini azaltmaktadır. Kristal cam diğer cam türlerine kıyasla nispeten yumuşak bir tür olması nedeniyle işlenmeye uygun bir cam türüdür. Kristal camlar gerek yüzeylerinin düzgünlüğü ve gerekse ışığı çok iyi geçirmesi gibi özellikleri yanı sıra işlenebilmesinin sağladığı yararlar sayesinde ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılabilmektedir (Toydemir, 1990).

- **Empirme Camlar**

Empirme camlar, camın üretim aşamasında dökme-silindirme yöntemi ile şekillendirilen camlardır. Düzlem bir döküm masası üzerine dökülen erimiş cam hamuru üzerinden, üstünde girinti – çıkıntı şeklinde desen bulunan metal bir silindir geçirilmesi ile diğer bir deyişle baskılama yöntemiyle elde edilen camlardır (Toydemir, 1990). Bu camlar kullanım yerlerinden kaynaklanan ya da desenlerinin belirli şekillere benzetilmesinden oluşan isimlerle buzlu cam, katedral camları, sitriye camlar gibi farklı şekillerde adlandırılırlar. Buzlu camlar özellikle görüntü istenmeyen, mahremiyetin arandığı yerlerde kullanılırlar.

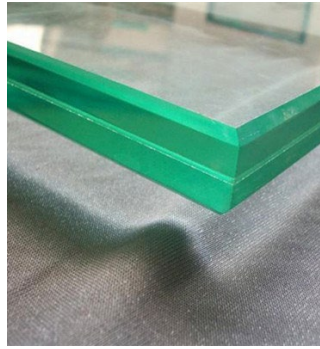
- **Güvenlik Camları**

Güvenlik camları, cam yüzeyine yapılan kaplamalar ile camın çok zor kırılan ya da kırıldığında kesici parça oluşturmayan hale geldiği camlardır. Böylece camın kırılması halinde kullanıcılara verebileceği olası zararın önüne geçilmiş olur. Üretim

aşamasında yapılan bazı uygulamalarla, bu camlar ateşli silahların öldürücü etkisinden koruyacak yapıda olabilmektedir. Binalarda yaygın olarak kullanılan güvenlik camlarının ortak özellikleri ise zor kırılmak, dağılmamak ve parçaların kesici ve öldürücü etkisi olmamak şeklinde sıralanabilir. Güvenlik camları, temperlenmiş cam, tabakalı cam ve telli cam şeklinde üç alt grupta sınıflandırılabilir.

**Temperlenmiş Camlar :** Yapılarda düz cama kıyasla daha fazla mukavemet istenen durumlarda ve merdiven korkulukları gibi camın kırılması halinde kesici parça etkisinden kaçınmak gereken yerlerde kullanılan güvenlik camları çeşididir. Üretim aşamasında 500-600°C' a kadar ısıtılmış camın ani olarak soğutulmasıyla üretilmektedir. Üretim yöntemi dolayısıyla ön gerilmeli camlar olarak da bilinirler (Toydemir, 1990). Temperlenmiş camlar çok zor kırılmaktadır ve kırıldığı zaman çok küçük parçalara ayrıldığı için kesici parça etkileri çok azdır. Ancak zor kırılmalarına karşın noktasal darbelere, özellikle köşe noktalarından gelecek olan darbelere karşı oldukça hassastırlar.

**Tabakalı Camlar :** İki cam katmanı arasına polivinil bütiral folyo tabakasının yerleştirilmesiyle oluşturulan camlardır. Renkli ve renksiz olanları ile adi cam, mat cam ve güneş kontrol camlarının değişik düzenlemeleri halinde üretilmektedirler (Toydemir, 1990). Tabakalı camda katmanlaşma Şekil 2.8'de görülmektedir.



**Şekil 2.8:** Tabakalı (lamine) cam örneği (Url-7, 2020).

Yaygın kullanımda lamine cam olarak da bilinmektedirler. Lamine camlar kırılmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Çok yüksek kuvvet karşısında kırıldıklarında ise büyük parçalar halinde kırılarak kullanıcıların kaçışına imkan verirler. Düzcam, temperlenmiş cam ve tabakalı camlara ait olası darbe durumunda kırılma davranışları Şekil 2.9'da görülmektedir.



**Şekil 2.9:** Farklı cam tiplerinin kırılma davranışları (Url-8, 2020).

**Telli Camlar :** Camın hem kırılmaya karşı direncini arttırmak hem de kırıldığında dağılmasını engellemek üzere içine tel yerleştirilmesi ile elde edilen camlardır. Hem mekanik darbelerde hem de ısı şoklarında dağılmazlar. Yangın sırasında patlayabilen adi camların dezavantajı telli camlarda üretimiyle giderilmiştir. Telli camlar kırılırsa bile dağılmazlar (Toydemir, 1990). Renkli ve renksiz olarak üretilebilen telli camlara ait örnek görsel Şekil 2.10’da görülmektedir.

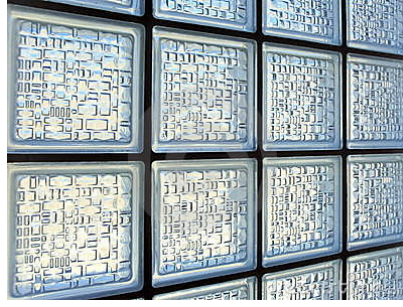


**Şekil 2.10:** Telli cam örneği (Url-9, 2020).

### **Cam Tuğlalar**

Cam tuğlalar presleme yöntemi ile şekillendirilen iki adet yarım cam tuğlanın kenarlarının sıcakta eritilerek birbirlerine yapıştırılması ile elde edilmektedir. Karşılıklı iki katman arasındaki hava tabakasının varlığı sayesinde cam tuğlalar iyi bir ısı tutucu görevi görmektedirler, aynı zamanda istenilen boyut ve renklerde üretimleri yapılabilmektedir. Farklı alternatiflerde üretilebilmesiyle farklı ışık geçirgenlik derecelerine sahip olan cam tuğlalar elde edilmektedir (Toydemir, 1990). Cam tuğlalar karşılıklı iki katmanı arasındaki havanın varlığıyla iyi bir ısı tutucu olmalarının

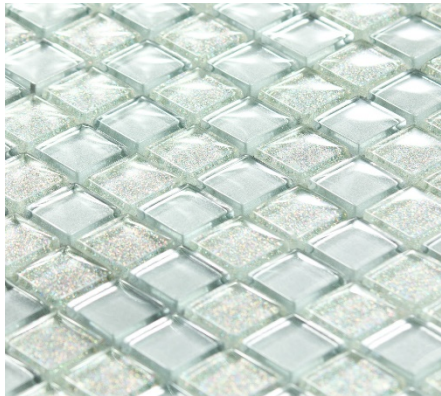
yanında aynı zamanda ses yalıtımı da sağlamaktadırlar. Cam tuğlaların görünümüne ait örnek görsel Şekil 2.11’de görülmektedir.



**Şekil 2.11:** Cam tuğla duvar örneğinden bir kesit (Url-10, 2020).

### **Cam Mozaikler**

Cam hamuruna üretim aşamasında yapılan katkılar ile cam malzemenin saydamlık düzeyinde değişiklikler yapılabilmektedir. Cam hamuruna üretim aşamasında yapılan katkılar ile malzemenin saydamlığı azaltılabilmektedir bu sayede cam kaplama malzemesi olarak da kullanılabilmektedir. Bu şekilde üretilen cam mozaikler genellikle dış etkilere karşı oldukça dayanıklı olmaları avantaj sağlarken kullanılacağı yerlere uygun seçim yapılmalıdır. Kaplama yapıldığı dış duvarlarda iç mekandan gelen su buharının dışarı çıkmasına izin vermedikleri ya da çok az geçirgen oldukları için özellikle sıcaklık farklarının yüksek olduğu iklim bölgelerinde kullanılması durumunda yapı hasarları ortaya çıkabilmektedir. Şekil 2.12’de cam mozaik kaplama malzemesine ait örnek görsel görülmektedir.



**Şekil 2.12:** Cam mozaik kaplama malzemesi örneği (Url-11, 2020).

## 2.4.2 Polimer esaslı malzemeler ve uygulama örnekleri

Türk Dil Kurumu sözlüğünde polimer; tekrarlanan yapısal kümelerin oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı bileşikler olarak tanımlanmıştır (TDK, 2011). Polimeri oluşturan her bir küçük molekül ise monomer olarak adlandırılır. Polimerler sonuçta birçok küçük molekülün bir araya gelmesiyle oluştuğundan makro moleküllerdir (Aydın, 2004).

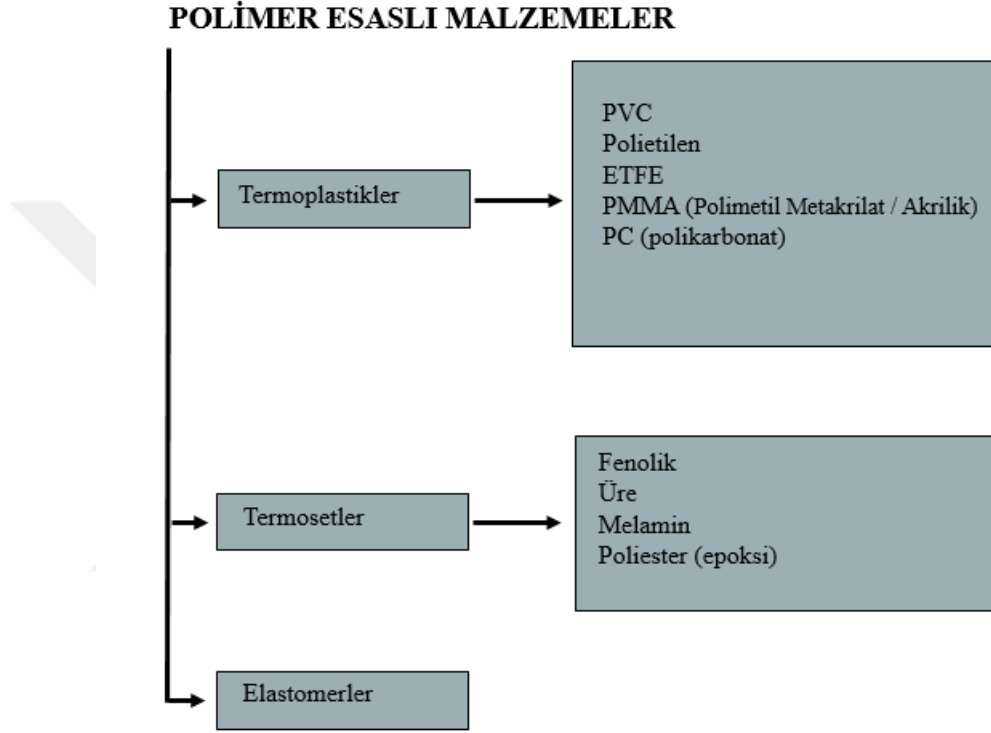
Plastikler büyük molekül kütlesi olan polimerlerdir, camı andıran bir yapıya sahiptir ve ahşap malzemeler gibi işlenebilirler. Plastiklerin yapı taşları olan monomerler sentetik ya da doğal olabilmektedir. Plastikler türlerine göre oldukça farklı özellik gösterebilmektedirler. Ancak genel hatlarıyla ortak özellikleri için; ısı iletkenlikleri düşük, genleşme katsayıları ve çekme dayanımları yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca hemen hepsi suya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Dezavantajlı oldukları durumlar ise aşırı ısınmalarında dayanıksızlaşmaları ve aşırı soğumaları durumunda kırılma durumlarıdır. (Hegger, Drexler, & Zeumer, 2006).

Plastiklerin yapı sektöründe kullanımı oldukça yenidir. 19. Yüzyılın ortasından beri üretilmelerine karşın plastiklerin mimarlıkta kullanılması ancak 1960'lardaki fütürist tasarımlarla mümkün olabilmıştır. Plastikler, ilk başlarda malzeme performanslarındaki bir takım istenmeyen özellikleri yüzünden yapı sektöründe 1980'lere kadar çok fazla rağbet görmemiştir. Günümüzde teknoloji sayesinde performans özellikleri geliştirilmiş, kusurları giderilmiştir ve bu sayede sıkça kullanılan bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır (Hegger, Drexler, & Zeumer, Adım Adım Yapı Malzemeleri, 2012).

Polimer malzemeler erimiş halde kalıplara dökülerek yarı işlenmiş ürünler haline getirilir. Farklı katkı maddeleriyle istenilen renk, form ve özelliklerde üretilebilmektedirler. Plastikler opak ya da transparan olarak üretilebilirler. Plastiklerin polimetilmetakrilat gibi bazı çeşitleri hem çok berraktır hem de hafiftir, bu özelliği sayesinde camın yerine kullanılabilmektedirler. Bir diğer üstün özellikleri ise kimsa malzemelere karşı gösterdikleri dayanımdır. Dezavantajlı olabilen özellikleri ise ultraviyole (UV) ışınlarından etkilenmeleri olarak sayılabilir. Bu durumlar malzeme üretim aşamasında aditif madde kullanılarak yanma hızı

yavaşlatılması ve karbon siyahı gibi katkı maddeleri kullanılarak UV dayanımı kazandırılmasıyla geliştirilebilmektedir (Aydın, 2004).

Plastikler iç yapılarına göre; Termoplastikler, Termosetler ve Elastomerler olarak üç alt ana başlıkta sınıflandırılmaktadır. Bu alt başlıklar da kendi içlerinde çeşitlilik göstermektedir. Bahsi geçen bu sınıflandırma Şekil 2.13’de görülmektedir. Bu kısımda yapılan sınıflandırmaya göre malzemeler detaylı incelenecektir.



**Şekil 2.13:** Polimer esaslı cephe malzemelerinin sınıflandırılması, (yazar tarafından düzenlenmiştir).

### **Termoplastikler**

Termoplastikler; ısı ve basınç uygulandığında plastik özelliklerini kaybetmeyip koruyan güçlü plastikler olarak tanımlanmaktadır. Isı ve basınç uygulanarak, malzemenin yorulma sürecine kadar çok kez şekillendirilebilirler. Termoplastiklerin zayıf asit, baz ve tuz çözeltilerinde etkilenmemeleri güçlü özelliklerindendir (Aydın, 2004). Bu gruba ait yapı malzemeleri de kendi içinde Polivinilklorür (PVC), Polietilen

(PE), Etylen Tetra Fluoro Etylen (ETFE), Polimetil metakrilat (PMMA) ve Polikarbonat (PC) olarak alt gruplarda sınıflandırılmaktadır.

- **Polivinilklorür (PVC)**

Yüksek mukavemete sahip olması, kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanıklılığı, kendi kendine yanmazlık ve uygun maliyetli olması gibi üstün özellikleri sayesinde en çok kullanılan plastik türlerinden birisidir. Pencere ve kapı profillerinde, duvar kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

- **Polietilen (PE)**

Polietilen; aşınmaya karşı düşük direnç katsayısına sahip olmaları, yüksek darbe dayanımları, kimsayallara karşı güçlü dayanımları, geniş çalışma sıcaklığı, mekanik işleme kolaylığı, su geçirmezliği, kolay temizlenebilmeleri ve düşük maliyetli olmaları gibi üstün özellikleri sayesinde geniş kullanım alanlarına sahiptir. Genellikle ince film halinde kaplama özellikli olarak kullanılırlar (Yılmaz, 1998).

- **Etylen Tetra Fluoro Etylen (ETFE)**

Tetrafloroetilenin etilen ile birleşmesiyle ETFE polimeri üretilmektedir. İç yapısı sayesinde kolayca şekil alabilen, kalıptan geçebilen plastik türüdür. Ayrıca kimsayal unsurlara ve UV ışınlarına karşı oldukça dayanıklı oluşuyla yapı sektöründe sıkça kullanılmaktadır (LeCuyer, 2008).

Her ne kadar ilk ortaya çıkış amacı mimari olmasa da zaman içerisinde olumlu yönleriyle sıklıkla tercih edilen bir yapı malzemesine dönüşmüştür. Günümüzde cam malzemenin yerini alarak çatı ve cephe kaplama malzemesi olarak yapı kabuğunda sıklıkla kullanılmaktadır (Masih, Lau, & Chilton, 2015).

ETFE'nin yüksek saydamlık sağlaması, cam yerine sıklıkla tercih edilmesini sağlamıştır. Aynı zamanda, ETFE malzemesi, cam yüzeylerin oluşturduğu yüksek yansıtıcı ortamın aksine akustik olarak uygun koşulları da sağlayabilmektedir (Gayle, Kolokotroni, Cripps, & Tanno, 2001). ETFE film yüzeyleri kullanılacak fonksiyonda istenilen özelliklere göre tamamen şeffaf, mat, baskılı ya da özel desenlerle, beyaz veya mavi renkli ve UV yalıtımlı olarak üretilebilmektedir, bu da tasarımcılara esneklik sağlamaktadır. Örneğin, desenli ETFE türleriyle ısı performans

iyileştirilebilmekte, g n ş ğ  kontrol edilebilmekte, iç mekan içerisinde oluşabilecek kamaşma gibi soruların önüne geçilebilmektedir (Sert, 2016).

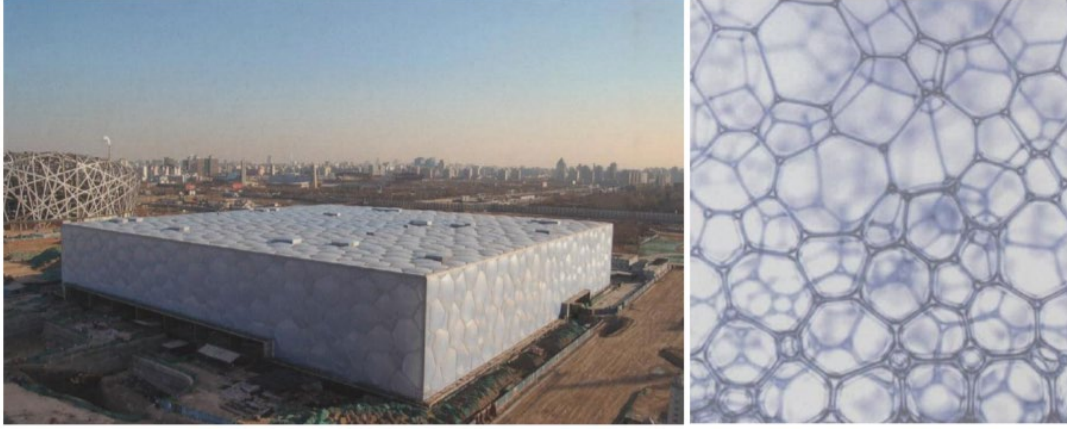
Yapı kabuğunda ETFE'nin kullanıldığı uygulama örneklerinden bazıları aşağıda incelenenecektir:

 ngiltere'de 2001 yılında yapımı tamamlanan, şekil 2.14'te görülen, Eden Sera Projesinde kabuk olarak ETFE malzemesi kullanılmıştır. Bitkilerin yetiştiği ve sergilendiği seralar için maksimum güneş geçirgenliği ve hafiflik istenen projede, cam malzemenin %1 ağırlığında olan ve cama kıyasla daha yüksek oranda morötesi ışık geçirme özelliklerine sahip ETFE tercih sebebi olmuştur. Kullanılan transparan kabuk sayesinde bitki canlılığı için iç ortamda gerekli olan g n ş ğ  maksimum düzeyde sağlanmıştır (LeCuyer, 2008).



**şekil 2.14:** Eden Sera Projesi, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda) (LeCuyer, 2008)

Bir diğer örnek ise   in'in Pekin kentinde bulunan Su Küpü olarak da anılan Ulusal Yüzme Merkezi yapısıdır. 2008 yılı Yaz Olimpiyat Oyunları yüzme sporları için yapılmıştır. Yapı kabuğu tasarımı su kabarcıklarından esinlenilmiştir ve bu algı ETFE'nin cephe malzemesi olarak kullanılması ile sağlanırken iç ortama yüksek düzeyde aydınlık sağlanmıştır. ETFE cephe malzemesiyle yapının içerisine yüksek oradan güneş ışığı alınmasıyla doğal aydınlatma sağlanarak, yapay aydınlatmadan doğacak elektrik enerjisi tüketim yükleri azaltılmıştır. Ayrıca mekanda yüksek seyirci yoğunluğu olan zamanlarda ETFE'nin sağladığı bir diğer üstün özellik olan akustik yalıtım ile gerekli konfor koşullar sağlanmıştır. Bu bağlamda, tasarımda alınan kararlar ve cephede ETFE kullanılmasıya toplam %30 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır (LeCuyer, 2008). Yapıya ait iç mekan ve dışarıdan görünüş görselleri şekil 2.15'te görülmektedir.



**Şekil 2.15:** Ulusal Yüzme Merkezi, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda) (LeCuyer, 2008)

ETFE uygulamasının incelendiği bir diğer örnek yapı ise Kazakistan'ın Astana kentinde bulunan ve 2008 yılında yapılan Khan Shatyr 'Han Çadırı' Eğlence ve Alışveriş Merkezi yapısıdır. Yapının bulunduğu konum itibarıyla yaz ve kış mevsimlerindeki sert iklim koşullarından minimum düzeyde etkilenmesi için, cephede iyi yalıtım özelliğine sahip ve güneş ışığını yüksek oranda içeriye alabilen ETFE yastıklar tercih edilmiştir (LeCuyer, 2008). Yapıya ait dış görünüş ve iç mekandan görseller Şekil 2.16'da görülmektedir.



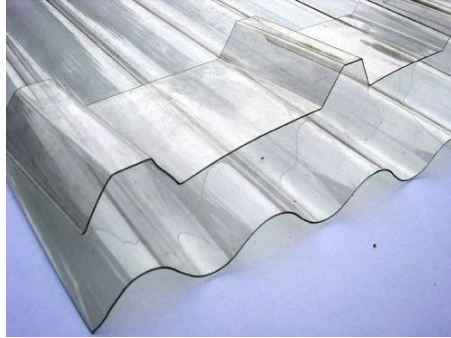
**Şekil 2.16:** Han Çadırı AVM, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda) (LeCuyer, 2008)

Yapı sektöründe, pek çok farklı amaç doğrultusunda ETFE yapılarda cephe kaplama malzemesi olarak sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. İncelenen örneklerde görüldüğü üzere, bir bitkinin yetiştirilme ortamını sağlamak amacıyla iyi termal yalıtımı ve yüksek ışık geçirgenliği sağlamasından, bir spor salonunda yüksek ses enerjisinin dışarı yayılımını önleyerek yüksek akustik yalıtımı sağlayan bir malzeme

olmasından veya geniş açıklık geçen projelerde hafif strüktürlerin oluşturduğu büyük çerçeveleri kapatacak uygun boyutta, hafif bir malzeme olması ve uygulama kolaylığından dolayı tercih edilebilmektedir. Cama göre daha hafif olması, kendini temizleyebilme özelliği gösterebilmesi, bakım gerektirme sıklığının az oluşu, yapıda enerji giderlerini azaltabilme özelliği ve uzun ömürlü bir malzeme olmasından dolayı ETFE'nin mimaride kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır ve bu durum gelecekte de daha fazla tercih edileceğini göstermektedir (Sert, 2016).

- **PMMA (Polimetil Metakrilat / Akrilik)**

PMMA, yüksek saydamlıkta termoplastik bir polimer olup metilmetakrilat monomer'in polimerizasyonuyla elde edilir. Çoğunlukla akrilik ya da pleksiglas ticari adlarıyla da bilinmektedir. Sağladığı yüksek oranda saydamlık, çizilme dayanıklılığı, sert, rijit, dış etkilere karşı dayanıklı olması ve cama göre hafif bir malzeme olmasıyla alternatif saydam malzemeler arasından tercih edilmektedir (Hegger, Drexler, & Zeumer, Basics Materials, 2006). şekil 2.17'de PMMA'nın örnek görüntüsü görülmektedir.



**şekil 2.17:** PMMA (Url-12, 2020).

Akrilikler kullanılacak yerlerdeki ihtiyaçlara göre monolitik bir levha şeklinde ya da ekstrüde çift duvar halinde  retilerler. Mimaride seralar ve atriumlar gibi, yüksek ışık geçirgenliğine, hafifliğe ve darbe direncine karşı dayanıklılığın sağlanması gereken yerlerde kullanılmaktadır. şekil 2.18'de PMMA'dan üretilmiş sera  rneği görülmektedir.



**Şekil 2.18:** Akrilik kullanılmış sera örneği (Url-13, 2020).

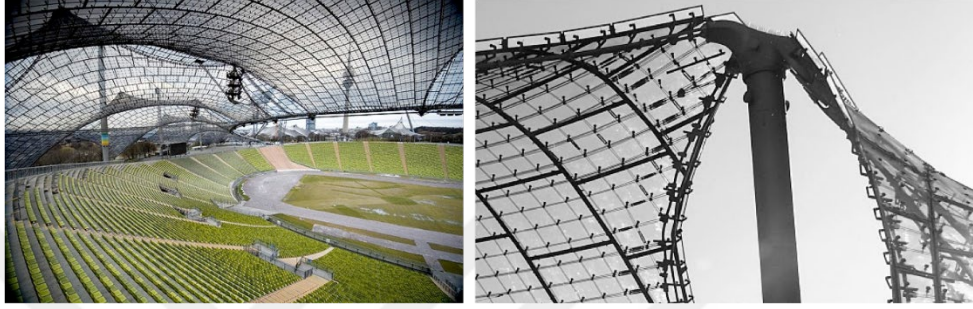
Akrilikler, yüksek düzeyde optik performans göstermeleri, mukavemetlerinin yüksek olması, hafif bir malzeme olmaları, ihtiyaçlara göre alternatif renklerde ve formlarda üretilibilmeleri gibi üstün özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Akriliklerin zayıf olduğu özellikleri ise yanmaya karşı dayanımsız olmalarıdır, dolayısıyla kullanılacak olan mekanlarda fonksiyon ihtiyaçlarına göre bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Akrilik malzemenin cephede uygulama örneklerinden birisi; İngiltere'nin Londra kentinde bulunan, yapımı 2008 yılında tamamlanan Reiss Merkez Binasıdır. Yapı fonksiyon olarak hem ofis hem de konut olarak karma kullanımlı tasarlanmıştır. Bina cephesi, akrilik panel perde ve arkasında bulunan cam tabakadan oluşur. Cephenin malzeme karakteri, tasarımcı tarafından yarı saydam bir filtre olarak tasarlanmıştır. Yapıya ait dış görünüm ve iç mekan görselleri Şekil 2.19'da görülmektedir (Url-14, 2020).



**Şekil 2.19:** Reiss Merkez Binası, Yapının genel görünüşü (solda), Yapının iç hacminden görünüm (sağda) (Url-15, 2020).

Akriliğin kabuk malzemesi olarak kullanıldığı bir diğer örnek ise 1972 yılında yapılmış olan ve yapıldığı dönemde sınırlarını zorlayan Münih Olimpiyat Stadyumudur. Akrilik paneller, güneş ışığı altında parlayarak, bu ışığı, gökyüzünü ve çevreleyen peyzajın rengini yansıtmaktadır. Alan yapay aydınlatmayla aydınlatıldığında ise paneller alanın üstünde toparlanmış bir bulut topluluğu oluşturup, soluklaşarak, yansıtma özelliği göstermektedir. Münih Olimpiyat Stadyumuna ait görseller aşağıda Şekil 2.20’de görülmektedir.



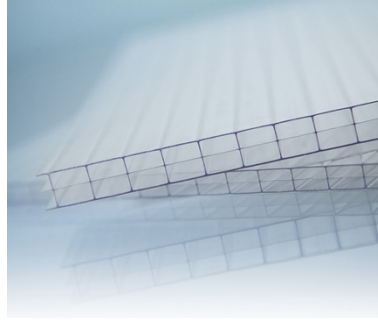
**Şekil 2.20:** Münih Olimpiyat Stadyumu, Yapının genel görünüşü (solda), Detay görünüm (sağda) (Url-16, 2020).

- **Polikarbonat (PC)**

Polikarbonatlar, reçineden ekstrüzyon veya enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle üretilen bir çeşit termoplastik türüdür. Üretim aşamalarındaki çeşitlendirmeler ile saydam, yarı saydam, farklı iç yapılara sahip ve farklı renklerde üretilabilmektedirler. Yüksek ışık geçirgenliği, ısıya, darbeye ve kimyallara yüksek dayanımı gibi üstün özellikleri ile çok çeşitli alanlarda kullanılabilmektedirler (Hegger, Drexler, & Zeumer, Basics Materials, 2006).

Üretim, nakliye ve montaj aşamalarının kolaylığı, ışık geçirgenliğindeki performansı, ses yalıtımı sağlaması, kırılmaya karşı dirençli oluşu, çevre koşullarına karşı yüksek dayanım gösterebilmesi, su geçirimsizliği ve soğuk büküm alabilme özellikleri sayesinde yapı sektörü, polikarbonat panellerin en yoğun kullanıldığı alanların başında gelmektedir. Gelişmiş düzeyde üretilen polikarbonat paneller ile yapılarda pasif güneş enerjisi ve gün ışığı geçirgenliği açısından istenilen konfor koşulları sağlanabilmektedir. Polikarbonat levhalar, yüksek düzeyde ses izolasyonu sağlarlar, ses bariyeri olarak da kullanılmaktadırlar (Url-17, 2020).

Polikarbonat levhalar üretim şekillerine ve ihtiyaçlarına göre solid levhalar halinde ya da oluklu olarak üretilebilirler. Oluklu polikarbonat levhalar Şekil 2.21’de görüldüğü gibi iki duvarlı ya da çok duvarlı olabilirler. Levhaların iç yapılarındaki farklılaşmalar malzemenin performansını doğrudan etkilemektedir.



**Şekil 2.21:** İki Duvarlı Polikarbona Levha Örneği (Url-18, 2020).

Polikarbonat malzemenin cephede kullanıldığı projelere bir örnek olarak Londra’da bulunan 2003 yılında yapılan Laban Çağdaş Dans merkezi incelenebilir. Şekil 2.22’de görüldüğü üzere kavisli cepheler, hem ısı yalıtımı sağlayan hem de görsel bir ekran görevi gören şeffaf, yarı saydam ve farklı renk tonlarındaki polikarbonat levhalar ile kaplanmıştır. Renkli, şeffaf polikarbonat paneller parlamaya ve ısı radyasyonuna karşı koruyucu görev görmüşlerdir ve bu durum yapının genel enerji sistemine katkı sağlamıştır (Url-19, 2020).



**Şekil 2.22:** Laban Çağdaş Dans Merkezi, Londra (Url-20, 2020)

Polimerler arasında cephe kaplama malzemesi olarak en iyi performans gösterenler akrilikler ve polikarbonat panellerdir. Uygun fiyat aralığı, darbe dayanımının yüksek olması, çizilmelere karşı uzun süre dayanabilmesi, opak ve renkli olarak üretilebilmesi, suya ve havaya direncinin yüksek olması gibi üstün özelliklerle tercih sebebi olmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte malzemelerin performansları

her geçen gün artmaya devam etmektedir, bu durum gelecekte de bu malzemelere olan talebin artacağını düşündürmektedir.

### **Termosetler**

Termosetler, sertleştirme süreci sırasında bir ađ yapısı oluşturan ve kalıcı olarak sertleşen polimerlerdir. Termosetler bir kere ısı ve basınç altında şekillendirildikten sonra tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir, çünkü şekillendirme işlemi sırasında kimyasal değişim ile şebeke yapısına dnşrleri ve plastik özelliğini yitirerek sert bir madde haline gelirler. Genel olarak, termosetlerin yeniden şekillendirilmesi ve geri dönüştürülmesi, termoplastiklere göre daha zorlu bir süreçtir. Bu nedenle, geri dönüşüm ve yeniden kullanım açısından termoplastikler genellikle daha çok tercih edilen bir seçenektir. Epoksi reçineleri içerdiğinden dayanıklı kaplama malzemesi, bağlayıcı ve taşıyıcı ürünler olarak kullanılabilir (Hegger, Drexler, & Zeumer, Adım Adım Yapı Malzemeleri, 2012).

Kendilerine özgü özelliklerinden dolayı termoset plastikler tek başlarına kullanılamayıp, termoplastikler gibi diğer katkı maddeleri ile karıştırılarak kullanılırlar. Termosetlerin piyasada pek çok türü vardır, kendi içerilerinde Fenolikler, Aminler (re-Melamin) ve Poliester Epoksi olarak üç alt grupta sınıflandırılırlar (Aydın, 2004).

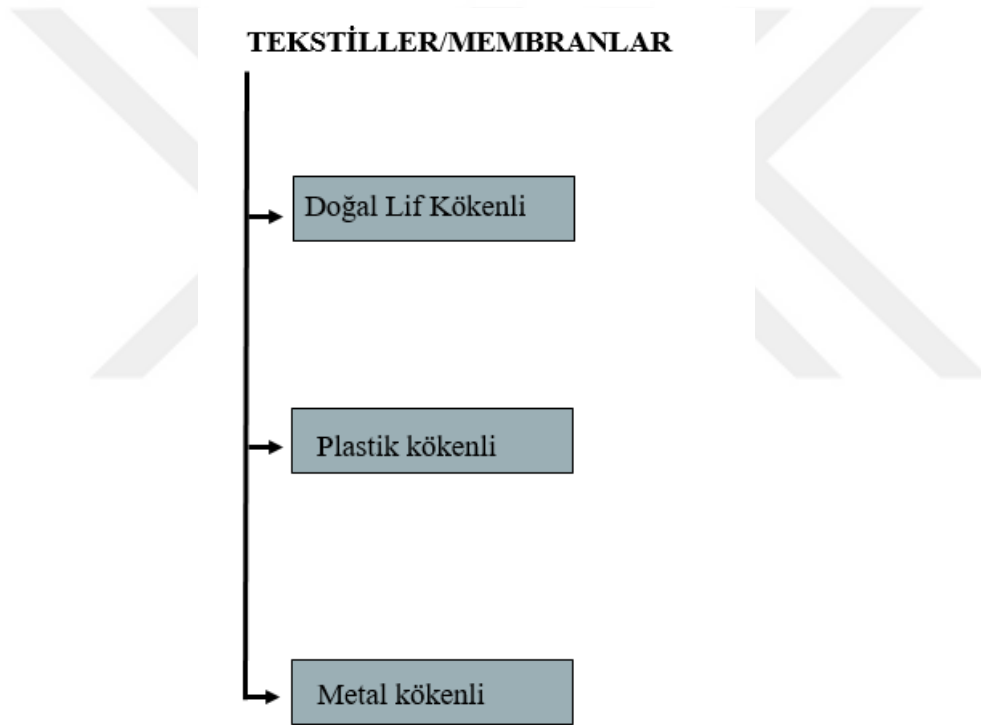
### **Elastomerler**

Elastomer, elastik özelliklere sahip olan ve genellikle lastik olarak da bilinen bir polimer malzemedir. Elastomerler, esnekliklerini koruyabilen ve büyük bir gerilme uygulandığında deforme olan ancak kuvvet kaldırıldığında ilk haline dönebilen malzemelerdir. Doğal ya da sentetik kauçuk hammaddelerden retilbilirler. Elastomerlerin birçok avantajı vardır. Esneklikleri ve geri dönüşüm özellikleri, titreşim ve çok emilimine katkıda bulunur. Ayrıca, elastomerler genellikle su, kimyasallar ve hava gibi dış etkenlere karşı dayanıklıdır. Elastik yapılarından dolayı ses yalıtımı sağlarlar, kolay deforme olmazlar, farklı şekiller halinde retilbilirler ve sızdırmazlık işlevi grrleri, bu özellikleriyle yapılarda kullanılabilmektedirler (Hegger, Drexler, & Zeumer, Basics Materials, 2006).

### 2.4.3 Tekstiler / Membranlar ve uygulama örnekleri

Tekstil esaslı malzemelerin mekanlarda kullanılması insanlık tarihi kadar eskidir. Tekstil yapılar için verilebilecek en temel örnek çadırlardır. Tekstil malzemeler zaman içerisinde farklılaşsa da mimari de bugün hala aktif olarak kullanılmaktadır (Hegger, Drexler, & Zeumer, Basics Materials, 2006).

Tekstil ve membranların belirli bir bileşimi veya sabit yapısı yoktur. Genellikle doğal lifler, plastikler ve metallerden üretilirler. Üretildikleri temel malzemeye göre üç temel başlıkta sınıflandırılırlar. Sözü edilen bu sınıflandırma aşağıda Şekil 2.23'te görülmektedir.



**Şekil 2.23:** Tekstil/ Membran cephe malzemelerinin sınıflandırılması, (yazar tarafından düzenlenmiştir).

Tekstiller üretim yöntemlerine ve hammadde olarak kullanılan malzemelere göre farklı özellikler göstermektedirler. Diğer cephe malzemelerine benzer şekilde çeşitli uygulamalar ile performansları geliştirilebilir. Tekstiller yapı sektöründe farklı şekillerde uygulanabilir. Yapı sektöründe membran sistemler olarak uygulanması en yaygın uygulama biçimidir (Hegger, Drexler, & Zeumer, Basics Materials, 2006).

Tekstil cepheler kullanıldığı yapılarda hem estetik algı sağlarken hem de güneş kırıcı ve gölgeleme fonksiyonları ile işlevsellik sağlar. Yapı sektöründe kullanılan tekstillerin; hafifliği, esnekliği, montaj kolaylığı sağlaması gibi üstün özellikleri tercih edilme sebepleri olmuştur (Horrocks, Anand, & Anand, 2000).

Membranlar hafif bir malzeme olması sayesinde, uyarlanabilir kabuk sistemlerinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Saydım, yarı saydam gibi farklı geçirgenlikte türleri vardır. Özellikle yarı saydam membranlar hem güneş kontrolü hem de hava koşullarına karşı iyi performans göstermektedirler. Çok katmanlı olarak kullanılan membranların ısı yalıtım performansları oldukça iyidir (Horrocks, Anand, & Anand, 2000).

Tekstiller üretimlerinde kullanılan hammaddelere göre üç alt grupta sınıflanlandırılır. Bu sınıflandırma doğal lif kökenli, yapay lif kökenli ve metal lif kökenli şeklindedir. Doğal lif kökenli tekstiller genellikle eğilerek iplik haline getirilen doğal liflerden üretilirler ancak organik yapılı olmaları nedeniyle mantar, bakteri ve böcekler gibi doğal yaşam canlılarından etkilenirler. Yapay lif kökenli tekstiller, çoğunlukla cam elyaf kaplı PTFE (politetrafloroetilen), polyester kaplı PVC (polivinil klorid) ve ETFE (Etilen-tetrafloroetilen) gibi sentetik lifler kullanılarak üretilen tekstillerdir (Drew , 2008). Yapay lifler doğal liflere göre genelde daha dayanıklıdır, kolay yırtılmazlar. Metal kökenli tekstiller ise düz, telli ya da kablolu, titanyum, krom veya nikel çelikten üretilmektedir. Metal kökenli tekstiller, doğal ve sentetik lif kökenlilere göre uzun ömürlü olmaları, aşınma dayanımlarının yüksek oluşları, asit pas ve kimyasallara karşı yüksek dayanım göstermeleri gibi daha üstün performans göstermektedir.

Tekstil malzemenin mimaride kullanımı son yıllarda giderek artmıştır. Artan bu talep malzemelerin performanslarının geliştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmasını ve daha dayanıklı malzemeler üretilmesini de beraberinde getirmiştir. Üstün özelliklerle geliştirilmiş malzemelerin kullanıldığı uygulama örneklerinden bazıları bu bölümde incelenmektedir.

Yapı kabuğunda membran uygulamasının yapıldığı Allianz Arena projesinde izleyicileri hem dışardan gelebilecek zararlara karşı korumak hem de güneş ışığından en verimli şekilde faydalanmak için çatıda ve cephede şişirilmiş ETFE yastıklar kullanılmıştır. Şekil 2.24'te görselleri görülen Almanya'nın Münih kentinde bulunan yapı 2003 yılında yapılmıştır. Kabukta çelik konstrüksiyon üzerine yerleştirilmiş

ETFE yastıklar %93 oranında görünür ışık geçirgenliği ile yapının doğal çim için gerekli olan güneş ışığının alınmasını sağlamaktadır. Membran bazı alanlarda şeffafken, seyirciler için gölgelendirme sağlamak amacıyla bazı alanlarda mat beyaz olarak kullanılmıştır, ETFE yastıkları aydınlatıldığında dışarıdan bakanlarda merak uyandıran dikkat çekici bir etki yaratmaktadır (LeCuyer, 2008).



**Şekil 2.24:** Allianz Arena; Işıklandırılmış genel görünüş (solda), yakın görünüş (sağda) (Url-21, 2020).

Tekstil cephe uygulama örneklerinden bir diğeri ise, aşağıda Şekil 2.25'te gece ve gündüz görünüş görselleri verilen, Almanya'daki Fritz Lipmann Enstitü binasıdır. 2013 yılında yapılan bina, PTFE cam elyaf kaplı örgü kumaştan yapılmış yaklaşık 3.800 metrekarelik kaplamalı tekstil kumaş cepheye sahiptir. Yapı cephesi kullanıcıların iç mekanlarda gün ışığından tam olarak yararlanmasına olanak verirken, dışarıdan içerinin görünmesini önlemek için de hareket etmektedir. Buna ek olarak, kullanılan tekstil malzeme yüksek ultraviyole (UV) dirence, hava koşullarına dayanıklı ve uzun ömürlü olması sebebiyle projede tercih edilmiştir (Url-22, 2020).



**Şekil 2.25:** Fritz Lipmann Enstitüsü, Gündüz Görünüş (solda), Gece Görünüş (sağda) (Url-22, 2020).

Yapay kökenli membran cephe uygulamasının yapıldığı bir başka örnek ise Amerika’da bulunan Anaheim Bölgesel Ulaşım Merkezi projesidir. Yapıda yarı saydam ETFE yastıklar kullanılmıştır. Geniş açıklığın geçildiği, oldukça büyük bir açık dolaşım alanı olan yapıda yarı saydamlık iç mekan için aydınlık sağlarken, malzemenin dış tabakasına yapılmış işlemlerle güneş ışınlarıyla aşırı ısınmanın önüne geçilmektedir. Ayrıca malzemenin yarı saydam oluşu, monte edilen LED’ler sayesinde geceleri farklı renklerde aydınlatma sağlayarak yapıyı estetik açıdan ilgi çekici hale getirmiştir. Yapıya ait görseller Şekil 2.26’da görülmektedir (Url-22, 2020).



**Şekil 2.26:** Fritz Lipmann Enstitüsü, Gündüz Görünüş (solda), Gece Görünüş (sağda) (Url-22, 2020).

Teknolojik gelişmeler sayesinde malzeme özelliklerinin geliştirilmesi ile üretilen en yeni malzemelerden olan ‘Purify Mesh’ isimli kaplama malzemesi ile yapılmış olan Japonya’da ki sosyal tesis yapısı bu alandaki en güncel örneklerden birisidir. Purify Mesh bina cephe uygulamaları için titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) fotokataliz kaplamayı içeren ilk PVC örgü membranıdır. Bu malzeme yüksek ışık geçirgenlik sağlarken, çeşitli renklerde üretilmesi ile tasarımcılara özgürlük alanı oluşturmaktadır. Ayrıca

TiO<sub>2</sub> fotokataliz sayesinde malzeme kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir. Bu özellik sayesinde yapının temizlik ve bakım işleri minimum düzeydedir. Yapının dışarıdan görünümüne ait gündüz ve gece görselleri Şekil 2.27’de incelenebilmektedir (Url-23, 2020).



**Şekil 2.27:** Fritz Lipmann Enstitüsü, Gündüz Görünüş (solda), Gece Görünüş (sağda) (Url-23, 2020)

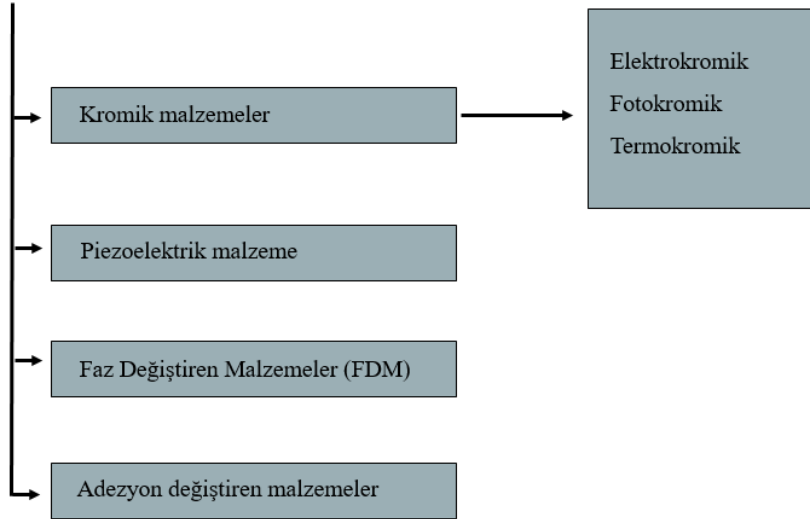
#### **2.4.4 Akıllı malzemeler ve uygulama örnekleri**

1970’lerdeki petrol kriziyle birlikte, her alanda yaşanan büyük değişimlerden yapı sektörü ve cepheleri de etkilenmiştir, çevreye minimum düzeyde zarar veren, minimum düzeyde enerji tüketimi yapan malzemelerin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Akıllı malzemeler de bu durumun bir sonucu olarak geliştirilen malzeme gruplarıdır.

En basit haliyle akıllı malzemeler, çevresel uyaranlara yanıt vererek ortam şartlarına göre değişiklik gösteren malzemeler ifadesiyle tanımlanabilir. Bu özellikleri sayesinde akıllı malzemeler enerji ve kaynak tüketimini minimize ederek çevreye verilen zararı en aza indirmeyi amaçlarlar (Orhon & Altın, Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik, 2014).

Akıllı malzemeler Şekil 2.28’de görüldüğü üzere; kromik malzemeler, piezoelektrik malzemeler, faz değiştiren malzemeler ve adezyon değiştiren malzemeler olarak dört ana alt grupta incelenmektedir.

#### AKILLI MALZEMELER



**Şekil 2.28:** Akıllı cephe malzemelerinin sınıflandırılması, (yazar tarafından düzenlenmiştir).

#### Kromik Malzemeler

Akıllı camlar olarak da bilinen, fiziksel ve kimyasal uyarılara karşı saydamlık, opaklık gibi renk niteliklerinde tersinir değişiklikler gösteren malzemeler bu gruptaki en geniş kullanımı olan malzemelerdendir. Üzerine etkiyen ısı ve ışık yoğunluğuna veya uygulanan elektrik potansiyeline göre pasif ya da aktif olarak kontrol edilebilirler. Bu camlar günümüz mimarisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Altın & Orhon, 2016). Bu grup kontrol şekillerine göre kendi içinde elektrokromik, forokromik ve termokromik olmak üzere üç alt başlıkta sınıflandırılmaktadır.

Akıllı malzemelerin kullanılmasıyla değişen koşullara yanıt veren yapıların ilk örneklerinden biri Şekil 2.29’da görselleri görülen Paris’te bulunan Arap Enstitüsü yapısıdır. Yapıda, cephe yüzeyine gelen güneş ışınlarına göre otomatik kontrol edilen mekanik düzeneğiyle içeri alınan ışığı ayarlayan cephe panelleri kullanılmıştır.



**Şekil 2. 29:** Arap Enstitü Binası, Genel görünüş solda), Yapı cephesi yakından görünüş (sağda) (Url-27, 2020).

## Piezoelektrik Malzemeler

Malzeme yüzeylerine uygulanan kuvvet etkisiyle karşılıklı yüzlerinde elektrik potansiyeli oluşturan malzemelerdir. Şekil 2.30'da görseli görülen Almanya'nın Münih kentinde 2003 yılında yapılan Aviva Binasında jaluzi ve ışıklıkların kontrolünde bataryasız çalışması için gerekli enerjiyi temas basıncıyla üreten uzaktan kumandalı piezoelektrik anahtarlar kullanılmıştır (Ritter, 2007).



Şekil 2.30: Aviva Binası Genel görünüş (Url-24, 2020).

## Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)

Dış çevreden gelen uyaranların etkisiyle hal değiştiren malzemelerdir. Enerji depolama özelliği gösteren bu malzemeler mimari uygulamalarda genellikle pasif iklimlendirmede ısı enerjisini gerekli durumlarda depolayıp gerekli durumlarda iç mekana aktararak enerji korunumu sağlaması amacıyla kullanılmaktadır. Malzemenin doğal mekanizması faz dönüşümüyle depolanan ısıнын kontrollü biçimde salınımına olanak tanıyarak deyim yerindeyse termostat görevi de görmektedir. Bu sistemin kullanıldığı yapılara örnek olarak Şekil 2.31'de görseli görülen 2004 yılında yapılan, İsviçre'de bulunan Alterswohnen yapısı verilebilir. Yapının cephesi incelendiğinde faz değişim evrelerine bağlı olarak malzemenin transparanlık düzeyindeki değişimini izlemek mümkündür (Kaltenbach, 2004).



Şekil 2.31: Alterswohnen yapısı genel görünüş (Url-25, 2020).

## Adezyon Değiştiren Malzemeler

Dış etkenler uyarısıyla katı, sıvı veya gaz bileşenlerinin molekülleri arasındaki adezyonu değiştiren malzemelerdir. Bu malzemelerden titanyum dioksitin ( $\text{TiO}_2$ ) malzemede kendini temizleme özelliği ve buğu yapmaması gibi üstün özellikler göstermesiyle yapı cephelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Mimari uygulamasında Titanyum dioksit fotokatalitik membran kullanılan yapılara örnek olarak şekil 2.32’de görselleri görünen Fransa’da bulunan Centre Pompidou-Metz yapısı verilebilir (Ritter, 2007).



**şekil 2.32:** Centre Pompidou-Metz, Gündüz Görünüşü (solda), Gece Görünüşü (sağda) (Url-26, 2020).

Günümüzde mimaride kullanılan akıllı malzemeler, diğer tüm malzemelerde olduğu gibi her geçen gün biraz daha gelişmekte ve buna bağlı yapılan uygulamalar da çeşitlenerek artmaktadır. Gelişimin her evresinde daha da üstün performans gösteren bu malzemeler özellikle günümüzün ana gündem maddesi haline gelen enerji korunumu konusunda önemli potansiyellere sahiptir, bu açıdan yakın gelecekte akıllı malzemelerdeki gelişimin artarak devam edeceği düşünölmektedir.

### 2.4.5 Yeni nesil kompozit malzemeler ve uygulama örnekleri

Yeni nesil kompozit malzemeler; literatür aşamasındaki çalışmalar, numune malzeme denemeleri, opak malzemelerin saydamlaştırılması için yapılan yüksek özellikli birleşimler, yeni üretilmiş malzemelerin test aşamaları, mikrobiyolojik canlıların yapı cephelerinde enerji üretilmesi amacıyla kullanılması gibi beklenmedik malzemelerin yoğun ar-ge çalışmalarıyla geliştirilerek mimaride kullanılması gibi çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu bölüm uygulanmış örnekler üzerinden aktarılacaktır.

Expo 2010 için tasarlanan İtalya Pavyonunda betonun transparanlaştırılması çabaları sonucu geliştirilen yenilikçi şeffaf çimentonun ilk uygulaması denenmiştir. Daha önceki şeffaf çimento uygulamalarında kullanılan fiber optik kabloların aksine bu yapıda araştırma laboratuvarlarında geliştirilen özel bir formüle sahip çimento ile şeffaflık sağlanmıştır. Yapıya ait görsel Şekil 2.33’de görülmektedir.



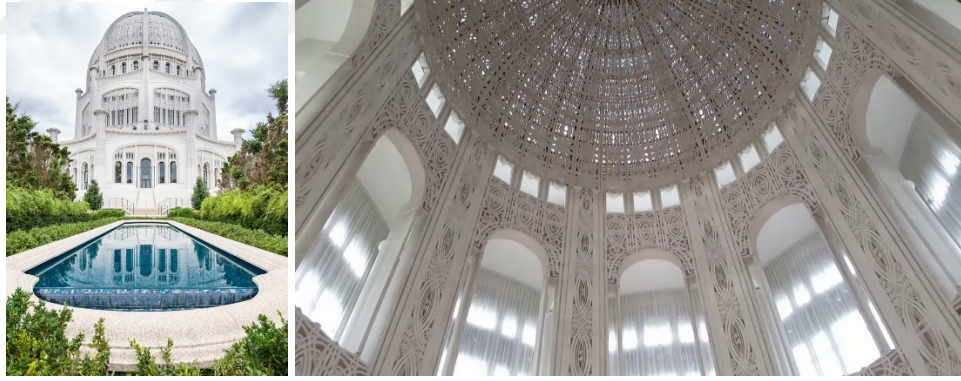
**Şekil 2.33:** Expo 2010 İtalya Pavyonu (Url-27, 2020).

Almanya’da 2014 yılında yapı fuarı için yapılan Biyoreaktör Cepheli Bina (BIQ) ilgi çekici bir başka örnektir. Şekil 2.34’te görselleri görünen bu yapı cephesi, türünün ilk örneği olarak bilinmektedir. Binanın güneş gören cephelerinde, içerisinde canlı algler barındıran cam paneller kullanılmıştır. Bu paneller hem gölgeleme elemanı olarak hem de alglerin güneş ışınımıyla fotosentez yaparak besinlerini ürettmesiyle iç mekânı ısıtan elemanlar olarak kullanılmaktadır. Ayrıca algler iyice çoğaldıklarında panellerden alınarak başka bir yerde biyokütle olarak kullanılmakta ve enerji elde edilmektedir. Algler fotosentez yaptıkça cephe renk değiştirmektedir. Dolayısıyla alglerin besin ve ısı ürettikleri, renklerinden anlaşılmaktadır. Yapıyla ilgili aktarımlarda alglerden oluşan paneller, binanın tüm enerji ihtiyacını karşılarırken karbon salınımını yılda 6 ton azalttığı ifade edilmiştir (Url-28, 2020).



**Şekil 2.34:** Biyoreaktör Cepheli Bina (Url-28, 2020).

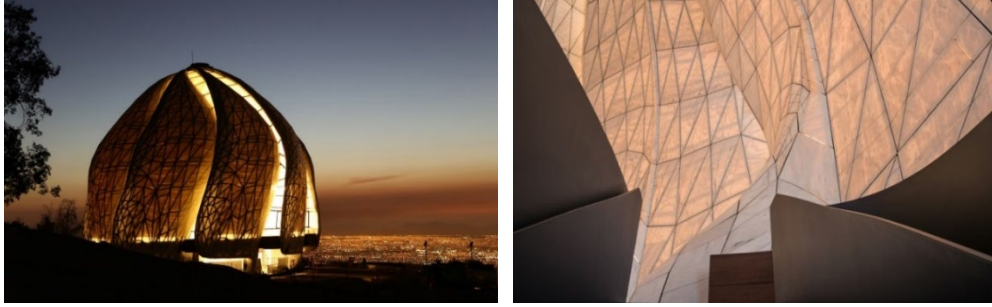
Opak malzemeyi saydamlaştırma fikrinin uzun süredir var olduğunu gösteren bir örnek de 1953 yılında Amerika’da Wilmette kentinde yapılan Bahai Tapınağıdır. Tapınağın dış cephe panelleri gün boyunca doğal ışığın geçişine izin vermek üzere tasarlanmıştır. Şekil 2.35’te görselleri görünen yapıda kubbe çelik bir üstyapı üzerine monte edilmiş beton panellerden inşa edilmiştir. Beton paneller ezilmiş kuvars ile birlikte beyaz portland çimentosu kullanılarak geçirgen olarak üretilmiştir (Url-29, 2020).



**Şekil 2.35:** Bahai Tapınağı Dış Görünüş (solda), İçeriden görünüş (sağda) (Url-29, 2020).

Bir önceki örnekte bahsedilen Bahai Tapınağı’nın yapımının üzerinden yarım asır gibi bir zaman geçmiş olmasına rağmen, 2016’da Şili’de yapılan bir başka Bahai Tapınağı’nda da aynı mantık uygulanmıştır Şekil 2.36’da görselleri görünen bu örnekte de yapı cephesinde opak malzemenin saydamlaşma çabası dikkat çekmektedir. Yapının dışına bu proje için özel olarak geliştirilen dökme cam paneller uygulanmıştır. Yapının iç kısmı Portekiz’in Estremoz kentindeki taş ocaklarından yarı saydam mermerle kaplanmıştır. Hem düz hem de kavisli dökme cam parçalarından 1,129 parça

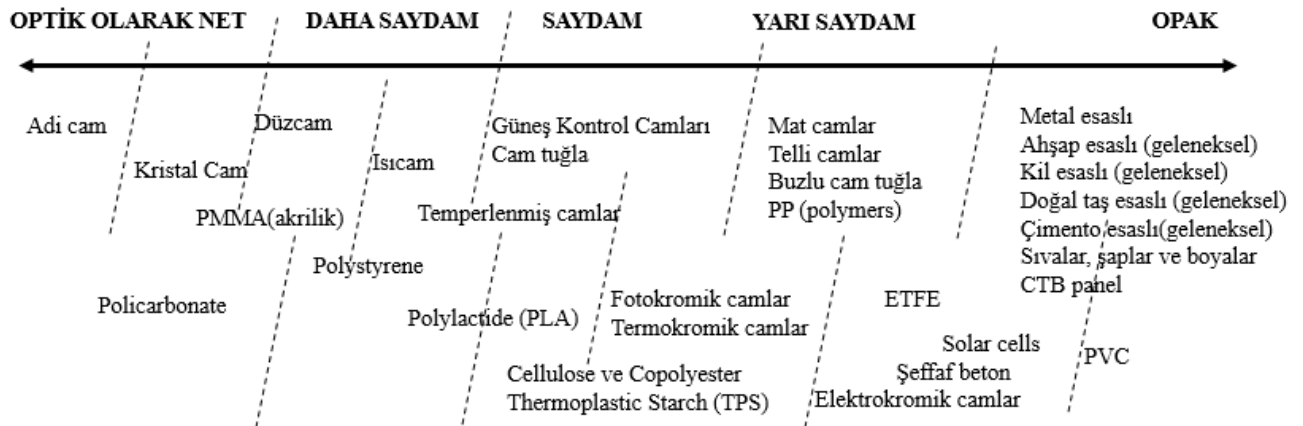
üretip, titiz bir çalışmayla parçalar bir araya getirilmiştir. Mimarlar, şafak ve alacakaranlık vakitleri arasında tapınağın camı ve mermerinin Santiago'nun gökyüzünde dans eden renklerle kaplandığını ve yapının içine süzülen ışığın beyazdan gümüşe ve sarıya, maviden mora dönüştüğünü söylemektedir (Url-30, 2020).



**Şekil 2.36:** Bahai Tapınağı Dış Görünüş (solda), İçeriden görünüş (sağda) (Url-30, 2020).

Farklı malzeme türlerinin incelenmesinden görüldüğü üzere günümüzde hemen her malzeme üzerinde saydamlaştırma denemeleri yapılmaktadır, bu konudaki araştırmalar her geçen gün artmaktadır. Bu araştırmanın yapıldığı zaman içerisinde yayınlanan en güncel denemelerden bir tanesi yapı cephelerinde, hatta çoğunlukla çatılarda güneş enerjisinden elektrik üretmek amacıyla kullanılan fotovoltatik pillerin dahi tamamen şeffaf olarak üretilmesidir. Bilim ve teknolojinin yardımıyla bu konudaki araştırmalar artan bir ivmeyle devam etmektedir.

Şekil 2.37'de bölüm boyunca incelenen malzemelerin saydamlık dereceleri üzerine yapılan sıralama görülmektedir. Bazı malzemeler opak ya da saydam gibi net özellik gösterirken bazı malzemelerin yarı saydam gibi farklı alternatifleri de olabilmektedir.



**Şekil 2.37:** Cephe malzemelerinin saydamlık derecelerine göre sıralanması (yazar tarafından düzenlenmiştir).

## 2.5 Cephelerden Beklenilen Performans Gereklilikleri

Yapı kabuğunun bir parçası olarak cepheler, yapıların mimari biçimlerinin yanı sıra dış çevre koşulları ve işlevlerine bağlı olarak, bina içinde uygun fiziksel ortamın yaratılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yapı kabuğu olarak cepheler yapıyı yalnızca kütsel olarak temsil etmekle kalmayıp aynı zamanda iç mekanda istenilen konfor koşullarını da sağlamalıdır.

Cepheler yapıların kullanımı sırasında içeriden ve dışarıdan pek çok etkene maruz kalmaktadır. Cephe elemanlarının maruz kaldıkları bu etkiler karşısında en iyi performans göstermesi beklenmektedir. Ancak cephelerden en iyi performansın beklenmesi için yerine ve kullanımına uygun malzemenin seçilmiş ve gerekli standartlarda uygulanmış olması gerekliliği unutulmamalıdır. Yapı cephelerinde oluşacak istenmeyen durumlar, yapıların diğer elemanlarına kıyasla düzeltilmesi zor ve maliyetli olacağından, yapının kullanımı boyunca hizmet verebilecek malzeme ve sistem bütüncül bir yaklaşımla seçilmelidir.

Cephe bileşenlerinin bir araya gelerek oluşturduğu ve birlikte çalıştığı cephe sistemi çevresel koşullar tarafından kesintisiz olarak; basınç, çekme, eğilme gibi mekanik yüklere, sıcaklık değişimi, rasyasyon gibi atmosfer etkilerine ve bozulma, aşınma gibi kimyasal etkilere maruz kalmaktadır. Dolayısıyla cephede kullanılacak olan malzeme tüm bu uyaranlara karşı dayanım göstermelidir.

Tüm bu sayılanlar doğrultusunda yapı cephelerinden maruz kaldıkları iç ve dış ortam koşulları arasında en iyi hizmeti verebilmek için bazı performans kriterlerine sahip olması beklenmektedir. Bu performans kriterleri için tek bir sınıflandırma yapmak doğru olmayacaktır, günümüzde hızla değişen yaşam şartlarına ve yapının kullanım fonksiyonuna bağlı olarak ihtiyaç duyulan performans kriterleri dönüşebilmektedir. Ancak literatür üzerinden genel bir listeleme yapılacak olursa, Schittich'e göre yapı cephelerinden beklenilen performans kriterleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Schittich, 2006).

- Sızdırmazlık
- Işık kontrolü (Görsel Konfor)

- Gürültü kontrolü
- Güvenlik
- Enerji korunumu
- Taşıyıcılık
- Estetik
- Yangın direnci
- Havalandırma
- Isıl davranış (Termal Konfor)
- Dayanıklılık (durabilite)

Giderek daha endişe verici hale geleceği düşünülen küresel evre sorunlarıyla birlikte yapısal çevrenin sürdürülebilirliğinin daha fazla sorgulanmaya başlanacağı açıktır. En uygun malzemelerle işlevine uygun nitelikte ve enerji değişimi/dönüşümü yapacak şekilde tasarlanmış yapı bileşenleri ve yapı elemanları sayesinde enerji tüketimi azalan, yapı fiziği nitelikleri iyileşen, kullanım ömrü uzayan, bakım giderleri düşen, hatta kendi enerjisini üreten yapılar hiç şüphesiz ki geleceğin mimarlığında mecburi ve vazgeçilmez olacaktır. Hemen her alanda ve her ölçekte olduğu gibi yapı alanında ve cephe ölçeğinde de seçim yaparken bilinçli hareket etmek önem taşımaktadır.

Bu alışma kapsamında gün içerisinde uzun saatler aktif olarak yoğun kullanılmaları ve yüksek enerji tüketilen yapılar olmaları sebebiyle bir ofis yapısının cephesinde kullanılan transparan malzemeye bağlı olarak iç mekan konfor koşulları ve enerji tüketimi irdeleneceğinden, cepheden beklenen performans kriterlerinden olan ışık kontrolü (görsel konfor) ve ısı davranış (termal konfor) Bölüm 4'te detaylı olarak ele alınacaktır.

### **3. TRANSPARAN CEPHE MALZEMESİ OLARAK CAM VE POLİKARBONAT PANELLER**

En geleneksel transparan cephe malzemesi camdır. Bölüm 2’de yapılan detaylı incelemede günümüzde cephelerde kullanım olanağı olan ve biçimi itibariyle cam malzemeye en yakın özellik gösteren yenilikçi malzemeler polikarbonat panellerdir. Bu kapsamda geleneksel cam malzemeye kıyasla değerlendirmeye konu olacak alternatif transparan cephe malzemesi olarak polikarbonat paneller seçilmiştir. Bu bölümde cam ve polikarbonat paneller özellikleri ve uygulama örnekleri üzerinden detaylı incelenecektir.

#### **3.1 Cam Cepheler**

Cam malzemelerin üretimi; ana maddelerin hazırlanması, eritme, biçimlendirme ve tavlama olmak üzere ardışık dört evreden oluşmaktadır. Cam, malzemeye üretim aşamasında eklenen katkılar ile çok geniş bir yelpazede ihtiyaçlara karşılık verebilen farklı özelliklerde oluşturulabilmektedir.

Cam malzemelerin yapılarda; ışık geçirime, ses yalıtımı, iç ve dış duvar kaplaması, çatı örtüsü, ısı yalıtımı, güvenlik sağlama, istenilen ışıkları geçirime gibi basit ve karmaşık işlevleri vardır.

Cam tamamen geri dönüştürülebilme potansiyeline sahip bir malzemedir. Kullanım ömrü tamamlanmış camlar; cam kırıkları haliyle yeniden üretime katılmaktadır. Ancak yapı sektöründe kullanılan camlar üretim aşaması ve sonrasında sayıca fazla işlem den geçtiği için mimari alanda kullanılan cam malzemelerin yıkım sonrası ayrıştırılarak geri dönüşüme katılması oldukça zordur. Camın geri dönüştürülmesi söz konusu olduğunda, hammadde olarak kullanılan cam kırıklarının yoğunluklu olarak ambalaj camlarından sağlandığı literatürde okunmaktadır.

### 3.1.1 Özellikleri

Cam kırılğan bir malzemedir, her ne kadar temperleme işlemi ile büyük ölçüde bu sorunun önüne geçilmiş olsa da bu kırılğan yapı, özellikle malzeminin nakliye, depolama ve montaj aşamalarında ekstra efor sarf edilmesini gerektirmektedir.

Cam diğer pek çok transparan cephe malzemesine kıyasla ağır bir malzemedir, camın birim hacim ağırlığı genellikle  $2.2 \text{ g/cm}^3$  ile  $2.8 \text{ g/cm}^3$  arasında değişir. Ancak, camın türüne, bileşimine ve üretim yöntemine bağlı olarak yoğunluk değerleri değişebilir. Özellikle cam cepheli yapılarda yapı yükleri üzerinde büyük pay sahibidir, bu camın yapılarda kullanımı konusunda tasarım aşamasından itibaren göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur.

Yapı cephelerinde kullanılan cam esaslı malzemeler bölüm 2.4.1’de detaylı olarak anlatıldığı üzere temelde üç ana grupta incelenmiştir. Bunlar; Levha Camlar, Cam Tuğlalar ve Cam Mozaiklerdir. Bu çalışma kapsamında yapı cephelerinde kullanılan transparan malzemelerin termal ve görsel performansları üzerinden enerji yükleri değerlendirileceğinden, iki farklı malzeme grubundan birbirine en benzer malzeme formları seçilmiştir, bu sebeple değerlendirmeye konu olarak seçilen malzeme olan Levha Camlar grubundan Güneş Kontrol Camları detaylı olarak ele alınacaktır. Güneş kontrol camları genel anlamda yalıtım camları ya da ısıcam olarak da bilinmektedir.

Yapılarda kullanılan hemen her malzemede olduğu gibi cam malzemeler de oldukça büyük bir hızla gelişmektedir. Yalıtım camları ilk olarak iki cam katmanı arasında hava boşluğu bırakılması ile oluşturulan ürünler olarak çıkmıştır. Zaman içerisinde hava boşluğu yerine iki cam arasına çeşitli gazların yerleştirilmesi, kullanılan cam katman sayısının artırılması ile camların ısıl performanslarında önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. Bu camlar ısıl konfor koşullarını iyileştirdiği gibi ses yalıtımı da sağlamaktadır.

Güneş kontrol camları temelde arasında hava ya da çeşitli gaz bulunan katmanlı cam formlarının ince bir film tabakası ile kaplanmasıyla güneş ışınlarından gelen ısı ve ışık performansının istenilen şekillerde kontrol edilmesi amacıyla geliştirilmiş camlardır. Güneş kontrol camlarında cam yüzeyine yapılan film kaplaması ile gün ışığı yönlendirilerek, gündüz aydınlatması için bir odanın iç kısımlarında kalan uzak noktalara gün ışığı almak için kullanılabilir. Cam yüzeyine ince bir film tabakası

halinde yapılan kaplamalar genellikle gümüş veya kalay oksit tabakasıdır. Bahsi geçen film kaplama tabakasının kalınlığı saç telinden bile daha incedir.

Güneş kontrol camlarının temel çalışma prensibi, kış aylarında iç mekandaki sıcak havayı, camın iç yapısındaki low-e kaplaması ile dışarıya kaçmadan yeniden iç mekana yansıtırken, yaz aylarında ise güneşten cama gelen ışınları atmosfere geri yansıtarak iç mekanda istenmeyen aşırı ısınmanın önüne geçmek üzerinedir.

Camların ısı, ışık ve güneş enerjisi geçirgenlik katsayıları, cam katman sayısı, hava boşluğunun genişliği, film kaplamasının bulunduğu yere ve katmanlardaki kaplanmış cam yüzeyi sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.1’de Türkiye pazarındaki en büyük, Dünya sıralamasında da ilk sıralarda yer alan Şişecam firmasının farklı cam türlerine ait malzeme performans değerleri görülmektedir.

Şekilden yorumlanabileceği üzere, düzcam üzerine uygulanacak ikincil işlemlerle malzemenin performans özelliklerinde büyük gelişmeler sağlanabilmektedir.

| Ürün                                                    | Kalınlık | Gün Işığı<br>(EN 410) |                       | Güneş Enerjisi<br>(EN 410) |                       |              |                       |                        | Isı Geçirgenlik Katsayısı<br>U değeri W/ m²K<br>(EN 673) |       |              |       |              |       |              |       |
|---------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|                                                         |          | Geçirgenlik<br>%      | Dışa<br>Yansıtma<br>% | Direkt<br>Geçirgenlik<br>% | Dışa<br>Yansıtma<br>% | Soğurma<br>% | Toplam<br>Geçirgenlik | Gölgeleme<br>Katsayısı | 9 mm AB                                                  |       | 10,5 mm AB   |       | 12 mm AB     |       | 16 mm AB     |       |
|                                                         |          |                       |                       |                            |                       |              |                       |                        | Kuru<br>Hava                                             | Argon | Kuru<br>Hava | Argon | Kuru<br>Hava | Argon | Kuru<br>Hava | Argon |
| ISICAM KLASİK<br>(Renksiz Düzcam<br>+Renksiz Düzcam)    | 4+4      | 80                    | 14                    | 69                         | 12                    | 19           | 0,75                  | 0,86                   | 3,0                                                      | 2,8   | 2,9          | 2,8   | 2,9          | 2,7   | 2,7          | 2,6   |
|                                                         | 6+6      | 78                    | 14                    | 62                         | 12                    | 26           | 0,71                  | 0,82                   | 3,0                                                      | 2,8   | 2,9          | 2,7   | 2,8          | 2,7   | 2,7          | 2,6   |
| ISICAM SİNERJİ<br>(TRC Ecotherm #2 +<br>Renksiz Düzcam) | 4+4      | 79                    | 12                    | 51                         | 25                    | 25           | 0,56                  | 0,64                   | 1,9                                                      | 1,5   | 1,8          | 1,4   | 1,6          | 1,3   | 1,3          | 1,1   |
|                                                         | 6+6      | 77                    | 12                    | 48                         | 23                    | 30           | 0,54                  | 0,62                   | 1,9                                                      | 1,5   | 1,8          | 1,4   | 1,6          | 1,3   | 1,3          | 1,1   |
| ISICAM KONFOR<br>(TRC Ecosol #2+<br>Renksiz Düzcam)     | 4+4      | 71                    | 10                    | 40                         | 28                    | 32           | 0,44                  | 0,51                   | 1,9                                                      | 1,5   | 1,8          | 1,4   | 1,6          | 1,3   | 1,3          | 1,1   |
|                                                         | 6+6      | 69                    | 10                    | 37                         | 25                    | 38           | 0,43                  | 0,49                   | 1,9                                                      | 1,5   | 1,8          | 1,4   | 1,6          | 1,3   | 1,3          | 1,1   |

**Şekil 3.1:** Farklı cam türlerine ait performans değerleri (Url-31, 2022)

### 3.1.2 Uygulama örnekleri

Bakırköre Mimarlık tarafından tasarlanan ve yapımı 2016 yılında tamamlanan Şişecam Genel Merkezi, İstanbul’da ofis fonksiyonuyla çalışan bir yapıdır. Yapı cephesinde binanın genel tasarım yaklaşımı olan ‘yeşil bina’ kavramına uygun olarak konum ve kullanıcı ihtiyacına göre farklı enerji performans camları kullanılmıştır. Yapının dış cephesinde, Şişecam’ın Ar-Ge birimi tarafından geliştirilen etkin ısı yalıtımı ve güneş kontrolü sağlayan Şişecam Temperlenebilir Solar Low-E Cam Nötral 62/44 camı, emniyet ve güvenlik camı olan Şişecam Lamine Cam ile birlikte kullanılmıştır. Bu kombinasyon ile çalışma alanlarında gün ışığından maksimum

faaydalanılması sağlanırken, sıradan çift cama göre kış dönemünde yüzde 50 daha fazla ısı yalıtımı sağlarken, yaz döneminde ise güneş ısı girişı de yüzde 40 sınırlanarak soğutma yükleri azaltılabilmektedir (Url-32, 2022). Yapının dış görünümü Şekil 3.2’de görölmektedir.

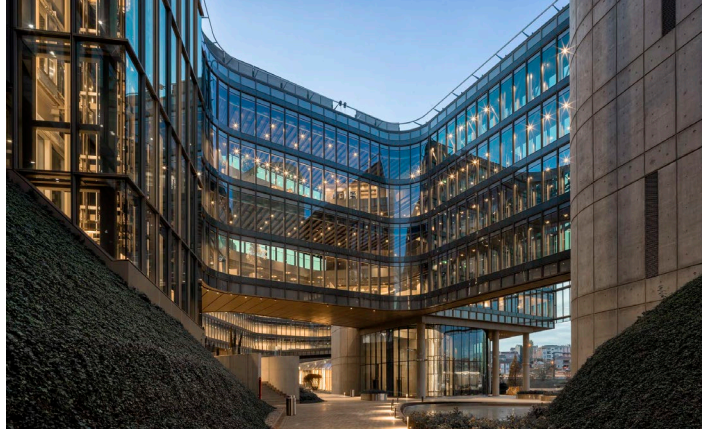


**Şekil 3.2:** Şişecam Genel Merkezi, İstanbul (Url-32, 2022).

ERA Şehircilik Mimarlık tarafından tasarlanan, İstanbul’da bulunan Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü yapısında, çalışma mekanlarının temel tasarım kriteri olarak esneklik ve gün ışığının en verimli biçimde kullanılabilmesi esas alınmıştır ve bu bağlamda cam cephe kullanılmıştır. Şeffaflık, çalışma mekanlarını bir yandan şehir ile bütünleştirirken, kullanıcıların da çevreleriyle etkileşim kurmalarına ve yıl boyunca farklı deneyimler yaşamalarına olanak temin etmektedir. Sürdürülebilirlik ilkesiyle tasarlanan yapı LEED Gold sertifikasına sahiptir. Yapıya ait görseller Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te görölebilmektedir.



**Şekil 3.3:** Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü yapısının dışarıdan görünümü



**Şekil 3.4:** Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü yapının iç avludan görünümü

2008 yılında yapımı tamamlanan ve Duesseldorf merkezli Ingenhoven Architects tarafından tüp biçimiyle tasarlanan Lüksemburg'ta bulunan Avrupa Yatırım Bankası, hem çevreye duyarlı, enerji etkin tasarımı, hem de etkileşim ve iletişimi arttıran ofis düzeniyle Yeşil Mimari ödülünü almıştır. Yapının tamamı, toplamda 13 bin metrekare camla kaplanarak gün ışığının tüm açılarla binaya nüfuz etmesi ve açık planlı ofislere tamamen doğal aydınlık sağlanmıştır. Ayarlanabilir pencereler sayesinde çalışanlar sıcaklığı ve havalandırmayı kendilerine göre ayarlayabilmektedirler (Url-33, 2022). Yapıya ait görseller Şekil 3.5'te görülmektedir.



**Şekil 3.5:** Avrupa Yatırım Bankası yapının dışarıdan görünümü (Url-33, 2022).



**Şekil 3.5:** Avrupa Yatırım Bankası yapının yakın açılı cephe görünümü (Url-33, 2022).

### 3.2 Polikarbonat Panel Cepheler

Plastik malzemeler üstün performans özellikleri ile dünyada hemen her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastikler; termoplastik, elastomer ve termosetler olarak üç grupta kategorize edilmektedir. Polikarbonatlar bir tür termoplastiklerdir.

Tarihsel süreçte bakıldığında plastik malzemenin yapı kabuğu olarak ilk uygulamaları malzemenin polivinil klorür (PVC), polimetik metakrilat (PMMA), polistiren (PS), polietilen (PE), poliüretan (PUR) ve politetrafloroetilen (PTFE) formlarıyla 1940'ların sonlarına doğru görülmektedir. Son 50 yıllık süreçte, saniye ve teknolojinin hızlı gelişimi ve plastiklerin özellikli malzeme ihtiyaçlarını kolay optimize edebilme kabiliyeti sayesinde plastiklerin yapı malzemesi olarak kullanımında kayda değer gelişmeler gözlemlenmektedir.

İçi boş hücresel kaplama, oluklu levhalar, oluklu boşluk elemanları, paneller ve ışık ileten pantiller gibi kullanım amaçları doğrultusunda üretilmiş farklı çeşitleri vardır. Yapı cephelerinde çoğunlukla oluklu levhalar halinde kullanılırlar. Ancak yapının ihtiyaçları doğrultusunda farklı katman sayılarında ve farklı oluk formlarında paneller tercih edilmektedir.

#### 3.2.1 Özellikleri

Polikarbonat paneller yüksek termal kararlılıkları ve mekanik olarak tahrip edilmelerindeki güçlük ile dikkat çeken malzemelerdir. Polikarbonat paneller kendileriyle aynı kalınlıktaki standart düz camlara kıyasla 250 kat daha darbeye dayanıklıdır. Farklı kalınlıklarında farklı optik özellikler gözlenmekle birlikte; 3 mm kalınlığında şeffaf levhalar için ışık geçirgenliği maksimum % 88'dir. (Kaltenbach, 2004).

Üretim yöntemleri ve iç yapılarındaki değişmelere bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, termal genleşme katsayısı camdan daha düşük olan türleri de mevcuttur (Kaltenbach, 2004). Bu durum PC panellerin cephe elemanı olarak

kullanılabilirliğini ve iç mekan konfor koşullarını karşılamada ısı konfor açısından cam cepheler ile kıyaslanabilecek performanlar gösterebileceklerine işaret etmektedir.

Polikarbonat panellerin bir diğer üstün özelliği ise alternatif olarak görüldüğü cam malzemelere kıyasla veya katı duvar sistemlerine kıyasla daha hafiftir olmalarıdır, birim hacim ağırlıkları  $1.2 \text{ g/cm}^3$  ile  $1.4 \text{ g/cm}^3$  arasında değişkenlik gösterse de benzer standartlardaki cam malzemenin yarısı kadar hafiftir (Url-34, 2022).

İlk üretim dönemlerinde plastiklerin renginin değişmesi gibi zayıf özellikler gösterdiği ve bu nedenle kısa ömürlü ürünler olarak düşünüldüğü gibi bir süreç varken, teknolojik gelişmeler sayesinde UV koruma kaplamaları gibi ikincil işlemlerden sonra bugün gelinen noktada oldukça iyi termal ve optik özellik gösteren polikarbonatlar mimaride doğrudan cephe elemanları olarak kullanılmaktadır.

Polikarbonat panellerin alternatifi olan diğer transparan malzemelerden farklı olarak yüksek uzunluklarda üretim ve uygulamaları yapılabilmektedir. Bu sayede özellikle hangar, üretim tesisleri, sergi alanları gibi yapı yüksekliğinin fazla olduğu ve doğal aydınlık istenilen mekan cephelerinde polikarbonat panelleri tercih sebebi haline getirmektedir. Ayrıca nakliye ve montaj süreçlerinin kolay olması polikarbonatların tercih edilme sebeplerinden bir diğeridir.

Polikarbonatlar, yangın performansları söz konusu olduğunda B1 sınıfı standartlarını sağlamaktadır, bu da malzemeninin tercih edilebilirliğini artıran faktörlerden birisidir.

Polikarbonat levhalar tasarımcıların taleplerine göre istenilen renk ve şekillerde kolaylıkla üretilmektedir. Günümüzde cepheleriyle dikkat çeken yapılara artan talep düşünüldüğünde polikarbonatların tasarımcıya sağladığı bu avantaj oldukça önemlidir.

Polikarbonatlar oldukça iyi ses yalıtımı sağlayan malzemelerdir. Özel olarak üretilen türleri ses bariyeri olarak kullanılabilir. Bu özelliği malzemenin cephe malzemesi olarak kullanım potansiyelini arttırmaktadır.

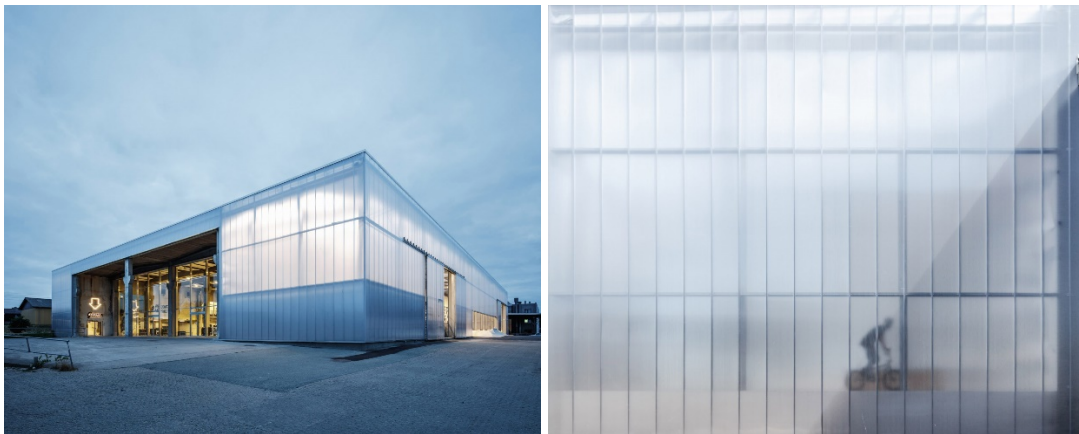
Özetle, polikarbonat paneller, kararlı yapıları, farklı seviyelerde şeffaflık sağlayabilmeleri, geniş sıcaklık aralığında bozunmadan kullanılabilmesi, bakım maliyetlerinin az oluşu, farklı iç yapılarına göre değişmekle beraber iyi derecede

termal performans sağlamaları, farklı renk alternatifleri ile görsel tasarım ögesi olarak kullanışa elverişli olmaları, hafif oldukları için bina yüküne olumlu katkı sağlamaları ve uygulama kolaylığı sağlamaları gibi pek çok avantajlı özelliği ile her geçen gün artarak talep görmeye devam etmektedir.

### 3.2.2 Uygulama örnekleri

Polikarbonat paneller kolay uygulanabilirliği ve esnek tasarıma imkan vermeleri sayesinde hemen her ölçekteki proje cephelerinde kullanılabilmektedir. Yarı saydam yapısı sayesinde ışık geçişine izin vermesi ile gündüz gün ışığını içeriye alırken, gece iç mekandaki aydınlığın dışarıya vurması ve parlamasıyla ayırt edici mimari cephe unsurları olarak cephe tasarım aşamasında tercih edilmektedir. Ofislerde, okullarda, kütüphanelerde, sanat merkezlerinde, karma kullanımlı yapılarda, ticari fonksiyonlu mekanlarda ve müzeler gibi pek çok farklı kullanım alanında ve ölçekte uygunlanmış örnekleri mevcuttur. Bu kısımda polikarbonat panel cephelerin uygulanmış örneklerine yer verilecektir.

Danimarka'nın Viborg şehrinde bulunan eski bir antreponun yeniden işlevlendirilmesiyle Spor ve Kültür Merkezi'ne dönüştürüldüğü projede tasarımcılar cephede şeffaf polikarbonatlar kullanarak yapının çevrede bulunan diğer endüstri yapıları arasında ayırt edilmesini, cephenin aydınlık ve geçirgen olmasını hedeflemişler. Yapıya ait görseller Şekil 3.6'da görülmektedir.



**Şekil 3.6:** Spor ve Kültür Merkezi, Danimarka, Yapının genel ve detay görünümü (Url-35, 2022)

İspanya'nın Oviedo bölgesinde yer alan San Claudio kasabasındaki Kanalizasyon Arıtma Tesisi polikarbonat cephe panellerinin ne kadar farklı fonsiyonlu yapılarda kullanılabileceğini gözlemlemek açısından iyi bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu projede tasarımcılar, polikarbonat panellerin nispeten düşük maliyetli oluşu, kolay bakım yapılabilmesi, farklı kot yüksekliklerini sağlamada uygulama kolaylığına imkan vermesi ve doğal aydınlatma imkanı sağladığı için yarı saydam polikarbonat panelleri kullandıklarını ifade etmişlerdir (Url-36, 2022). Şekil 3.7'de yapıya ait görseller sunulmaktadır.



**Şekil 3.7:** Kanalizasyon Arıtma Tesisi, İspanya, yapı cephesinin dışarıdan görünümü (Url-36, 2022).

Almanya, Berlin'in Spandau bölgesinde göl yakınına tasarlanan Kayıkhanesi projesinde müşterilerin tekne standlarını ziyaret etmeleri, etkinliklere ve ışık gösterilerine katılmaya davet edilmesi amaçlanmıştır. Polikarbonat cephe, binanın net kübik formunu güçlü şekilde ortaya koymasına yardımcı olmaktadır. Cephe sayesinde aynı zamanda, sergilerin gün boyunca parlaması sağlanırken, iç aydınlatmalar salonu geceleri aydınlık bir gövdeye dönüştürmektedir. Yapıya ait görseller Şekil 3.8'de görülmektedir.



**Şekil 3.8:** Kayıkhanesi yapısının gündüz (solda) ve akşam (sağda) görünümü (Url-37, 2022).

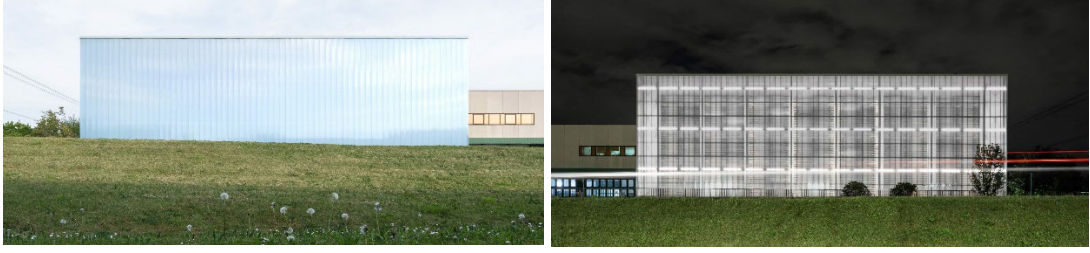
İtalya, Milano yakınlarında otoyol boyunca uzanan sanayi bölgesinde konumlanan depo yapısı örneğinde; tasarımcılar cephe özelinde, opaklık ve şeffaflık arasında salınan tek malzemeli dış kabuğun, karanlık olduğunda ışıklandırılarak iç yapısını ortaya çıkaran koruyucu bir ekrana dönüştürmeyi hedeflediklerine vurgu yapıyor. Binanın karayolu üzerindeki etkisi, polikarbonatın yarı saydam, ışığı yansıtma ve hava koşullarına göre değişen tonlara sahip olma özellikleri üzerinde çalışılarak tasarlandığı ifade edilmektedir (Url-38, 2022). Bu örnekten anlaşılabacağı üzere polikarbonat cephe malzemeleri yalnızca teknik gereklilikleri sağlamada kolaylık sağlayan bir malzeme olduğu için değil aynı zamanda bir tasarım unsuru olarak da belirleyici rol oynamaktadır. Yapının gece aydınlatılmış halinin görseli Şekil 3.9’da görülmektedir.



**Şekil 3.9:** Deponun gece ışıklandırması ile otoyol aksında dikkat çekici görünütüsü (Url-38, 2022).

Depo alanının çalışma sıcaklık aralığı kesin olarak tanımlanmış ve buna bağlı olarak yapı içerisinde doğal dahili bir havalandırma sistemi entegrasyonu oluşturulmuştur. Polikarbonat cephe panellerinin yüzeyini, havalandırmadaki bu termal yön belirlemiştir. Polikarbonat panellerin, iç yapısı için beyaz yüzey ve UV korumalı parlak yüzey ile özel olarak üretilmiştir. İç mekanda, alçak cephelerde ayna etkisi yaratan siyah bir kaplama kullanılmıştır. Bu çift kaplama, havalandırma sistemi ile birlikte, ek soğutma ve ısıtma sistemleri kullanılmadan iç sıcaklıkların gerekli sınırlar içinde tutulmasını sağlamıştır (Url-38, 2022). Projede panellerin kullanımdaki bu yaklaşım, gerekli analizler yapılarak kullanılan polikarbonat cephe panellerinin

istenilen iç mekan koşullarını sağlamada son derece iyi sonuçlar sağladığı çıkarımını yaptırmaktadır. Yapının gündüz ve gece görünümü Şekil 3.10’da görülmektedir.



**Şekil 3.10:** Deponun gündüz (solda) ve gece (sağda) görünümü (Url-38, 2022).

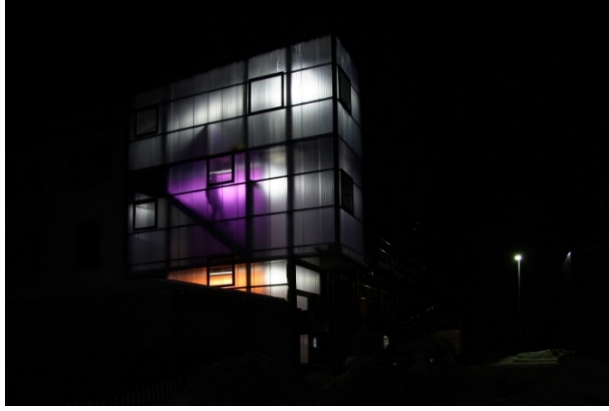
İsviçre’de bulunan konut örneğinde ise tasarımcılar görsel kaygıları esas alarak polikarbonat malzemeyi cephede kullanma kararı aldıklarını belirtmektedir. Yapının görüntüsü Şekil 3.11’de görülmektedir.



**Şekil 3.11:** Konut bloğu gündüz görünümü (Url-39, 2022).

Şekil 3.11’de görüleceği üzere tasarım aşamasında alınan kararlar ile polikarbonat panel cepheler üzerinde boşluklar açılabilir. Bu durum malzemenin kısıtlayıcı olmaktan çıkıp, tasarlanan detayların uygulanabilirliğine imkan verdiği yorumunu yaptırmaktadır. Hemen pek çok örnekte görüldüğü gibi, bu örnekte de gece vakti iç mekanın aydınlatılması ile yapıların dikkat çekiciliği artırılarak bulundukları

lokasyonlarda belirleyici noktalar haline getirilmektedir. Şekil 3.12’de yapının gece görünümü izlenmektedir.



**Şekil 3.12:** Konut bloğu gece görünümü (Url-39, 2022).

İspanya, Barselona’da yer alan konut bloğu örneğinde, modüler prefabrikasyon yöntemi kullanılarak, geleneksel toplu konutlardan daha ekonomik, adil ve sürdürülebilir olan daha hızlı uygulama sağlayan Geçici Konaklama Birimleri üretilmeye çalışılmış. Geri dönüştürülmüş konteynır bloklarının ana öge olarak kullanıldığı projede cephe elemanı olarak polikarbonat paneller tercih edilmiş. Polikarbonat panel ile cephe tasarımı yapılırken; gün geçtikçe, parlak, berrak cilt, çevreyi zarif bir şekilde yansıtırken konaklama yerinin parlaklığını arttırması hedeflenmiştir. Yapı geceleri, iç mekanlardaki ışığı filtreleyerek sakinlerinin mahremiyetinden ödün vermeden sokak aydınlatmasını iyileştirmektedir. Yapıya ait görseller Şekil 3.13’te görülmektedir.



**Şekil 3.13:** Konutun dışarıdan görünümü (solda), iç mekandan bir görünüş (sağda) (Url-40, 2022).

Bir diğ er örnek uygulama ise, Yeni Zelanda'nın Akaroa kentinde, Fabric mimarlık stüdyosu tarafından tasarlanan kulübe yapısı. Ağaçlar arasına küçük bir yaşam alanı olarak tasarlanan yapıda polikarbonat paneller cephede ahşap çıtalar ile birlikte kullanılmıştır (Url-41, 2023). Yapının ışık geçirgenliğinin görüntülendiği görsel  ekil 3.14'te görülmektedir.



**Şekil 3.14:** Kulübe yapısı, Yeni Zelanda (Url-41, 2023).

 ncelenen  rnek uygulamalardan da anlaşılacağı üzere polikarbonat paneller çok geniş  e itlilikteki yapı gruplarında cephe malzemesi olarak kullanılabilir. Bu durum malzemenin hem esnek tasarım yapabilmeye imkan vermesiyle hem de sağladığı üstün performans özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Özetle, yapılan incelemeler gösteriyor ki; polikarbonat paneller gelecekte de  e itlenerek gelişmeye ve artan bir taleple kullanılmaya devam edecektir.



#### **4. SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRME: OFİS YAPISI ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN CAM VE POLİKARBONAT PANEL CEPHELERİN ENERJİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İNCELENMESİ**

Benzerini yapmak, taklit etmek anlamlarındaki simülasyon kelimesinin Türkçe sözlükteki karşılığı ‘benzetim’ sözcüğü ile ifade edilmektedir (TDK, 2011). Bu sebeple çalışma boyunca yapılacak aktarımlarda ‘benzetim’ kavramı kullanılacaktır. Benzetim kavramı; gerçekte var olan ya da olması planlanan bir sistemi bilgisayar sanal ortamı üzerinde modelleyerek, gerçekte oluşacak değerlerin öngörülmesi olarak açıklanabilir.

Bu bölüm; kullanılacak olan benzetim programının tanıtılmasını, modellenecek ofis yapısının anlatılmasını, simülasyonun yapılış aşamalarının aktarılmasını, çıkan verilerin değerlendirilmesini ve sonuçların irdelenmesini içermektedir.

##### **4.1 Benzetim Programı: Design Builder**

Bina enerji simülasyon programları en sade ifade ile bir yapının enerji tüketimini modellemek ve analiz etmek için kullanılan yazılımlardır. Bu programlar, binaların tasarım aşamasında veya inşa edildikten sonra kullanım sırasında enerji tüketimini minimize ederek iyileştirmek amacıyla kullanılan araçlardandır. Benzetim programları sayesinde yapılar henüz tasarım aşamasındayken binaların performansları analiz edilebilmektedir.

Benzetim programları aracılığıyla bir yapının ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma sistemleri gibi farklı alt alanlarda etkinliği ve verimliliği detaylı olarak analiz edilebilir. Ayrıca binanın malzeme özellikleri, pencerelerin konumu ve diğer tasarım faktörleri gibi spesifik parametreleri de göz önünde bulundurularak, bina enerji performansını simüle edebilirler. Bu programlar yapı sahiplerine ve tasarımcılara,

enerji tasarruflu bina stratejileri için öneriler sunarak, farklı enerji kaynaklarının kullanımının çevresel etkileri üzerinde de fikir verebilmektedir.

Günümüzde yapılarda enerji performansını değerlendiren birçok modelleme programı bulunmaktadır. Binaların enerji performansını hesaplayan programlardan bazıları; EnergyPlus, TRNSYS, DesignBuilder, eQUEST, OpenStudio, TAS, BSim, HEED, IES VE, ECOTECT, ve DOE-2 olarak sayılabilir. Bu programlar, farklı gereksinimlere ve kullanım durumlarına yönelik olarak tasarlanmıştır. Literatürde hangi enerji simülasyon programının en çok kullanıldığına dair kesin bir istatistik yoktur, çünkü her bir program farklı kullanıcılar, gereksinimler ve kullanım durumları için tasarlanmıştır. Ancak, bazı programların diğerlerinden daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Özellikle araştırma projelerinde yaygın kullanılan iki modelleme programı; DesignBuilder ve EnergyPlus olarak görülmektedir, bu iki program birbiri ile entegre çalışmaktadır.

Kullanılacak olan modelleme programının seçiminde belirleyici faktör, değerlendirmede hangi bileşenin öne çıkacağıdır. Kolay erişebilir olması, literatürde yaygın kullanımı, Energy Plus programı ile entegre olması ve çıktı verilerinin güvenilirliği sebepleriyle bu çalışmada DesignBuilder Bina Enerji Modelleme programının kullanılmasına karar verilmiştir.

DesignBuilder programı günışığı analizi, HVAC sistemleri ile havalandırma analizi, maliyet hesaplamaları, LEED sertifikasyonu için gerekli analizler, enerji tüketimi, konfor performans analizleri ve optimizasyon yapılmasına olanak sağlayan bir programdır. DesignBuilder programında zamana ve konuma bağlı olarak iklim verileri ile simülasyon sağlanırken, enerji tüketim verilerini EnergyPlus algoritması alt yapısı ile hesaplamaktadır. Enerji simülasyon programlarında istenilen performans analiz değerlendirmelerinin yapılabilmesi için yapılara ait verilerin programa eksiksiz işlenmesi gerekmektedir.

#### **4.2 Değerlendirme Yapılacak Ofis Planının Seçilmesi**

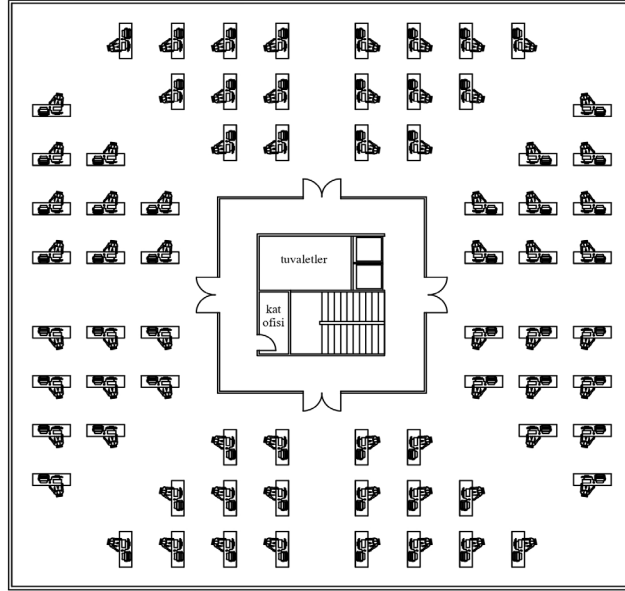
Ofisler, çoğunlukla mekanik olarak aydınlatılan ve iklimlendirilen, bilgi işlem ekipmanları gibi yüksek enerji tüketimi yapan elektronik cihazların ve teknik ekipmanların yoğun olarak kullandığı, uzun süreli kullanım saatlerinde hizmet veren

ve kullanıcı yoğunluğu yüksek mekanlardır. Sayılan tüm bu sebepler ofis fonksiyonuyla kullanılan yapı gruplarının enerji tüketiminde büyük pay sahibi olmasını beraberinde getirmiştir. Ayrıca ofisler fonksiyonlarının bir getirisi olarak kullanıcı konfor ihtiyaçları net olarak tanımlanabilen mekanlardır. Bu durumlar göz önüne alındığında, çalışma kapsamında yapılacak olan modellemenin ofis fonksiyonuna sahip bir yapı üzerinde uygulanması değerlendirme sonuçlarının net olarak gözlemlenebilmesini sağlayacağından, çalışmanın ofis yapısı örneği üzerinden uygulanmasına karar verilmiştir. Ancak yapının fonksiyonundan bağımsız olarak; yapıların yerleşimi, kullanılan malzemeler ve uygulama şekillerinin değiştirilmesi ile enerji tüketimlerinde önemli değişiklikler sağlanabildiği unutulmamalıdır.

Yapı grupları yoğunluğu içerisinde ofis yapıları büyük pay sahibidir. ABD Enerji Bilgi İdaresi tarafından son yayınlanan Ticari Binalar Enerji Tüketimi Araştırması raporuna göre; tüm yapı grupları içerisinde ofis yapılarının oranı bir önceki rapor yılına göre artış göstermiştir, ofis yapıları %16'lık pay ile diğer tüm yapı grupları içerisinde depo yapılarından sonraki en büyük paya sahiptir. Yine aynı rapora göre ofisler, yapı kullanım yoğunluğunda birinci sırada yer almaktadır. Raporda yer alan bir başka dikkat çekici veri ise ofis yapılarının elektrik enerjisi tüketiminde (817.668,286 joule) birinci sırada yer almasıdır (U.S. Energy Information Administration & Administration, Commercial Buildings Energy Consumption Survey - Building Characteristics Highlights, 2018). Bu veriler değerlendirmenin ofis yapısı örneği üzerinden uygulanmasının sonuçların net olarak yorumlanabilmesi açısından faydalı olacağı düşüncesini güçlendirmektedir.

Ofis yapıları plan tipolojileri kullanıcıların mekan ihtiyaçları ve iş yeri stratejileri doğrultusunda farklılık göstermektedir. Plan türleri üzerine literatürde farklı sınıflandırmalar mevcuttur. Sınıflandırmaların genellikle fiziksel mekan düzenine göre ya da organizasyon şemasına göre yapıldığı görülmektedir. Fiziksel mekan düzenine göre ofis tipleri; Kapalı (Hücreler) Planlı Ofisler, Açık Planlı Ofisler, Serbest Planlı Ofisler, Karma Plan Tipi Ofisler şeklinde sınıflandırılabilir (Şahin, 2019). Her alanda olduğu gibi ofis plan tipolojileri de gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar doğrultusunda zaman içinde dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel kapalı ofis alanları zamanla çalışanların yüksek etkileşim sağlayacağı açık planlı ofislere dönüşmüştür (Fuchs, 2002). Günümüzde açık planlı ofisler yaygın olarak tercih edildiğinden bu

Çalışma kapsamında açık planlı ofis modeli üzerinden bir değerlendirme yapılacaktır. Şekil 4.1’de modelleme yapılacak ofis yapısına ait fonksiyonlara göre kullanım planı şematik olarak verilmiştir.



**Şekil 4.1:** Modelleme yapılacak ofis yapısına ait sadeleştirilmiş kat planı.

#### **4.3 Çalışma Kapsamında Ofis Mekanlarında Değerlendirilecek Konfor Koşulları**

Ofis mekanları konfor koşullarından doğrudan etkilenen mekanlardır. Çalışanlar bulundukları mekanlarda kendilerini ne kadar rahat hissederse, üretilecek olan işlerin kalitesi de o aranda iyileşmektedir. Ofisler için gerekli konfor koşulları termal konfor, görsel konfor, gürültü seviyesi, iç hava kalitesi, kullanılan mobilya ve ekipmanların ergonomik olması şeklinde sayılabilir.

ABD Enerji Bilgi İdaresi tarafından son yayınlanan, Ticari Binalar Enerji Tüketimi raporuna göre; aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri ticari binalarda toplam enerji tüketimde en büyük paya sahip alanlardır (U.S. Energy Information Administration, Commercial Buildings Energy Consumption Survey - Consumption and Expenditures Highlights, 2018). Toplam enerji tüketiminde sahip oldukları pay sebebiyle bu çalışma kapsamında aydınlatma, ısıtma ve soğutma yükleri üzerinden bir değerlendirme yapılacaktır. Aydınlatma yükleri görsel konfor koşullarının bir getirisi olarak, ısıtma ve soğutma yükleri ise mekanların termal konfor koşullarının getirisi

olarak ortaya çıktığından, değerlendirilecek olan koşullar termal konfor ve görsel konfor başlıkları ile bir alt bölümde açıklanacaktır.

#### **4.3.1 Termal konfor**

Termal konfor, bir ortamda bulunan kişilerin sıcaklık, nem ve hava hareketleri gibi faktörlere bağlı olarak hissettiği rahatlık düzeyini ifade eder. Termal konfor koşulları, insanların çoğunluğunun genel olarak rahat hissettiği sıcaklık aralıklarını ve ortam şartlarını belirler.

Termal konfor koşulları Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) ve Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO) gibi kuruluşlar tarafından belirlenen standartlara dayanır. Ülkemizde TS EN ISO 7730 ‘Orta Dereceli Termal Ortamlar’ standardı termal konfor koşullarını belirlemede esas alınan kılavuz olarak yürürlükte dir. ASHRAE Standardında yer alan tanımlamalara göre; termal konfor, insanların zihninde ısı çevre ile olan memnuniyet ifadesinin oluşması olarak ifade edilmektedir. Bahsi geçen bu standartlara göre, termal konfor; hava sıcaklığı, nem, hava hareketi, güneş ışı nım kazancı, kullanıcı giyim tercihleri ve mekanın kullanım düzeyinden doğrudan etkilenmektedir (ASHRAE Standart 55, 2020).

Termal konfor koşulları, mekan kullanıcılarını etkileyen en önemli verilerden birisidir. Mekanlarda çalışanların verimliliğini, sağlığını ve genel refahını doğrudan etkilerler. Bu nedenle, ofisler mekanlarında özellikle sıcaklık, nem ve hava hareketleri gibi faktörlerin dikkate alınması ile gerekli konfor koşullarının sağlanması üretilen işlerin verimliliğinin artması açısından büyük önem taşımaktadır.

Termal konforun sağlamasındaki başlıca etken olan ısı kazanç ve kayıp durumları, yapıların en çok transparan elemanları üzerinden olmaktadır. Transparan elemanlar, opak elemanlara göre termal ve görsel olarak daha değişken, farklı performanslar göstermektedirler. Kullanıcıların termal konforu da, transparan elemanlardaki bu sıcak-soğuk farkının yüksek değişikliklerinden doğrudan etkilenmektedir (Chichester District Council., 2005). Bu nedenle transparan cephe elemanlarının seçiminde gerekli performans ihtiyaçlarına cevap vermesine dikkat edilmelidir. Bilim ve teknoloji ile sürekli gelişen malzeme sektörü de bu ihtiyaçlara karşılık verebilmek için yenilikçi,

yüksek performanslı transparan malzemeler için arayış içerisinde. Teknoloji sayesinde malzemelerin Isıl Geçirgenlik Katsayısı olan U değeri ile, Güneş Isı Kazanç Katsayısını ifade eden SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) değerleri termal performans gereksinimlerini sağlayacak şekilde her geçen gün geliştirilmeye devam etmektedir.

#### 4.3.2 Görsel konfor

Görsel konfor, bir ortamın görsel unsurlarının kişilerin gözlerini ve zihinlerini olumlu veya olumsuz yönde etkileyerek bir rahatlık veya rahatsızlık hissi oluşturmaktır. Görsel konfor, estetik açıdan hoş ve dengeli bir ortamda bulunma deneyimi olarak da ifade edilebilir.

Görsel konfor, bir mekanın estetik ve kullanılabilirlik açısından rahatlatıcı, davetkar ve hoş bir hissiyat sunmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, iç mekan tasarımında görsel konforu sağlamak, mekanlarda kullanıcıların memnuniyetini artırmak için önemlidir. Günümüzde vaktinin büyük bir çoğunluğunu iş yerlerinde geçiren insanlar için; görsel konforun sağlanması, üretilen işlerin verimliliğinin artmasında ve kullanıcıların yaşam kaliteleri üzerinden oldukça önemlidir. Aksi halde, gerekli görsel konfor koşullarının sağlanamadığı uzun süreli çalışma mekanlarında göz sağlığı problemleri yaygın olarak görülebilmektedir.

Görsel konforu etkileyen faktörler; aydınlık seviyesi, renk sıcaklıkları, ışık kaynaklarının yerleşimleri ve kamaşma düzeyi olarak sayılabilir. Bu konu ile ilgili uluslararası düzeyde kabul gören EN 12464-1 standardı, diğer tüm standart kabullerinde olduğu haliyle, TS EN 12464-1 şeklinde ve 'Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları' adıyla ulusal standartlarımız arasında yer almaktadır. Bu standartlar iç mekan işyerlerindeki aydınlatma düzenlemelerini ve gerekliliklerini belirler. İşyerlerindeki görsel konforu ve görsel performansı artırmayı hedefler, çalışma alanlarında yeterli aydınlatmayı sağlamak, göz yorgunluğunu azaltmak, yanlış görmeye yol açabilecek durumları önlemek ve işyerinde verimliliği artırmak için kullanılır. EN 12464-1 göre ofislerde kullanım fonksiyonlarına göre mekanların ihtiyaç duyduğu aydınlık seviyeleri 200 lux ile 750 lux değerleri arasında değişkenlik göstermektedir (TS EN 12464-1 Standardı, 2021).

Gerekli aydınlık seviyelerinin sağlanmasında gün ışığının yalnızca içeri alınması yeterli değildir, bununla birlikte iç mekandaki aydınlık düzeyi kontrol edilebilir olmalıdır.

Enerji tüketiminin minimize edilmeye çalışıldığı günümüz şartlarında yapıların doğal ışık almasının önemi de gün geçtikçe artmaktadır. Gün ışığı yapı kabuğundaki transparan elemanlar aracılığıyla yapı içine alınmaktadır. Transparan elemanlarda geçirgenliği sağlamak için farklı malzemelerin gün ışığı geçirgenlik miktarı ve ışık kalitesi farklılık göstermektedir. Farklılıkların kontrol edilebilmesi ve gerekli standartların sağlanabilmesi için kullanılan değer, Gün Işığı Geçirgenlik Değeri (Visible Transmittance) olarak adlandırılır, kısaltılmış hali ile VT olarak anılmaktadır.

Visible Transmittance (VT), görsel geçirgenlik olarak da bilinir, bir malzemenin görünür ışığı ne kadar geçirdiğini ifade eder. VT, genellikle transparan malzemelerin ışığı ne ölçüde ilettiğini belirlemek için kullanılan bir parametredir.

VT, yüzde (%) cinsinden ifade edilir ve 0 ile 1 arasında bir değer alır. Yüksek VT değeri, daha fazla ışığın geçmesine izin verirken, düşük VT değeri daha az ışığın geçmesine neden olur. Örneğin, VT değeri %0.70 olan bir cam, görünür ışığın %70'ini geçirirken, VT değeri %0.30 olan bir cam yalnızca görünür ışığın %30'unu geçirecektir.

Gün ışığı geçirgenlik değeri, saydam malzemelerin enerji verimliliği, aydınlatma tasarımı ve bina performansları açısından önemlidir. Yüksek VT değerine sahip saydam malzemeler doğal aydınlatmayı artırabilir ve iç mekanlarda daha fazla ışık sağlayarak enerji tasarrufu sağlayabilir. Yapılacak olan bilinçli malzeme seçimleri ile hem enerji verimliliği hem de mekanlarda istenilen görsel konfor koşulları kolaylıkla sağlanabilir.

VT değeri saydam malzemenin yüzeyine uygulanan kaplamalar, filmler veya malzeme bileşimine göre değişkenlik gösterebilir. Aynı zamanda yapının konumu, bulunduğu iklim tipi, bina tipi ve geometrisi de VT değerinin değişkenlik göstermesine neden

olabilmektedir. Güneş ışınlarının yatay ya da dik açığa yakın gelmesi, iklime bağı olarak gökyüzünün bulutlu ya da açık olması VT değerini değıştirmektedir.

Özetle mekanlarda görünür ışığın ne ölçüde geçtiğini değıerlendirmek için VT değıeri kullanılır ve bu, aydınlatma tasarımı, enerji verimliliğı ve iç mekan konforu açısından önemli bir parametredir. Ancak bu noktada malzemenin gün ışığı geçirgenliğı ile enerji geçirgenliğı kavramlarının aynı olmadığı unutulmamalıdır. Enerji geçirgenliğı, güneşin tüm ışınlarının geçiş oranını ifade ederken; gün ışığı geçirgenliğı, güneşin görünür ışınlarının geçişini ifade etmektedir. Gün ışığının sadece %44'lük bir kısmı görünür ışık olmaktadır. Bunun %53'ünü kızılötesi ışınlar, %3'ü de ultraviyole ışınlardır. Kaplamasız bir camdan %90 oranında direkt radyasyon geçmektedir (Sezer, 2005).

#### **4.4 Değıerlendirmede Kullanılacak Parametreler**

Transparan cephe sistemlerinde enerji performansları değıerlendirilirken belirleyici olan parametreler; ısıl geçirgenlik katsayısı (U değıeri), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve gün ışığı geçirgenlik (VT) değıerleridir.

Isıl geçirgenlik katsayısı olan U değıeri, tek ya da birden çok katmanlı bileşenin sıcaklık farkına bağı olarak, birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarını ifade eden parametredir. U değıeri, Watt cinsinden birim alana düşen ısı transferine karşılık olarak kullanılır ve  $W / m^2K$  birimiyle ifade edilir. Daha düşük bir U değıeri, daha iyi bir ısı yalıtım performansını gösterir. Yani, düşük U değıeri olan bir malzeme veya yapı bileşeni, dışarıdaki sıcaklığı içeriye minimum düzeyde geçirir aynı şekilde içerideki sıcaklığın dışarıya kaçmasını engeller. U değıeri, malzemenin kalınlığı, yoğunluğu, iç yapısı, termal iletkenlik özellikleri gibi faktörlere bağı olarak değışir.

SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) olarak kısaltılan güneş ısı kazanç katsayısı, bir yapı bileşeninin güneş ışınlarını içeriye geçirme derecesini ölçen bir parametredir. SHGC, güneş enerjisinin içeri girişini ve içerideki ısınmayı değıerlendirmek için kullanılır. SHGC değıeri, genellikle 0-1 arasında bir sayı olarak ifade edilir. Örneğın, SHGC değıeri 0,2 olan bir pencere, güneş enerjisinin %20'sini içeri alırken, SHGC değıeri 0,8 olan bir pencere güneş enerjisinin %80'ini içeri alır. Düşük SHGC değıeri,

güneş ışınlarının içeri girmesini sınırlar ve enerji verimliliğini artırırken, yüksek SHGC değeri daha fazla güneş enerjisi kazanımına ve ısınmaya yol açar. SHGC değeri düşük olan transparan malzeme, yüksek olana göre daha yüksek güneş kontrolü sağlamaktadır. Bir yapı bileşeninin SHGC değeri, ışığın geçtiği malzemenin iç yapısı, kaplama veya malzeme özellikleri, yansıtma, absorpsiyon, geçirgenlik gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Güneş enerjisinin içeri girişini kontrol etmek isteyen tasarımcılar ve enerji verimliliği hedeflenen projelerde SHGC değeri önemli bir parametredir.

Saydam elemanlarda VT ise pencere aracılığıyla içeri alınan ışığın oranıdır. VT değerinin yüksek olduğu bir şeffaf sistemde iç mekana alınan ışık miktarı arttığından yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulmayabilir.

VT (Visible Transmittance) olarak kısaltılan, gün ışığı geçirgenlik terimi görünür ışığın saydam yüzden ne kadarının geçebildiğini ifade eden bir parametredir. Işık Geçirgenliği, güneş ışığının iç mekâna girmesinde ve aydınlatma ile ilgili performansında etkin rol almaktadır. VT değeri, genellikle yüzde olarak ifade edilir ve 0 ile 1 arasında bir değer alır. Daha yüksek bir VT değeri, daha fazla görünür ışığın geçtiğini gösterir. Örneğin, VT değeri 0,7 olan bir cam, gelen ışığın %70'ini geçirirken, VT değeri 0,3 olan bir cam sadece gelen ışığın %30'unu geçirir. VT değeri, camın bileşimi, kaplama veya filmlerin özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişir. Ofis mekanları gibi yüksek düzeyde aydınlatmaya ihtiyaç duyulan mekanlarda, yüksek gün ışığı geçirgenlik seviyesine sahip saydam malzemeler kullanılması avantaj sağlayabilirken, bu şekilde doğrudan kontrolsüz iç mekana alınan günışığının kamaşma gibi sorunlara yol açabileceği de unutulmamalıdır.

Isıl geçirgenlik katsayısı (U), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve gün ışığı geçirgenlik (VT) katsayıları aynı malzemenin üretim türleriyle farklılaşan iç yapılarına ve malzeme üst katmanına yapılacak olan çeşitli uygulamalara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Moretti ve diğerleri tarafından yayınlanan ve bu çalışmada referans alınan makale verilerine göre değerlendirmede kullanılacak olan parametrelere ait veriler Tablo 4.1'de verilmiştir (Moretti, 2014). Değerlendirmede polikarbonat panel için üç ve cam malzeme için üç ayrı alternatif olmak üzere toplamda altı alternatif verilmiştir. Değerlendirmede kullanılacak alternatiflerin isimlendirilmesi, polikarbonat paneller için polikarbonat kelimesinin İngilizce ifadesi

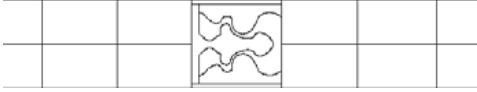
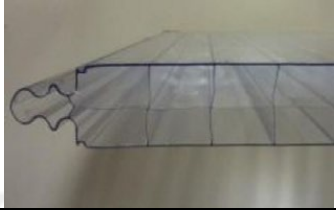
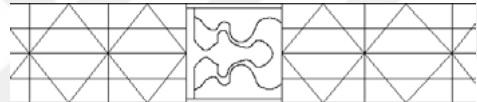
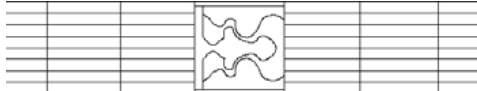
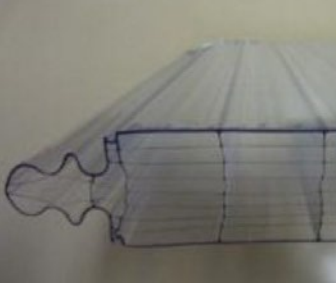
olan polycarbonate'den PC şeklinde kısaltılarak, cam cepheler için cam kelimesinin İngilizce ifadesi olan glass kelimesinden G şeklinde kısaltılarak oluşturulmuştur. Üç duvarlı, çift odalı iç yapıya sahip polikarbonat panel PC-I, üç duvarlı, üçgen iç yapılı polikarbonat levha PC-II, dokuz duvarlı, sekiz odalı polikarbonat panel PC-III, Low-e kaplamalı çift cam G-I, Low-e ve magnetronic kaplamalı çift cam G-II ve Low-e kaplamalı argon gazı tabakalı cam G-III olarak ifade edilmektedir.

**Çizelge 4.1:** Değerlendirme parametreleri için malzemelere ait veriler.

| <b>Cephe Malzeme Alternatifleri</b>                              | <b>Isı geçirgenlik katsayısı<br/>(U değeri<br/>W /m<sup>2</sup>K)</b> | <b>Güneş ısı kazanç katsayısı<br/>(SHGC)</b> | <b>Gün ışığı geçirgenlik değeri<br/>(VT)</b> |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>PC-I</b><br>(üç duvarlı, iki odalı polikarbonat levha)        | 1.84                                                                  | 0.69                                         | 0.72                                         |
| <b>PC-II</b><br>(üç duvarlı, üçgen iç yapılı polikarbonat levha) | 1.45                                                                  | 0.54                                         | 0.52                                         |
| <b>PC-III</b><br>(dokuz duvarlı, sekiz odalı polikarbonat levha) | 1.20                                                                  | 0.47                                         | 0.48                                         |
| <b>G-I</b><br>(low-e kaplamalı çift cam)                         | 1.70                                                                  | 0.52                                         | 0.74                                         |
| <b>G-II</b><br>(low-e, magnetronic kaplamalı çift cam)           | 1.40                                                                  | 0.43                                         | 0.74                                         |
| <b>G-III</b><br>(low-e kaplamalı ve argon gazlı çift cam)        | 1.10                                                                  | 0.43                                         | 0.74                                         |

PC-I, PC-II ve PC-III olarak parametre değerleri verilen polikarbonat panellerin iç yapıları ve görselleri izelge 4.2’ de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2:** Değerlendirmede kullanılan polikarbonat panellerin iç yapıları ve görselleri (Moretti, 2014).

| Cephe<br>Malzeme<br>Alternatifleri                                           | İç yapısı                                                                            | Görsel                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PC-I</b><br>( duvarlı,<br>iki odalı<br>polikarbonat<br>levha)           |    |    |
| <b>PC-II</b><br>( duvarlı,<br>gen i<br>yapılı<br>polikarbonat<br>levha) |   |   |
| <b>PC-III</b><br>(dokuz<br>duvarlı, sekiz<br>odalı<br>polikarbonat<br>levha) |  |  |

#### 4.5 Modelleme ve Kabuller

Çalışma kapsamında yapılacak olan değerlendirmelerin çıktılarını elde edebilmek için önceki bölümlerde tanıtılan Design Builder Bina Enerji Simülasyon programında, yine önceki bölümde verilmiş olan referans plan üzerinden ofis yapısı modellenmiştir.

Modelleme aşamasında yapılan kabuller, koşullar ve parametreler bu bölümde anlatılmaktadır.

Kullanılan parametreler ve kabullerde Design Builder programının da veritabanını oluşturan ASHRAE standartları ile TS-825 standardı esas alınmıştır.

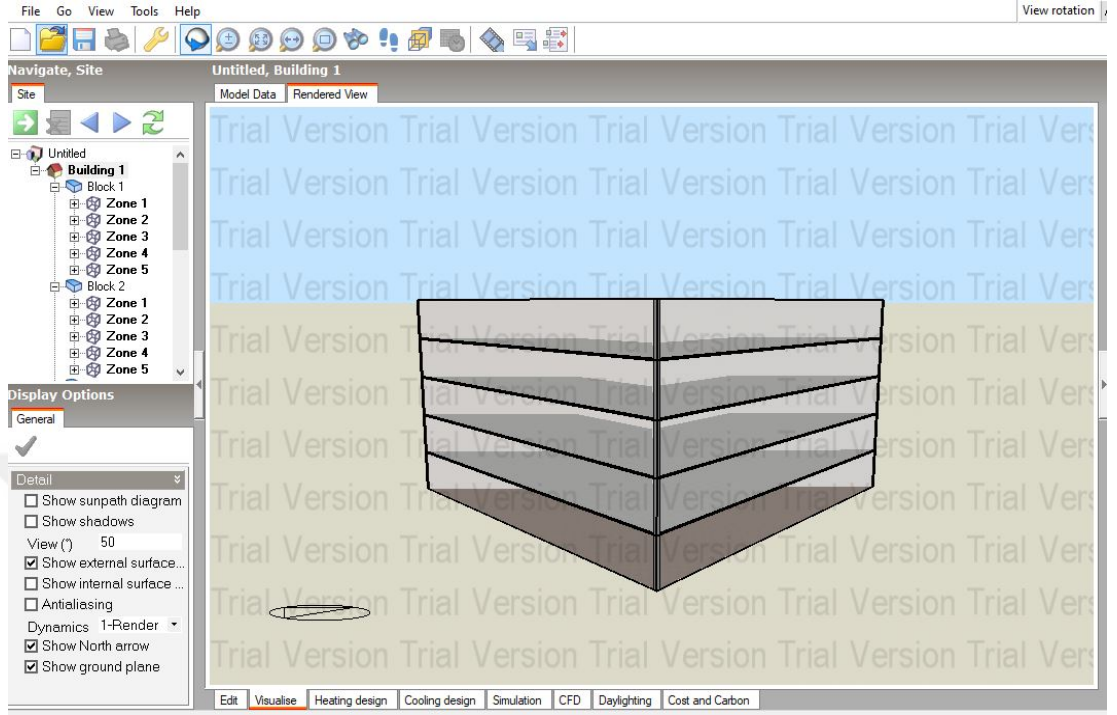
Modellenen ofis yapısı İstanbul'da yer almaktadır. İstanbul için kooordinatlar; 40° 97' Kuzey ve 28° 82' Doğu şeklindedir. TS 825 standardına göre İstanbul Ilımlı/Nemli ve 2. Derece gün bölgesinde yer almaktadır.

Değerlendirme yapılacak olan zaman aralığı belirlenirken yıllık verilerin tamamının simülasyon programında olması gerekliliği göz önünde bulundurularak, bu çalışma yapılırken içinde bulunulan yıl olan 2023 yılından bir önceki yıl olan 2022 yılı olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı cephede kullanılan farklı malzemelerin performanslarını değerlendirmek olduğundan, yapının dört cephesinde de aynı karakteristik kullanılmasının sonuç çıktıların yorumlanabilirliği açısından daha uygun olacağı düşünülmüştür, bu sebeple referans bina kare plan formunda seçilmiştir. Tüm cephelerde saydam yüzey oranları aynıdır. Simülasyon çalışmasında cephe boyutu ve yönün etkisi ele alınmayacağından cephede farklılaşmaya gidilmemiştir, bu sebeple dikdörtgen bir plan seçilmemiştir, bina kare planlı ve dört eş açık cepheli olarak tasarlanmıştır. Dört eş cepheden oluşan yapının her cephesi ana yönlerden birisine bakmaktadır ve çevresindeki yapılar ile arasında uzak mesafe olduğu dolayısıyla yapıya gölge düşmediği kabul edilmiştir.

Literatürde polikarbonat panel cephelerin yüksek yapılarda kullanımı üzerine yeterli veriye ulaşılamadığından kat yüksekliği 5 kat ile sınırlandırılmıştır. Bina oturum alanı

900 m<sup>2</sup> (30 m x 30 m), bir kat yüksekliği 4 m ve toplam bina yüksekliği 20 metredir. Simülasyon programında yapılan modelin görüntüsü Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.2:** Simülasyon programında yapılan modelin görünümü.

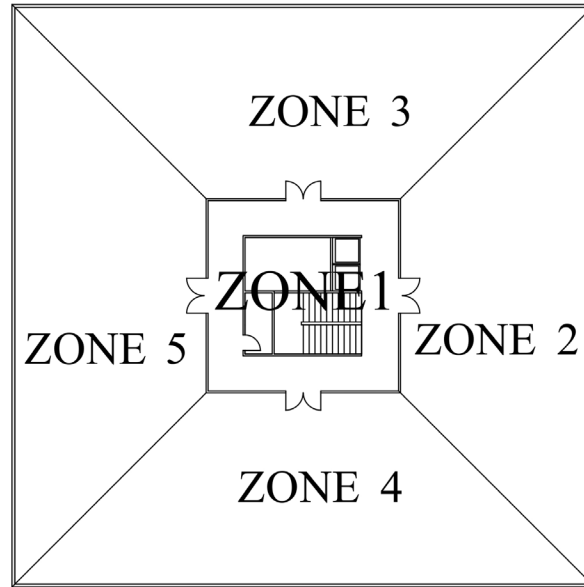
Ofisin hafta içi 08:00-18:00 saatleri arasında kullanıldığı, diğer saatler ve hafta sonu ise kapalı olduğu, dolayısıyla sistemlerin de çalışmadığı durum üzerine modelleme yapılmıştır.

Yapının betonarme sistem olduğu kabul edilerek modelleme yapılmıştır, yapı döşemesi 15 cm betonarme, 7 cm şap ve seramik kaplamasından oluşmaktadır ve bu sistem için U değeri 1,286 W/m<sup>2</sup>K’dir, yapının çatısı 15 cm betonarme döşeme üzerine fiber levha, su yalıtım örtüsü, asfalt bazlı kaplamanın olduğu düz çatıdan oluşmaktadır ve bu sistem için U değeri 1,207 W/m<sup>2</sup>K’dir.

Aydınlatma sistemi olarak LED aydınlatma elemanları kullanılmıştır, modellemede ofis yapıları için literatürde kabul edilen 500 lux aydınlık düzeyi esas alınmıştır. İklimlendirme sistemi olarak HVAC sistemi seçilmiştir. Ofislerde yoğun olarak

kullanılan yazıcı vb. gibi elektronik cihazların ve bilgisayarların açık olduğu kabul edilmiştir.

Çıktıların değerlendirilmesinin kolaylaştırılması ve modelin sadeleştirilmesi amacıyla, modellemede yapı bloğu üzerinde bölge tanımlamaları yapılmıştır. Daha önce verilen planda merdiven, asansör, kat ofisi, tuvaletler ve dolaşım alanını çevreleyen mimaride çekirdek olarak tanımlanan bölge Zone 1 olarak kodlanmış ve sirkülasyon alanı fonksiyonu ile modellenmiştir. Yapı çekirdeği dışında kalan alanlar çalışma mekanı fonksiyonuyla dört ayrı bölgeye ayrılmıştır, ifade edilen bu durum Şekil 4.3'te şematik olarak gösterilmektedir.



**Şekil 4.3:** Referans Binada Bölgelerin Düzeni.

Yapıda ısıtma sistemleri için belirleyici sıcaklık  $22^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. İç mekan sıcaklığı bu değerin altında olduğunda ısıtma sistemi devreye girecektir. Soğutma sistemi için sıcaklık  $24^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. İç mekan sıcaklığı bu değerin üzerine çıktığında soğutma sistemi devreye girecektir.

Bölüm boyunca detaylı olarak anlatılan, modelleme sürecinde yapılan kabuller ve kullanılan parametre verilerine ait değerler, yapılan aktarımların basitçe okunabilmesi,

çalışmanın incelenme sürecinde verilerin takibinin kolaylaştırılabilmesi amacıyla tablolastırılarak aşğıda Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.3: Modelleme Künyesi**

| Parametreler                 | Açıklama                                                               |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Konum                        | İstanbul, Türkiye                                                      |
| İklim Bölgesi-Tipi           | 2. derece gün bölgesi-<br>Ilılı/Nemli                                  |
| Deniz Seviyesinden Yükseklik | 37 metre                                                               |
| Enlem-Boylam                 | 40° 97' kuzey - 28° 82' doğu                                           |
| Yapı Fonksiyonu              | Ofis                                                                   |
| Simüle Edilen Zaman Dilimi   | 2022 Yılı                                                              |
| Aydınlatma Sistemi           | LED Aydınlatma<br>Elemanları                                           |
| Kat Yüksekliği               | 4 metre                                                                |
| Yapı Yüksekliği              | 5 katlı, 20 metre                                                      |
| Yapı Alanı                   | Bir katta 900 m <sup>2</sup> olmak<br>üzere Toplam 4500 m <sup>2</sup> |
| Yapı Aktif Kullanım Günleri  | Haftaiçi her gün                                                       |
| Yapı Aktif Kullanım Saatleri | 08:00-18:00                                                            |

Çıktıların yorumlanması sürecinde, değerlendirmede kullanılacak olan altı farklı alternatif transparan cepheye ait verilerin standart bir transparan cephe verileri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi çalışmanın anlaşılabilirliğini arttıracakı düşünülmektedir. Bu sebeple kaplamasız geleneksel çift cam kullanılan cephe örneği de değerlendirme alternatiflerine eklenmiştir. Kullanılan geleneksel çift cama ait U, SGHC ve VT değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Bu alternatifin isimlendirilmesi için diğer cam alternatiflerinin isimlendirilmesinde kullanılan G kısaltması sabit tutulmuş,

geleneksel kelimesinin İngilizce karşılığı olan conventional ifadesinin baş harfi kullanılarak, G-C kısaltması oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.4:** Geleneksel çift cam malzemeye ait veriler (Moretti, 2014).

| <b>Cephe Malzeme<br/>Alternatifleri</b> | <b>Isı geçirgenlik<br/>katsayısı<br/>(U değeri<br/>W /m²K)</b> | <b>Güneş ısı<br/>kazanç<br/>katsayısı<br/>(SHGC)</b> | <b>Gün ışığı<br/>geçirgenlik<br/>değeri (VT)</b> |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>G-C</b><br>(geleneksel çift cam)     | 2.70                                                           | 0.72                                                 | 0.81                                             |

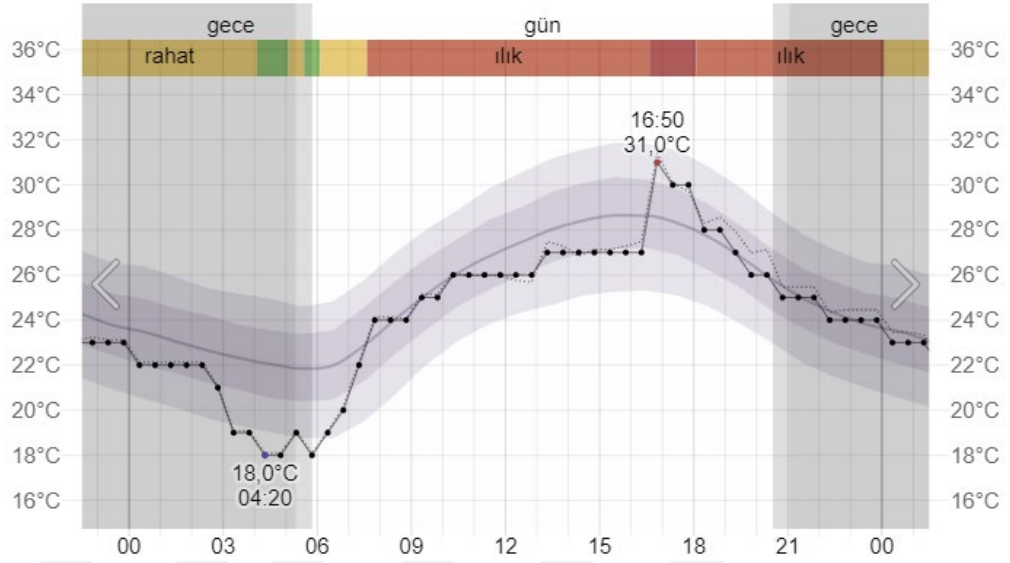
#### 4.6 Çıktıların Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Modelleme sonrasında simülasyonun hangi parametreler ile çalıştırılacağı çıkan verilerin değişkenliği açısından son derece önemlidir. Daha önce bölüm 4.3'te ifade edildiği gibi, termal konfor; ısıtma ve soğutma yüklerini, görsel konfor; aydınlatma yüklerini beraberinde getirmektedir, dolayısıyla yapılacak olan değerlendirmeler, ısıtma yükleri, soğutma yükleri, aydınlatma yükleri ve toplam enerji yükleri üzerinden yapılacaktır.

#### Soğutma Yüklerinin Değerlendirilmesi

Soğutma yüklerinin değerlendirilmesi için en sıcak gün olarak kabul edilen 21 Temmuz tarihi seçilmiştir. 21 Temmuz 2022 tarihinde İstanbul için saatlik sıcaklık

verileri Şekil 4.4'te verilmiştir (WeatherSpark.com, 2023). Bölüm 4.5'te ifade edildiği gibi soğutma sisteminin devreye girmesi için sıcaklık 24 ° C olarak belirlenmiştir.

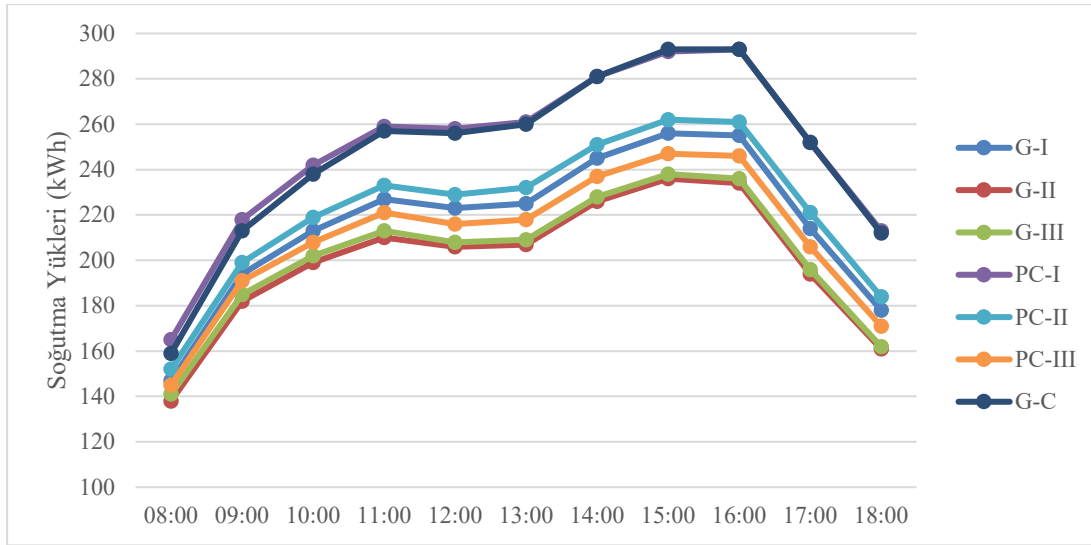


**Şekil 4.4:** 21 Temmuz 2022 İstanbul için saatlik sıcaklıklar (WeatherSpark.com, 2023).

Ofis yapısının yedi farklı cephe alternatifinin 21 Temmuz 2022 için saatlik soğutma yükü verileri tablo halinde Çizelge 4.5'de ve grafik haliyle Şekil 4.5'te aşağıda verilmiştir. Değerlendirme yapılırken ofisin çalışma saatleri olan 08:00-18:00 göz önünde bulundurulmuştur. Soğutma yükleri, grafikte kWh birimi üzerinden ifade edilmektedir.

**Çizelge 4.5:** Cephe alternatiflerinin 21 Temmuz 2022 günü kWh cinsinden saatlik soğutma yükleri tablosu.

| Cephe<br>Malzeme<br>Alternatifleri | Ofis Çalışma Saatleri |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 08:00                 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 |
| PC-I                               | 165                   | 218   | 242   | 259   | 258   | 261   | 281   | 292   | 293   | 252   | 213   |
| PC-II                              | 152                   | 199   | 219   | 233   | 229   | 232   | 251   | 262   | 261   | 221   | 184   |
| PC-III                             | 145                   | 191   | 208   | 221   | 216   | 218   | 237   | 247   | 246   | 206   | 171   |
| G-C                                | 159                   | 213   | 238   | 257   | 256   | 260   | 281   | 293   | 293   | 252   | 212   |
| G-I                                | 147                   | 194   | 213   | 227   | 223   | 225   | 245   | 256   | 255   | 214   | 178   |
| G-II                               | 138                   | 182   | 199   | 210   | 206   | 207   | 226   | 236   | 234   | 194   | 161   |
| G-III                              | 141                   | 185   | 202   | 213   | 208   | 209   | 228   | 238   | 236   | 196   | 162   |



**Şekil 4.5:** Cephe alternatiflerinin 21 Temmuz 2022 günü kWh cinsinden saatlik soğutma yüklerinin grafik gösterimi.

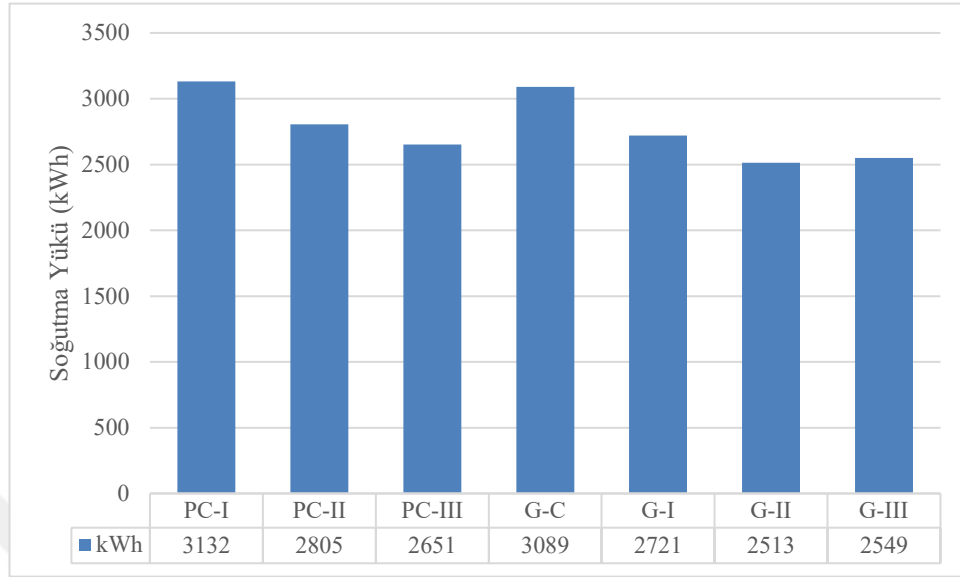
Şekil 4.5'te ki verilere göre tüm alternatifler için en fazla soğutma yükü harcanan saat aralığı 14:00-16:00'dır. Simülasyon verileri dış hava sıcaklığı verileri ile örtüşmektedir.

Grafiğe göre saat 09:00'da tüm alternatiflerde ani yükseliş, aynı şekilde saat 16:00'dan sonra soğutma yüklerindeki ani düşüş gözlenmektedir, bu durum dış hava sıcaklığındaki değişim ile birlikte yorumlandığında tutarlıdır.

Saatlik verilerle incelenen alternatiflerin 21 Temmuz 2022 günü için tükettiği toplam yükler Şekil 4.6'da verilmiştir. Günlük soğutma yükü tüketim verileri sırasıyla; PC-I için 3132 kWh, PC-II için 2805 kWh, PC-III için 2651 kWh, G-C için 3089 kWh, G-I için 2721 kWh, G-II için 2513 kWh ve G-III için 2549 kWh şeklindedir.

G-II alternatifi en iyi performansı göstererek soğutma yüklerinden tasarruf sağlama imkanı vermiştir. G-II'yi sırasıyla G-III ve PC-III izlemektedir. Polikarbonat panelden

oluşan PC-III'ün camdan oluşan G-II ve G-III ile son derece yakın sonuçlar göstermesi umut vaat edicidir.



**Şekil 4.6:** Cephe alternatiflerinin 21 Temmuz 2022 günü kWh cinsinden günlük toplam soğutma yükleri.

Soğutma yükleri PC-I alternatifi için 3132 kWh ve G-C için 3089 kWh'dır. Polikarbonat levha geleneksel çift cam ile neredeyse aynı soğutma yüklerini izlemektedir. Cam malzemenin geleneksel çift cam halinden başlayarak zaman içindeki gelişimi düşünüldüğünde benzer bir gelişmenin polikarbonat paneller için de olabileceği akla gelmektedir.

En az soğutma yükü tüketilmesini sağlayarak en iyi performans gösteren alternatif G-II'dir. Ancak detaylı bakıldığında G-III de neredeyse G-II ile aynı değerleri göstermiştir, bu durumda malzemelerden birisini üstün kılmak için diğer kriterlerde gösterdikleri performanslara bakılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Polikarbonat paneller arasında en iyi performans gösteren ise PC-III alternatifidir. Malzemenin dokuz katmanlı iç yapısı sayesinde güneş ışığının içeri alınması minimize edilmiştir. PC-III cam cephe alternatiflere oldukça yakın sonuç göstermiştir.

Cephe alternatifleri kendi içlerinde tutarlı sonuçlar göstermiştir, malzeme iç yapısının değişmesi ve kaplama katmanları ile beklenen performans iyileşmesi gerçekleşmiştir.

Örneğin PC-III'ün katmanlaşarak gelişmiş iç yapısı PC-I'den daha iyi sonuçlar göstermesi beklenen bir durumdur. Grafikte eğrilerin birbirine yakın izlenmesi yorum yapılması konusunda yanıltıcı olabilmektedir, ancak grafiğin saatlik veri grafiği olduğu unutulmamalıdır. Verilerin günlük, aylık ve yıllık olarak ele alındığı durumlarda değişimlerin daha dikkat çekici olacağı unutulmamalıdır.

### Isıtma Yüklerinin Değerlendirilmesi

Isıtma yüklerinin değerlendirilmesi için en soğuk gün olarak kabul edilen 1 Ocak tarihi seçilmiştir. Bölüm 4.5'te ifade edildiği gibi ısıtma sisteminin devreye girmesi için belirlenen sıcaklık 22 ° C dir.

Ofis yapısının yedi farklı cephe alternatifinin 1 Ocak 2022 için saatlik ısıtma yükü verileri tablo halinde Çizelge 4.6'da ve grafik haliyle Şekil 4.7'de aşağıda verilmiştir. Değerlendirme yapılırken ofisin çalışma saatleri olan 08:00-18:00 göz önünde bulundurulmuştur. Isıtma yükleri, grafikte kWh birimi üzerinden ifade edilmektedir.

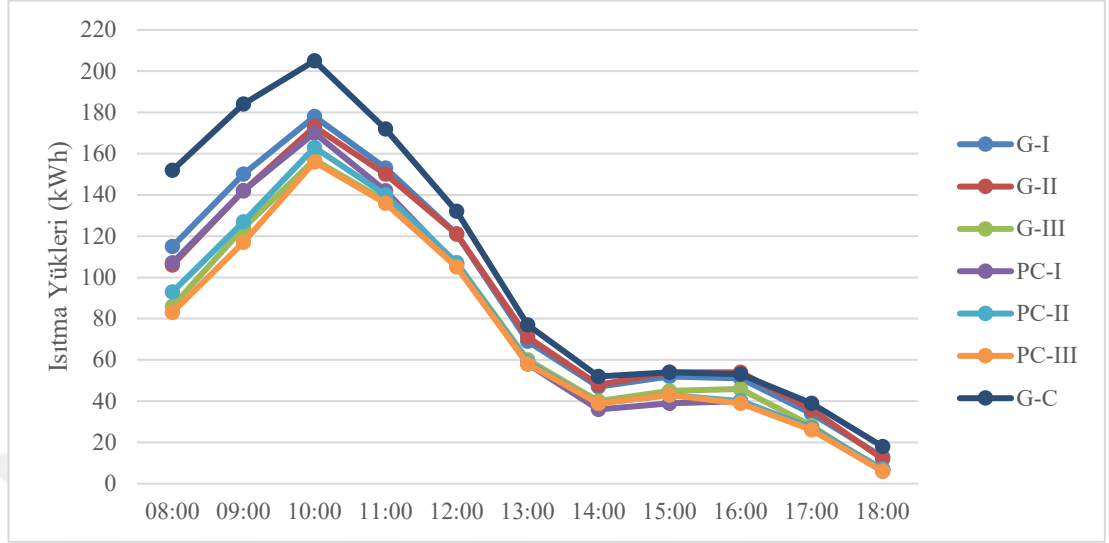
**Çizelge 4.6:** Cephe alternatiflerinin 1 Ocak 2022 günü kWh cinsinden saatlik ısıtma yükleri tablosu.

| Cephe<br>Malzeme<br>Alternatifleri | Ofis Çalışma Saatleri |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 08:00                 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 |
| PC-I                               | 107                   | 142   | 170   | 142   | 106   | 58    | 36    | 39    | 40    | 27    | 7     |
| PC-II                              | 93                    | 127   | 163   | 140   | 107   | 59    | 39    | 43    | 40    | 27    | 7     |
| PC-III                             | 83                    | 117   | 156   | 136   | 105   | 58    | 39    | 43    | 39    | 26    | 6     |
| G-C                                | 152                   | 184   | 205   | 172   | 132   | 77    | 52    | 54    | 53    | 39    | 18    |
| G-I                                | 115                   | 150   | 178   | 153   | 121   | 69    | 47    | 52    | 51    | 34    | 13    |
| G-II                               | 106                   | 142   | 173   | 150   | 121   | 71    | 48    | 54    | 54    | 36    | 12    |
| G-III                              | 86                    | 124   | 157   | 137   | 107   | 60    | 40    | 45    | 46    | 28    | 6     |

Şekil 4.7'de ki verilere göre tüm alternatifler için en fazla ısıtma yükü harcanan saat aralığı sabah 08:00-10:00'dır. Grafiğe göre saat 10:00'da tüm alternatiflerde ısıtma yüklerinde ani düşüş gözlenmektedir, bu durum dış hava sıcaklığındaki değişim ile birlikte yorumlandığında tutarlıdır.

Saatlik verilerle incelenen alternatiflerin 1 Ocak 2022 günü için tükettiği toplam yükler Şekil 4.8'de verilmiştir. Günlük toplam ısıtma yükü tüketim verileri sırasıyla; PC-I

için 1290 kWh, PC-II için 1238 kWh, PC-III için 1179 kWh, G-C için 1671 kWh, G-I için 1426 kWh, G-II için 1390 kWh ve G-III için 1205 şeklindedir.



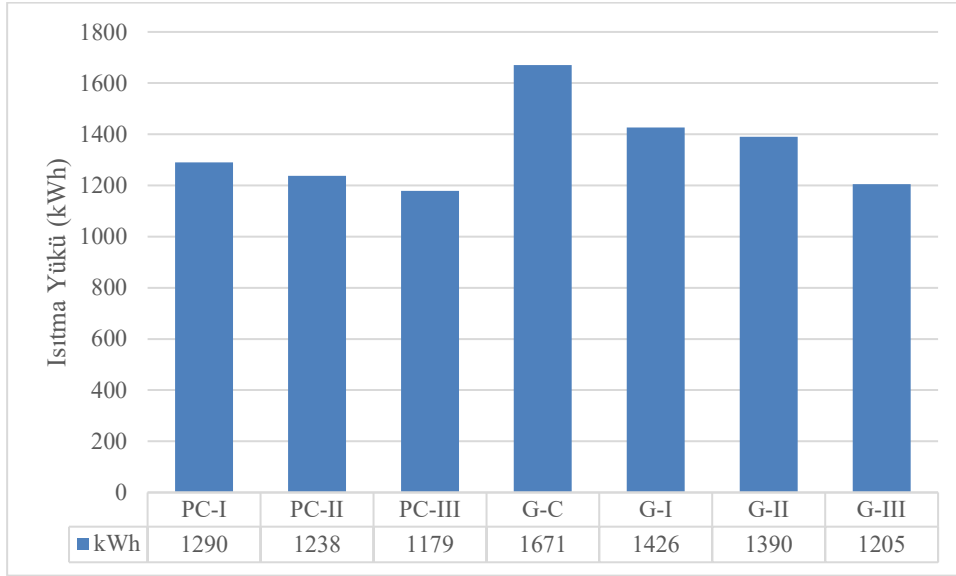
**Şekil 4.7:** Cephe alternatiflerinin 1 Ocak 2022 günü kWh cinsinden saatlik ısıtma yüklerinin grafik gösterimi.

PC-III alternatifi en iyi performansı göstererek ısıtma yüklerinden tasarruf sağlama imkanı vermiştir. PC-III'ü sırasıyla G-II ve PC-II izlemektedir. En iyi performans gösteren alternatifin polikarbonat malzeme olması araştırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Isıtma yükleri kapsamında malzemeler ölçeğinde genel bir değerlendirme yapıldığında polikarbonat alternatifleri cam alternatiflere kıyasla ısıtma yükleri açısından daha iyi performans göstermişlerdir.

Geleneksel camı ifade eden G-C alternatifi en yüksek tüketim ile en zayıf performansı göstermiştir. En düşük U değerine sahip olan G-III alternatifinin PC-III'den daha zayıf performans göstermesi, malzemelerin ısıl performanslarının yalnızca U değeri ile

değerlendirilemeyeceğini, güneş ısı kazanç katsayısının da önemli bir etken olarak parametreye dahil olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.8:** Cephe alternatiflerinin 1 Ocak 2022 günü kWh cinsinden günlük toplam ısıtma yükleri.

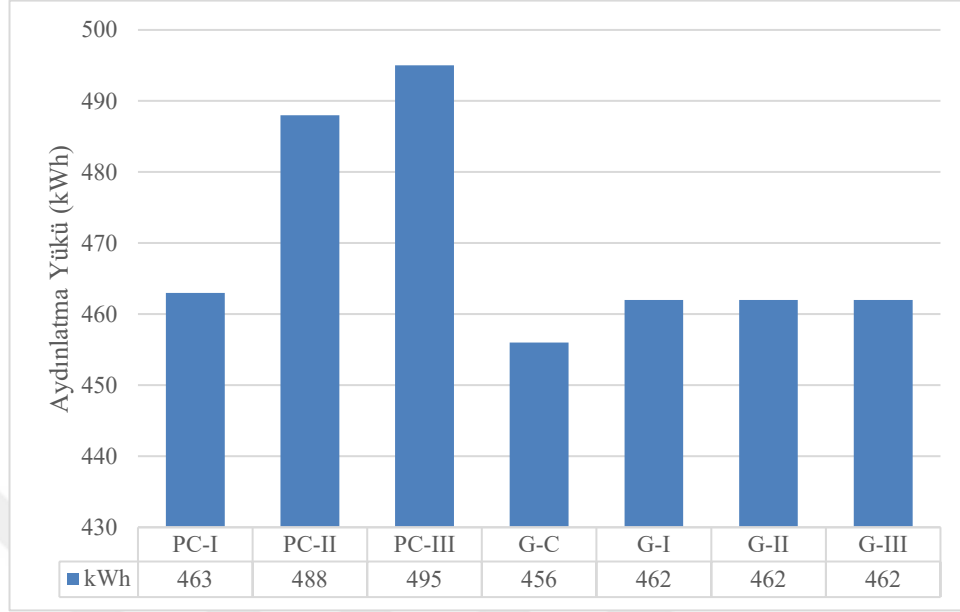
Soğutma yüklerinde olduğu gibi ısıtma yüklerinde de cephe alternatifleri kendi içlerinde tutarlı sonuçlar göstermiştir, malzeme iç yapısının değişmesi ve kaplama katmanları ile beklenen performans iyileşmesi gerçekleşmiştir.

### Aydınlatma Yüklerinin Değerlendirilmesi

Aydınlatma yüklerinin değerlendirilmesi için 21 Aralık tarihi seçilmiştir. Bu tarihin seçilmesinin sebebi, 21 Aralık yıl içinde en kısa gündüz, en uzun gece sürelerinin yaşandığı gündür. Yapay aydınlatma ile tüketilecek olan enerji miktarı hesaplanmak istendiği için aydınlanma süresinin en kısa olduğu gün üzerinden değerlendirme yapmak sonuçların net gözlemlenmesini kolaylaştıracaktır. Değerlendirme yapılırken ofisin çalışma saatleri olan 08:00-18:00 göz önünde bulundurulmuştur.

Simülasyon sonucunda çıkan aydınlatma yükü veriler Şekil 4.9’da verilmektedir. Günlük toplam aydınlatma yükü tüketim verileri sırasıyla; PC-I için 463 kWh, PC-II

için 488 kWh, PC-III için 495 kWh, G-C için 456 kWh, G-I için 462 kWh, G-II için 462 kWh ve G-III için 462 kWh şeklindedir.



**Şekil 4.9:** Cephe alternatiflerinin 21 Aralık 2022 günü kWh cinsinden günlük toplam aydınlatma yükleri.

Aydınlatma yükleri toplamına en iyi performansı G-C geleneksel cam alternatifi göstermiştir. Onu sırasıyla, birbirleriyle eş performans göstererek G-I, G-II ve G-II alternatifleri izlemiştir. Gün ışığı geçirgenlik değeri en düşük alternatif olan PC-III en zayıf performansı göstermiştir. Çıkan sonuçlar malzemelerin VT değerleri ile doğru orantılıdır.

Polikarbonat malzeme alternatifleri değişen iç yapılarına bağlı olarak farklı geçirgenlik derecelerine sahiptir ve bu durum toplam aydınlatma yükleri üzerinden de net olarak okunmaktadır. Polikarbonatlarda malzemenin termal özelliklerini geliştirmek amacıyla iç yapısının karmaşık halde üretilmesi görsel performansını dolayısıyla da aydınlatma performansını etkilemektedir.

### **Toplam Yıllık Yüklerin Değerlendirilmesi**

Yapılan simülasyon sonucunda cephe alternatiflerinin 2022 yılı için yıllık toplam enerji tüketim verileri Çizelge 4.7’de tablo halinde ve Şekil 4.10’da grafik halinde verilmektedir. Yıllık toplam enerji yükü tüketim verileri sırasıyla; PC-I için 969.760

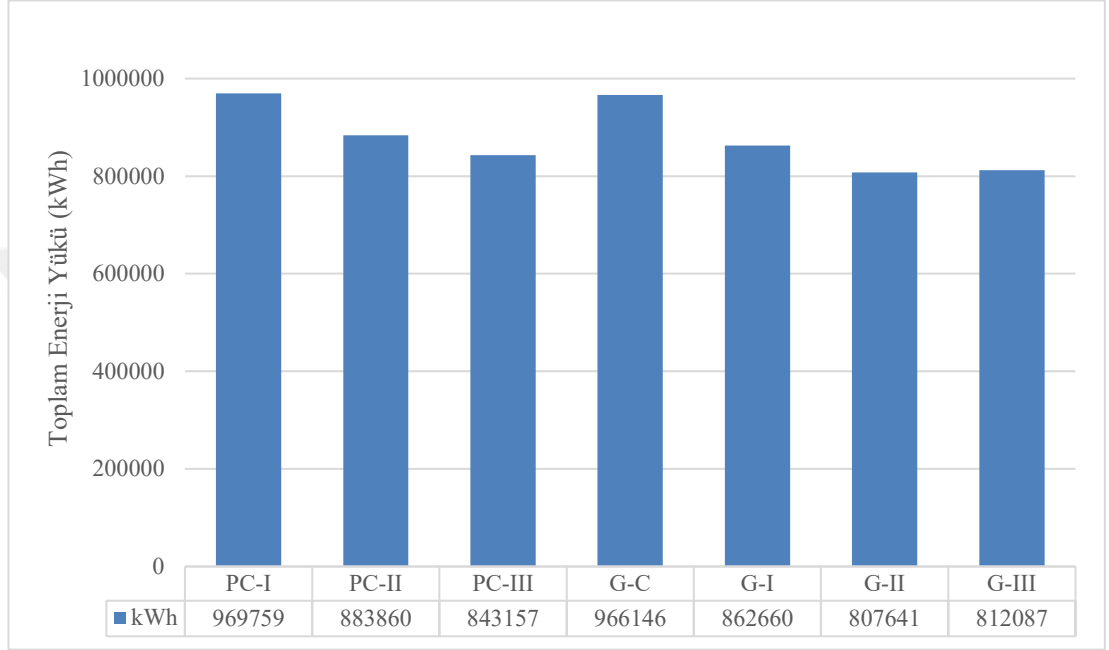
kWh, PC-II için 883.860 kWh, PC-III için 843.157 kWh, G-C için 966.146 kWh, G-I için 862.660 kWh, G-II için 807.642 kWh ve G-III için 812.088 kWh şeklindedir.

**Çizelge 4.7:** Cephe alternatiflerinin 2022 yılı için kWh cinsinden toplam enerji yükleri.

| Cephe Malzeme Alternatifleri                                     | Toplam Enerji Yükleri |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>PC-I</b><br>(üç duvarlı, iki odalı polikarbonat levha)        | 969.760               |
| <b>PC-II</b><br>(üç duvarlı, üçgen iç yapılı polikarbonat levha) | 883.860               |
| <b>PC-III</b><br>(dokuz duvarlı, sekiz odalı polikarbonat levha) | 843.157               |
| <b>G-C</b><br>(geleneksel çift cam)                              | 966.146               |
| <b>G-I</b><br>(low-e kaplamalı çift cam)                         | 862.660               |
| <b>G-II</b><br>(low-e, magnetronic kaplamalı çift cam)           | 807.642               |
| <b>G-III</b><br>(low-e kaplamalı ve argon gazlı çift cam)        | 812.088               |

Yıllık düzeyde en fazla enerji tüketimi yaparak en zayıf performans gösteren alternatif PC-I'dir. Geleneksel cam alternatifi olan G-I ise PC-I'e oldukça yakın performans göstererek en zayıf ikinci alternatif olmuştur.

Alternatiflere kendi grupları içerisinde bakıldığında malzeme grupları kendi içinde tutarlıdır, katmanlaşan iç yapıları ve yüzey uygulamaları ile enerji performans özellikleri iyileştirilebilmektedir.



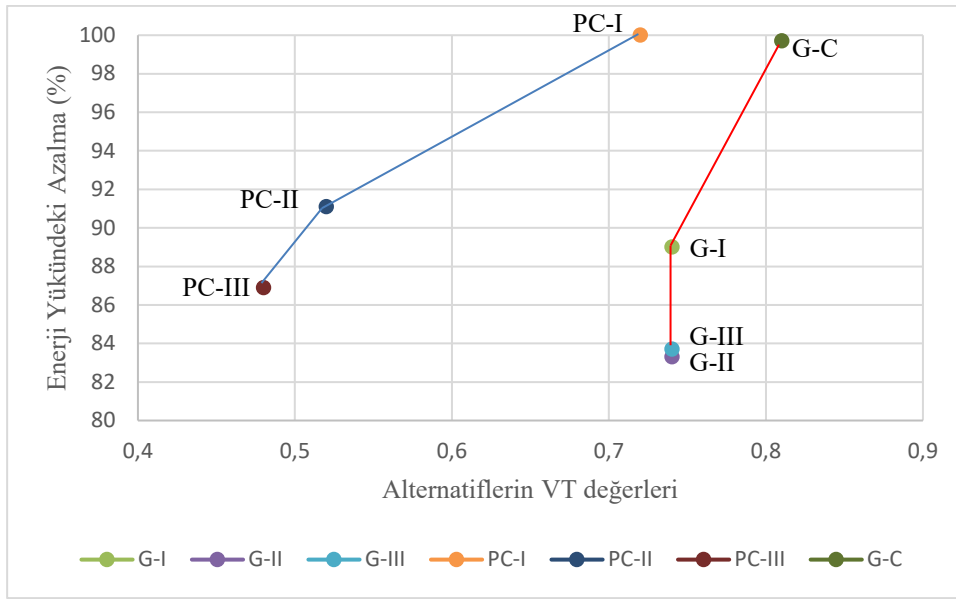
**Şekil 4.10:** Cephe alternatiflerinin 2022 yılı kWh cinsinden toplam enerji yükleri.

Polikarbonat cephe alternatiflerinde PC-III kendi grubu içerisinde en iyi performansı göstermiştir. Yıllık toplam enerji yükü cam alternatiflerine yakındır, bu durumda doğrudan bir malzemenin diğerine kıyasla daha üstün olduğunu söylemek tam anlamıyla doğru olmayacaktır. Malzemenin maliyet hesaplarını ve yapısal yüklere etkisini de düşünerek bütüncül bir yaklaşımla karar vermek daha doğru seçimler yapılmasını sağlayacaktır.

Değerlendirmesi yapılan alternatiflere ait sayısal veriler bütünlüğün sağlanması amacıyla tek bir makaleden sağlanmıştır. G-C kısaltmasıyla tanımlanan geleneksel cam alternatifine ait U değeri  $2,70 \text{ W /m}^2\text{K}$  olarak kabul edilmiştir. TS-825'de Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılacak değerlerde çift camlar için U değeri  $2,70\text{-}4,00 \text{ W /m}^2\text{K}$  referans aralığındadır. Bu çalışmada alt sınır üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır. Alt sınır üzerinden yapılan değerlendirmede çift cam, polikarbonat panellerin ilk alternatifi ile neredeyse aynı enerji tüketimini yaparak benzer sonuç göstermiştir. Hali hazırda uygulamalarda kullanılan ve referans

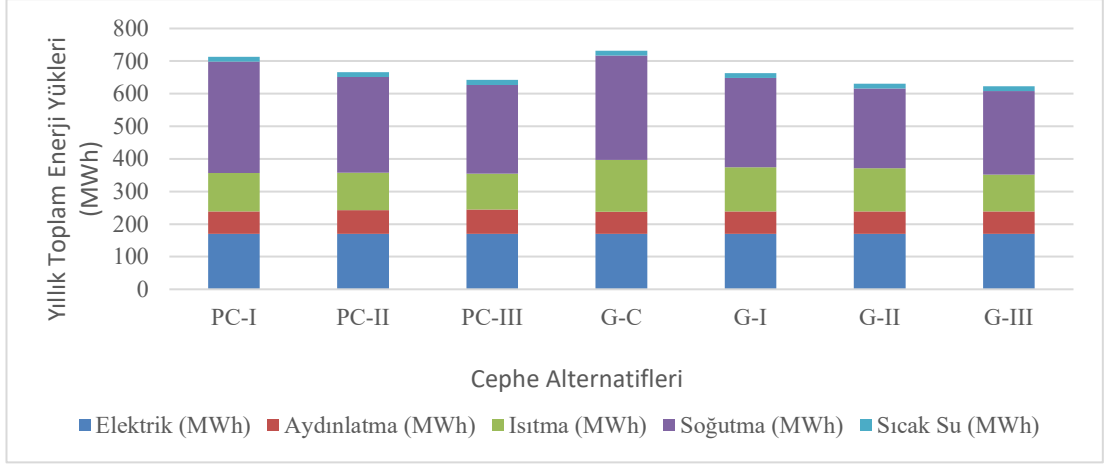
aralığın üst sınırına yakın, daha yüksek U değerine sahip camlar üzerinden yapılacak olan değerlendirmelerde geleneksel çift camın daha çok enerji tüketimi yaparak PC-I varyasyonundan daha zayıf performans göstereceğini belirtmek gerekmektedir.

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere polikarbonat panellerde malzemelerin ışık geçirgenlikleri ile enerji tasarruf performansları arasında ters orantı vardır. Polikarbonat panellerde iç yapılarındaki katmanlaşmaya bağlı olarak malzemenin VT değeri düştükçe enerji performansı artmaktadır, bu durumda kullanılacak mekanın ihtiyaçlarına uygun alternatifin seçilmesi en doğrusu olacaktır.



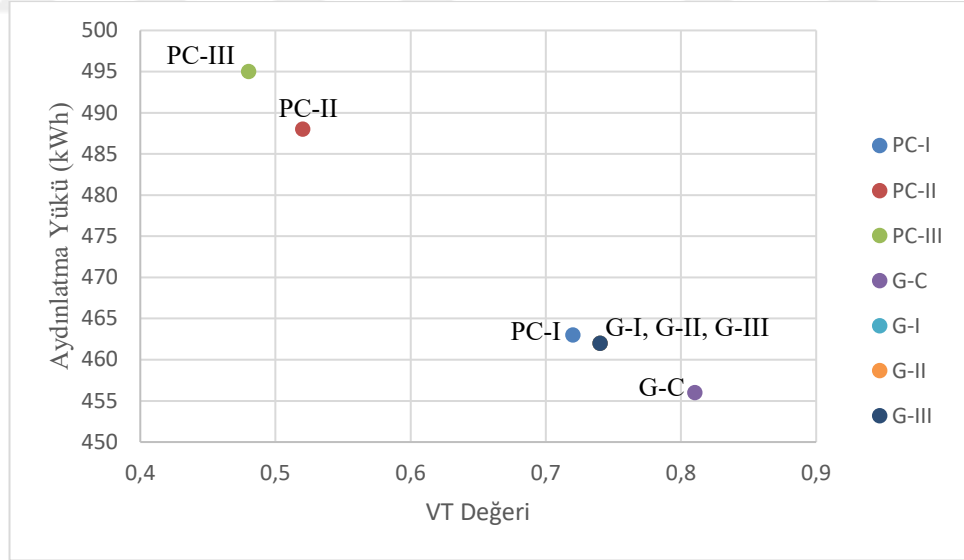
**Şekil 4.11:** Alternatiflerin VT değeri ile enerji yüklerindeki azalmasının ilişkisi.

Şekil 4.12’de de görüldüğü üzere, yıllık toplam enerji yüklerinin kullanım alanları incelendiğinde, tüm alternatiflerde en çok tüketim yükü soğutma enerjisi için harcanmıştır. Dağılım detaylı incelendiğinde soğutma yüklerini sırasıyla, elektrik yükleri, ısıtma yükleri ve aydınlatma yükleri izlemektedir.



**Şekil 4.12:** Yıllık tüketim yüklerinin alanlara göre dağılımı.

Şekil 4.13'teki aydınlatma yüklerinin VT değeri ile ilişkisinin incelendiği grafikten de anlaşıldığı üzere, aydınlatma yükleri malzemenin ışık geçirgenliği ile doğrudan ilişkilidir. Malzemenin şeffaflığının artması aydınlatma yükünün azalmasını sağlamaktadır. Aydınlatma yükleri açısından en iyi performansı 0,82'lik VT değerine sahip olan geleneksel cam (G-C) alternatifi göstermiştir. Geleneksel cam (G-C) malzeme üzerinde ikincil işlem uygulaması olmadığı için ve malzemenin iç yapısı diğer malzemelere kıyasla daha basit olduğu için bu durum beklenen bir sonuçtur.



**Şekil 4.13:** Aydınlatma yükünün VT değeri ile ilişkisi.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında polikarbonat panel cepheler ve cam cephelerden üretilen farklı alternatifler simülasyon yöntemiyle enerji performansları kapsamında değerlendirilmiştir.

Malzemelerin üretim aşamalarında yapılan değişiklikler ve ikincil işlemler sayesinde, tüm alternatiflerde performans gelişimi izlenmiştir. Yıllık toplam enerji tüketim yükleri üzerinden incelendiğinde PC-I'e kıyasla PC-II %8,9 oranında, PC-III ise %13,1 enerji tasarrufu sağlamıştır. Benzer şekilde en zayıf performans gösteren PC-I değerlendirilmede başlangıç noktası kabul edildiğinde G-I %11 oranında, G-II %16,7 oranında ve G-III ise %16,3 oranında enerji yüklerinden tasarruf ederek performanslarını geliştirmişlerdir.

Malzemelerin performansları kendi grupları içerisinde tutarlı dağılım göstermektedir. Polikarbonat panellerde iç yapılarındaki katmanlaşmaya bağlı olarak malzemenin VT değeri düştükçe enerji performansı artmaktadır bir başka deyişle malzemelerin ışık geçirgenlikleri ile enerji tasarruf performansları arasında ters orantı vardır. Kullanılacak mekanın öne çıkan ihtiyacına uygun alternatifin seçilmesi en doğrusu olacaktır.

Tüm alternatiflerde yıllık en çok enerji tüketim toplamaları üzerinden bir inceleme yapıldığında en çok tüketim yükü soğutma enerjisi için harcanmıştır. Bu durumda transparan cepheli ofis yapıları için uygun cephe malzemesi seçiminde malzemenin soğutma yüklerindeki davranışının belirleyici parametre olması gerektiği söylenebilir.

Yapının toplam aydınlatma yükleri cephede kullanılan malzemenin ışık geçirgenliği ile doğrudan ilişkilidir. Malzemenin şeffaflığının artması aydınlatma yükünün azalmasını sağlamaktadır. Aydınlatma yükleri açısından en iyi performansı G-C kodlaması ile anılan geleneksel cam malzeme göstermiştir. Geleneksel cam malzeme diğer malzemelere kıyasla en geçirgen alternatif olduğu için bu sonuç doğaldır ancak malzemenin geçirgenliğinin artması güneş ışınlarından gelecek ısı yükünü de arttıcağı için yaz dönemlerinde soğutma yükünün artacağı da göz önünde bulundurularak,

uygulamanın yapılacağı yapının bulunduğu iklim verileri dikkate alınarak seçim yapılması gerekliliği unutulmamalıdır.

Polikarbonat paneller camlara kıyasla, nakliye, montaj ve uygulama kolaylığı sağlaması ve düşük maliyetli olmaları ile öne çıkmaktadır. Ayrıca polikarbonatlar kendileriyle benzer özellik gösteren camlara kıyasla çok daha iyi ses yalıtımı sağlarlar, bu özelliği malzemenin cephe malzemesi olarak kullanım potansiyelini arttırmaktadır.

Polikarbonat levhalar tasarımcıların taleplerine göre istenilen renk ve şekillerde kolaylıkla üretilabilmektedir. Günümüzde cepheleriyle dikkat çeken yapılara artan talep düşünüldüğünde polikarbonatların tasarımcıya sağladığı bu avantaj oldukça önemlidir.

Her iki malzeme için de birim hacim ağırlıkları değişkenlik göstermekle birlikte, polikarbonat paneller camların yarısı hafifliktedir. Polikarbonatların birim hacim ağırlığının çok düşük olması özellikle ülkemiz gibi yüksek deprem riski taşıyan lokasyonlarda kullanılmasıyla yapı yükünü hafifleterek önemli avantajlar sağlamaktadır.

Çalışma boyunca anlatılan malzemelerin; birinin diğerine kıyasla avantajlı/ dezavantajlı olduğu özellikleri, kullanılacak yere ve mekana uygun malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması amacıyla Çizelge 5.1’de tablo halinde sunulmaktadır.

**Çizelge 5.1:** İki malzemenin özelliklere göre avantaj/dezavantaj durumları

| <b>Özellikler</b>      | <b>Avantaj/Dezavantaj</b>                                                           |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ağırlık                | Polikarbonatlar camlara kıyasla daha hafiftir.                                      |
| Maliyet                | Polikarbonatlar camlara kıyasla daha ucuzdur.                                       |
| Nakliye/Montaj         | Polikarbonatların camlara kıyasla süreçleri daha kolaydır.                          |
| Yangın performansı     | İkincil işlem uygulamaları ile iki malzeme de benzer performans gösterebilmektedir. |
| Ses yalıtımı           | Polikarbonatlar camlara kıyasla daha iyi performans göstermektedir.                 |
| Tasarım alternatifleri | Polikarbonatlar kolaylıkla istenilen renk ve dokularda üretilabilmektedir.          |
| Üretim kısıtlamaları   | Polikarbonatlar yüksek uzunluklarda üretilabilmektedir.                             |
| Darbe dayanımı         | Polikarbonatlar camlara kıyasla daha dayanıklıdır                                   |

Literatür çalışması sonucunda erişilen yayınlardan anlaşıldığı üzere polikarbonat paneller için biyo-bazlı (bio-based) hammaddeden üretilmiş alternatifler üzerine çalışmalar devam etmektedir, bu çalışmalar polikarbonat panellerin gelecekte de yoğun olarak araştırılmaya ve malzemelerin performanslarının geliştirilmeye devam edeceğini göstermektedir.

Ayrıca unutulmamalıdır ki; cam tarih boyunca kullanılan ve geliştirilen bir malzemedir, polikarbonatların tarihi ise camlara kıyaslandığında oldukça yenidir. Bu çalışma polikarbonat panellerin alternatif transparan cephe elemanı olarak kullanılabileceği potansiyelini göstermektedir. Gelişen malzeme bilimi ve ar-ge çalışmaları ile polikarbonatlar da cam malzemeler gibi süreç içerisinde gelişerek kullanılmaya devam etme potansiyeli taşımaktadır.

Tüm bu sonuçlar birlikte düşünüldüğünde, iki malzemenin de zayıf ve güçlü yanları vardır. Değerlendirmesi yapılan alternatiflerden yalnızca birisini öne çıkartmak doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Mekanın, zamanın ve kullanıcının ihtiyaçları bir arada değerlendirilerek uygun malzeme seçimini yapmak en iyi sonucu verecektir.



## KAYNAKLAR

- Altın, M., & Orhon, A.** (2016). Enerji Korunumunda Adaptif/Uyarlı Cepheler. 8. *Ulusal Çatı&Cephe Sempozyumu*. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Altınok, H.** (2011). Özellikli Camların Mimaride Kullanımı. *Çatı ve Cephe*, 30.
- Aydın, H.** (2004). *PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri*. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi.
- ASHRAE.** (2009). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. ASHRAE handbook: Fundamentals. Atlanta, GA : ASHRAE.
- Drew, P.** (2008). *New Tent Architecture*. London: Thames & Hudson.
- Eyyüce, O.** (2012). Değişen Bina Kabuğu ve Çağdaş Gelişmeler. *Ege Mimarlık* 44, 4-7.
- Fuchs, W.** (2002). The future of commercial office development. S. J. edited by Rainer Hascher içinde, *Office buildings: a design manual*. Berlin: Birkhauser.
- Gayle, R., Kolokotroni, M., Cripps, A., & Tanno, S.** (2001). ETFE foil cushions in roofs and atria. *Construction and Building Materials*, 15(7) 323-327.
- Hasol, D.** (2012). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul: YEM Yayınları.
- Hegger, M., Drexler, H., & Zeumer, M.** (2006). *Basics Materials*. Basel: Birkhäuser.
- Hegger, M., Drexler, H., & Zeumer, M.** (2012). *Adım Adım Yapı Malzemeleri*. İstanbul: YEM Yayınları.
- Horrocks, A., Anand, S., & Anand, S.** (2000). *Handbook of Technical Textiles*. New York: CRC.
- Kaltenbach, F.** (2004). *Translucent materials : Glass, plastics, metals* . Basel: Birkhäuser.
- Küçüközdemir, G.** (2003). *Güneş etkisine bağlı yapı kabuğu oluşumu ve malzeme seçim kriterleri*. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- LeCuyer, A.** (2008). *ETFE: Technology and Design*. Berlin: Birkhauser.

- Masih, D., Lau, B., & Chilton, J.** (2015). Daylighting Performance in an Atrium with ETFE Cushion Roof and in an ETFE-Encapsulated Panel Structure. *Energy Procedia*, (78) 483-488.
- Moretti, Z. B.** (2014). Polycarbonate panels for buildings: Experimental investigation of thermal and optical performance. *Energy and Buildings*, 23-35.
- Orhon, A.** (2013). Akıllı Yapı Kabukları. *II. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi*. İzmir.
- Orhon, A., & Altın, M.** (2014). Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik. 7. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Ritter, A.** (2007). *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Basel : Birkhauser.
- Schittich, C.** (2006). *In Detail: Building Skins*. New Enlarged : Birkhäuser.
- Sert, F.** (2016). Çatı ve Cephe Sistemlerinde ETFE Kaplamalarının Kullanımı. 8. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Sönmez, F., & Demirtaş, M.** (2009). Giydirmeye Cephe Sistemlerinden Transparan Cephe ve Cephe Malzemesi Olarak "Ayna". *Çatı ve Cephe*, 23.
- Şahin, B. D.** (2019). Açık Planlı Ofis Yapılarında Akustik Konfor Koşullarının İncelenmesi: İzmir'de Bir Ofis Yapısı Örneği Yüksek Lisans Tezi. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TDK.** (2011). Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları.
- TS825.** (2013). *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*.
- Toydemir, N.** (1990). *Cam Yapı Malzemeleri*. İstanbul: Sakarya Matbaacılık.
- U.S. Energy Information Administration.** (2018). *Commercial Buildings Energy Consumption Survey - Consumption and Expenditures Highlights*. ABD: U.S. Energy Information Administration.
- U.S. Energy Information Administration, & Administration, U. E.** (2018). *Commercial Buildings Energy Consumption Survey - Building Characteristics Highlights*. ABD: U.S. Energy Information Administration.
- Yılmaz, F.** (1998). Plastik ve Organik Atıkların Geri dönüşümü. *Plastik & Ambalaj Teknolojisi Teknik Dergisi*, (28) 110-114.
- Wigginton, M.** (1996). *Glass in architecture*. London: Phaidon.
- Url-1** <<https://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton>>, erişim tarihi 10.05.2022.
- Url-2** <<https://www.arkiv.com.tr/proje/istanbul-karayollari-zincirlikuyu-tesisleri/1890>>, erişim tarihi 10.05.2022.

- Url-4** <<http://www.avrupatemper.com/product-detail/84/renkli-camlar>>, erişim tarihi 22.06.2022.
- Url-3** <<https://tr.pinterest.com/pin/484770347393722252/>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-5** <<http://www.westislandglass.com/en/5-low-emissivity-coated-film>>, erişim tarihi 3.07.2020.
- Url-6** <<https://insapedia.com/yapilarda-kullanilan-cam-cesitleri/>>, erişim tarihi 3.07.2020.
- Url-7** <<https://www.erencamlamasistemleri.com.tr/urunler/yalitim-camlari/isi-cam/isicam-konfor/>>, erişim tarihi 3.07.2020.
- Url-8** <<https://www.glassmanufacturerchina.com/tr/products/Factory-directly-competitive-price-of-glass-floor-frosted-tempered-laminated-glass-floor.html>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-9** <<https://www.yorglass.com/urunler/telli-camlar>>, erişim tarihi 3.07.2020.
- Url-10** <<https://www.globalpiyasa.com/tr/urun/cam-tugla-m-salt-cam-urunleri-santic-a-s/117081>>, erişim tarihi 06.06.2020.
- Url-11** <<http://tr.quartz-marble.com/mosaic-and-patterns/mosaic/crystal-glass-mosaic-tiles.html>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-12** <<https://www.simplyplastics.com/catalog/sheet/cast-acrylic-sheet/glass-look-cast-acrylic-sheet/c-24/c-83/p-204>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-13** <<https://tr.pinterest.com/pin/352054895867747166/>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-14** <<https://www.ajbuildingslibrary.co.uk/projects/display/id/4954>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-15** <<https://squireandpartners.com/architecture/reiss/>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-16** <<https://www.arkitektuel.com/munih-olimpiyat-stadyumu/>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-17** <<https://www.polinyapi.com.tr/bizden-haberler/polikarbonat-nedir.html>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-18** <<https://www.polikarbonat.com/>>, erişim tarihi 22.06.2020
- Url-19** <<https://inspiration.detail.de/labán-centre-in-london-103729.html?lang=en>>, erişim tarihi 04.07.2020
- Url-20** <<https://www.dezeen.com/2016/12/11/herzog-de-meuron-laban-dance-centre-new-photographs-jim-stephenson/>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-21** <<https://ost-block-fieber.tumblr.com/post/20775000528>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-22** <<https://www.architonic.com/en/story/ulrich-buttner-textile-facades-state-of-the-art-at-techtexil-2015/7001069>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-22** <<https://www.archdaily.com/615466/anaheim-regional-transportation-intermodal-center-hok>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-23** <<https://www.birdair.com/membrane/pvc/>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-24** <<https://www.accumulata.de/portfolio-items/aviva-munich/?lang=en>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-25** <<https://www.schwarz-architekten.com/project/alterswohnen-domat-ems/>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-26** <<https://www.schwarz-architekten.com/project/alterswohnen-domat-ems/>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-27** <<http://mimdap.org/2010/09/jean-nouvelden-goz-alycy-muze-cephesi/>>, erişim tarihi 04.07.2020.

- Url-27** <<https://www.heidelbergcement.com/en/italian-pavilion-shanghai>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-28** <<https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html>>, erişim tarihi 04.07.2020.
- Url-29** <<https://www.bahai.us/bahai-temple/>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-30** <<https://www.arkitera.com/haber/silide-insa-edilen-bahai-tapinagi/>>, erişim tarihi 22.06.2020.
- Url-31** <<https://www.trakya-cam.com.tr/wp-content/uploads/2018/08/Kaplamali-Camlar-Performans-Tablosu.pdf>>, erişim tarihi 15.10.2020.
- Url-32** <[https://www.yesilbinadergisi.com/yayin/734/sisecam-genel-merkezi\\_22405.html](https://www.yesilbinadergisi.com/yayin/734/sisecam-genel-merkezi_22405.html)>, erişim tarihi 20.11.2022.
- Url-33** <<http://mimdap.org/2010/05/cam-cepheli-ofis-yethil-mimarlyk-odulu-aldy/>>, erişim tarihi 10.12.2022.
- Url-34** <<https://www.bdonline.co.uk/cpd/-cpd-18-2012-polycarbonate-window-and-wall-systems/5046342.article>>, erişim tarihi 10.11.2022.
- Url-35** <<https://xxi.com.tr/i/uretimden-spora>>, erişim tarihi 10.11.2022.
- Url-36** <<https://5osa.com/6971>>, erişim tarihi 9.10.2022.
- Url-37** <<https://www.polycarbonatesheetpanel.com/>>, erişim tarihi 10.10.2022.
- Url-38** <<https://www.arkitera.com/haber/italyada-opak-ve-seffaf-yuzeyli-bir-depo/>>, erişim tarihi 10.10.2022.
- Url-39** <[https://www.archdaily.com/522769/tsn-residential-extension-le-noirmont-dubail-begert-architectes?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/522769/tsn-residential-extension-le-noirmont-dubail-begert-architectes?ad_medium=gallery)>, erişim tarihi 10.10.2022.
- Url-40** <<https://www.bdonline.co.uk/cpd/-cpd-18-2012-polycarbonate-window-and-wall-systems/5046342.article>>, erişim tarihi 10.11.2022.
- Url-41** <[https://www.dezeen.com/2023/02/25/nightlight-shed-fabric-architecture-new-zealand/?utm\\_medium=email&utm\\_campaign=Daily%20Dezeen&utm\\_content=Daily%20Dezeen+CID\\_82f7a89f8d2419d9575e9190a2c716f4&utm\\_source=Dezeen%20Mail&utm\\_term=Fabric%20creates%20timber%20a](https://www.dezeen.com/2023/02/25/nightlight-shed-fabric-architecture-new-zealand/?utm_medium=email&utm_campaign=Daily%20Dezeen&utm_content=Daily%20Dezeen+CID_82f7a89f8d2419d9575e9190a2c716f4&utm_source=Dezeen%20Mail&utm_term=Fabric%20creates%20timber%20a)>, erişim tarihi 10.2.2023.
- Url-42** <<https://tr.weatherspark.com/h/d/95434/2022/8/18/18-A%C4%9Fustos-2022-Per%C5%9Fembe-tarihinde-in%C4%B0stanbul-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu#Figures-Temperature>>, erişim tarihi 19.05.2023.
- Url-43** <[WeatherSpark.com.](https://www.weather.com)>, erişim tarihi 19.05.2023.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Filiz İrem MEMİŞOĞLU

### ÖĞRENİM DURUMU :

- **Lisans** : 2018, Maltepe Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık

### MESLEKİ DENEYİM :

- Temmuz 2019'dan beri Maltepe Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

### DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Şen, K., Özgüven, Y., **Memişoğlu, F. İ.**, Ertürk, D. Z., (2022). Grading the Level of Inclusiveness in Museum Buildings: İstanbul Modern Museum. *The International Journal of the Inclusive Museum* 16 (1): 17-30. doi:10.18848/1835-2014/CGP/v16i01/17-30.
- **Memişoğlu F. İ.**, Altın E., Biyokompozit Malzemelerin Mobilya Uygulamalarında Sürdürülebilirlik Kapsamında Değerlendirilmesi, *VI. Uluslararası Mobilya Kongresi Proceedings Book*, ed. Kalaycıoğlu H., Aras, U., Demirel, G., Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2-5 Kasım 2020, Trabzon, ss. 199-209 ISBN No: 978-605-2271-34-6
- **Memişoğlu F. İ.**, (2020). Kentsel Dönüşüm / Ayrışma Projeleri üzerine bir Örnek İncelemesi: İstanbul Ataşehir Barbaros Mahallesi Örneği. *İstanbul'da Mekansal ve Sosyal Ayrışmanın Haritalanması*, ed. Alp, J., Onur A.C. İstanbul: Maltepe Üniversitesi Yayınları, 66-74. ISBN : 978-605-2124-36-9