



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**AKILLI CAM SİSTEMLERİN BİNANIN**  
**ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ: KONYA**  
**KENTPLAZA OFİS ÖRNEĞİ**

**Kübra ÖZTEMEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Şubat-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Kübra ÖZTEMEL tarafından hazırlanan “Akıllı Cam Sistemlerin Binanın Enerji Performansına Etkisi: Konya Kentplaza Ofis Örneği” adlı tez çalışması 9/2/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Selçuk SAYIN  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Mustafa TOSUN  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ  
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kübra ÖZTEMEL

04.03.2024

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### AKILLI CAM SİSTEMLERİN BİNANIN ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ: KONYA KENTPLAZA OFİS ÖRNEĞİ

**Kübra ÖZTEMEL**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOSUN**

**2024, 108 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Mustafa TOSUN  
Doç. Dr. Selçuk SAYIN  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ**

Mimarlık alanında cam sistemlerin yaygın kullanımı ve enerji giderlerinin artması enerji verimliliğine duyulan ihtiyacı artırmıştır. Enerji tüketimini azaltabilen Low-e cam teknolojisinin binalarda kullanımı önem kazanmıştır. Cam sistemlerin ısıl geçirgenlik kat sayısı değeri (U değeri) enerji tüketimini etkilemektedir. Düşük U değerlerine sahip cam sistemlerin kullanılmasıyla enerji tüketiminde azalma beklenmektedir. Bu tez çalışmasında Low-e cam sistemlere alternatif olarak akıllı malzemelerin entegre edildiği cam sistemlerin enerji performansı incelenmiştir.

Kentplaza Ofis Binası'na ait çizim dosyalarının Revit programında modellenmesi ve Insight eklentisiyle enerji simülasyonu yapılmıştır. Mevcut duruma ek olarak akıllı cam sistemlerin de enerji simülasyonları oluşturulmuştur. Revit programı farklı cam sistemlerin enerji performansını değerlendirmeye olanak sağlamıştır. Kentplaza Ofis Binası'nın mevcut durumuna göre termokromik cam sistemin uygulandığı senaryo %14,8 oranında, elektrokromik cam sistemin %9,7 oranında ve asılı parçacıklı cam sistemin %4,1 oranında enerji tüketiminde azalma sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca mevcut durum enerji verileriyle kıyaslandığında sıvı kristal cam sistemin enerji tüketimi %3,2 artmıştır. Fotokromik camlar ise mevcut cam sistemin enerji tüketimine göre %5,1'lik artış göstermiş ve en fazla enerji tüketen cam sistem olarak saptanmıştır. Böylece akıllı cam sistemlerin enerji verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak cam sistemlere entegre edilecek akıllı malzemelerin özellikleri iyi bilinmelidir. İstenilen özelliğe göre seçilen akıllı cam sistemler ile enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Akıllı malzemeler, sürdürülebilirlik ilkesine uygun ve enerji verimliliğine katkı sağlayan yapı malzemesi alternatifleri olarak geliştirilmesine devam edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı malzemeler, Akıllı cam sistemler, Cam sistemler, Enerji analizi, Enerji verimliliği

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **THE EFFECT OF SMART GLASS SYSTEMS ON THE ENERGY PERFORMANCE OF THE BUILDING: KONYA KENTPLAZA OFFICE EXAMPLE**

**Kübra ÖZTEMEL**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Architecture**

**Advisor: Prof. Dr. Mustafa TOSUN**

**2024, 108 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Mustafa TOSUN  
Assoc. Dr. Selçuk SAYIN  
Asst. Prof. Dr. Mustafa DERELİ**

The widespread use of glass systems in the field of architecture and the increase in energy costs have increased the need for energy efficiency. The use of Low-e glass technology, which can reduce energy consumption, in buildings has gained importance. The thermal permeability coefficient value (U value) of glass systems affects energy consumption. A reduction in energy consumption is expected by using glass systems with low U values. In this thesis study, the energy performance of glass systems in which smart materials are integrated as an alternative to Low-e glass systems was examined.

The drawing files of the Kentplaza Office Building were modeled in the Revit program and energy simulation was made with the Insight plug-in. In addition to the current situation, energy simulations of smart glass systems have also been created. The Revit program made it possible to evaluate the energy performance of different glass systems. According to the current situation of the Kentplaza Office Building, it has been determined that the scenario in which the thermochromic glass system is applied reduces energy consumption by 14.8%, the electrochromic glass system by 9.7% and the suspended particle glass system by 4.1%. Additionally, when compared to the current state energy data, the energy consumption of the liquid crystal glass system increased by 3.2%. Photochromic glasses, on the other hand, increased by 5.1% compared to the energy consumption of the existing glass system and were determined to be the glass system that consumes the most energy. Thus, the effects of smart glass systems on energy efficiency were evaluated.

As a result, the properties of smart materials to be integrated into glass systems should be well known. It is possible to save energy with smart glass systems selected according to the desired feature. Smart materials continue to be developed as building material alternatives that comply with the principle of sustainability and contribute to energy efficiency.

**Keywords:** Smart materials, Smart glazing Systems, Glazing Systems, Energy analysis, Energy efficiency

## ÖNSÖZ

Çağımızın en büyük problemlerinden olan küresel ısınmanın sebeplerinden biri fosil yakıt tüketimidir. Fosil yakıtlar yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Yenilenemez enerji kaynağı kullanımı sonucunda atmosfere karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) gazları yayılmaktadır. Atmosferde biriken bu gazlar ise sera etkisi oluşturarak iklimde değişikliğe, ekosistemin bozulmasına, su kaynakların kirlenmesine ve sağlık problemlerine yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ve enerji verimliliğine katkı sağlayan önlemler ile sera etkisi azaltılmaktadır.

Binalar yüksek miktarda enerji tüketmektedir. Binanın tasarım aşamasından ömrünü sonuna kadar birçok döneminde enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Yapı elemanlarında tercih edilen malzeme türü ile enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Kullanıcı memnuniyetini sağlayarak çevresel etkileri algılayan ve tepki veren akıllı cam sistemler, enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır. Akıllı cam sistemlerin anlaşılıp tanınması, gerekli mekânlarda kullanımının artması ve çalışma alanının gelişmeye açık olması sebebiyle bu çalışmanın mimarlık alanında referans olmasını beklemekteyim.

Ders ve tez dönemi boyunca tecrübe ve bilgi birikimiyle çalışmalarına ışık tutan kıymetli danışmanım Prof. Dr. Mustafa TOSUN'a katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hoşgörleriyle yanımda olan Mimarlık Bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

Teknik verilere hızlı bir şekilde ulaşmamı sağlayan güler yüzlü Kentplaza AVM çalışanlarına ve DEHA Grup çalışanlarına; yardımlarından dolayı Makine Mühendisi Çağlar DOĞAN ve İnşaat Mühendisi Hasan VAROL'a çok teşekkür ederim.

Tez yazım sürecimde her zaman yanımda olan ve bilgilerini paylaşan değerli meslektaşım ve dostum Şerife Betül GÜREL'e çok teşekkür ederim. Yardımları için Tuğçe ÇAĞLAYAN ÖZKÖK ile Benginur DOĞAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini her zaman hissettiğim değerli dostlarım Büşra ÖZBEK ile Zeynep BÜYÜKTEMİZ'e teşekkür ederim. Ayrıca kaynak temininde sağladığı katkılardan dolayı ve tecrübelerini aktardığı için değerli Araştırma Görevlisi Alperen VARALAN'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi olarak beni her zaman destekleyen, bugünlere gelmem için büyük çaba harcayan anneme ve babama çok teşekkür ederim. İhtiyaç duyduğum her an moral veren sevgili ablama, abilerime ve yeğenim Melina'ya minnettarım. Bu zorlu ve uzun süreçte iyi dileklerini esirgemeyen akrabalarımın teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak zor zamanlar geçirdiğimi fark edip ansızın çalışma masama beni cesaretlendirecek ve şevkle çalışmamı sağlayacak notlar bırakan sevdiklerime ne kadar teşekkür etsem azdır. İyi ki varsınız.

Kübra ÖZTEMEL  
KONYA-2024

## İÇİNDEKİLER

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                           | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                        | <b>v</b>   |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                          | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                    | <b>vii</b> |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>                                        | <b>ix</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                       | <b>1</b>   |
| 1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi .....                                        | 3          |
| 1.2. Çalışmanın Problem Tanımı ve Hipotezi.....                             | 3          |
| 1.3. Çalışmanın Kapsamı .....                                               | 4          |
| 1.4. Literatür Araştırma Özeti.....                                         | 5          |
| <b>2. AKILLI MALZEMELER VE CAM SİSTEMLERDE KULLANIMI.....</b>               | <b>11</b>  |
| 2.1. Akıllı Malzemelerin Tarihsel Gelişimi .....                            | 11         |
| 2.2. Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması .....                            | 13         |
| 2.2.1. Addington ve Schodek’e göre akıllı malzemelerin sınıflandırması..... | 13         |
| 2.2.2. Ritter’a göre akıllı malzemelerin sınıflandırması .....              | 15         |
| 2.3. Akıllı Malzemelerin Kullanım Alanları.....                             | 17         |
| 2.4. Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanım Örnekleri .....                | 18         |
| 2.4.1. Akıllı malzemelerin Dünya’da kullanım örnekleri .....                | 19         |
| 2.4.2. Akıllı malzemelerin Türkiye’de kullanım örnekleri/önerileri .....    | 24         |
| 2.5. Akıllı Malzemelerin Cam Sistemlerde Kullanımı .....                    | 29         |
| 2.5.1. Pasif cam sistemler .....                                            | 32         |
| 2.5.2. Aktif cam sistemler .....                                            | 38         |
| 2.6. Akıllı Cam Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları .....             | 45         |
| 2.7. Akıllı Cam Sistemlerin Enerji Verimliliği.....                         | 48         |
| 2.7.1. Enerji verimliliği.....                                              | 48         |
| 2.7.2. Termokromik cam enerji verileri.....                                 | 49         |
| 2.7.3. Fotokromik cam enerji verileri .....                                 | 49         |
| 2.7.4. Elektrokromik cam enerji verileri.....                               | 50         |
| 2.7.5. Sıvı kristal cam enerji verileri.....                                | 50         |
| 2.7.6. Asılı parçacıklı cam enerji verileri.....                            | 50         |
| 2.8. Bölüm Değerlendirmesi .....                                            | 51         |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                           | <b>53</b>  |
| 3.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler .....                            | 54         |
| 3.1.1. Binanın bulunduğu bölgenin yerel iklim verileri.....                 | 55         |
| 3.1.2. Çevre topoğrafyası ve yapılaşması .....                              | 58         |
| 3.2. Ofis Binasının Belirlenmesi ve Tanıtılması.....                        | 58         |
| 3.2.1. Bina yapı elemanı verileri.....                                      | 66         |
| 3.2.2. Bina işletim verileri .....                                          | 67         |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3. Bina Modelinin Oluşturulması.....                                | 69        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIşMA.....</b>                                   | <b>72</b> |
| 4.1. Mevcut Cam Sistemin Enerji Analizi .....                         | 72        |
| 4.2. Akıllı Cam Kullanım Senaryolarının Enerji Analizi .....          | 76        |
| 4.2.1. Termokromik cam sistemin enerji analizi .....                  | 76        |
| 4.2.2. Fotokromik cam sistemin enerji analizi.....                    | 77        |
| 4.2.3. Elektrokromik cam sistemin enerji analizi .....                | 78        |
| 4.2.4. Sıvı kristal cam sistemin enerji analizi .....                 | 79        |
| 4.2.5. Asılı parçacıklı cam sistemin enerji analizi .....             | 80        |
| 4.3. Mevcut Durum ve Senaryoların Enerji Analizi Karşılaştırması..... | 81        |
| 4.4. Bölüm Değerlendirmesi .....                                      | 82        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                  | <b>87</b> |
| 5.1. Sonuçlar .....                                                   | 88        |
| 5.2. Öneriler .....                                                   | 89        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                | <b>91</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                    | <b>99</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| °C                 | : Santigrat derece                  |
| CaO                | : Kireç                             |
| CH <sub>4</sub>    | : Metan                             |
| cm                 | : Santimetre                        |
| CO <sub>2</sub>    | : Karbondioksit                     |
| FeSi <sub>2</sub>  | : Demir disilisid                   |
| kWh                | : Kilowatt saat                     |
| m                  | : Metre                             |
| mm                 | : Milimetre                         |
| Na <sub>2</sub> O  | : Soda                              |
| NO <sub>x</sub>    | : Azot oksit                        |
| SiO <sub>2</sub>   | : Silisyum dioksit                  |
| TiO <sub>2</sub>   | : Titanyum dioksit                  |
| VO <sub>2</sub>    | : Vanadyum dioksit                  |
| W/m <sup>2</sup>   | : Watt metrekare                    |
| W/m <sup>2</sup> K | : Isıl geçirgenlik katsayısı birimi |
| WO <sub>3</sub>    | : Tungsten oksit                    |

### Kısaltmalar

|          |                                                                                |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| AB       | : Avrupa Birliği                                                               |
| ABD      | : Amerika Birleşik Devletleri                                                  |
| AVM      | : Alışveriş merkezi                                                            |
| BEP-TR   | : Binalarda Enerji Performansı Uygulaması                                      |
| BIM      | : Yapı Bilgi Modelleme / Building Information Modelling                        |
| EC       | : Elektrokromik                                                                |
| HVAC     | : Isıtma, havalandırma, iklimlendirme / Heating, ventilation, air conditioning |
| IR       | : Kızılötesi/Infrared                                                          |
| LC       | : Sıvı/Likit kristal                                                           |
| Low-e    | : Düşük emisyonlu/yayınımli                                                    |
| PC       | : Fotokromik                                                                   |
| PCM      | : Faz değıştiren malzeme                                                       |
| PDLC     | : Polimerde dağılmış sıvı kristal                                              |
| SHGC     | : Güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri / Solar heat gain coefficient       |
| SMA      | : Şekil hafızalı alaşım                                                        |
| SPD      | : Asılı parçacıklı ekran                                                       |
| TS       | : Türk Standartları                                                            |
| U değeri | : Toplam ısıl geçirgenlik katsayısı / Thermal transmittance                    |
| UV       | : Morötesi/Ultraviyole                                                         |
| VAV      | : Merkezi değışken hava debili sistem                                          |

## 1. GİRİŞ

Sanayi devriminin gerçekleşmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte enerji talebi artış göstermektedir. Endüstri, ulaştırma, tarım ve diğer sektörlerdeki teknolojik gelişmeler, enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıt kullanımını kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu duruma ek olarak daha konforlu bir yaşam alanı için iklimlendirme sistemlerinin kullanımı artmakta dolayısıyla elektrik üretmek için fosil yakıt kullanılmaktadır. Fosil yakıta ve iklimlendirme sistemlerine olan ihtiyaç sonsuz bir döngü haline girmektedir. Ancak fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosfere karbondioksit salınmakta ve canlı yaşamı olumsuz bir şekilde etkilenmektedir (Parkin and Manning, 2006).

Enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla enerji verimliliğinin önemi de artmaktadır. 1900'lerin ortasından itibaren iklim değişikliği ve hammadde yetersizliğine çözüm üretmek amacıyla fosil yakıt kullanımını azaltmaya yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Ayrıca enerji kaynaklarının fiyatının sürekli artması enerji hammaddesi ithal eden ülkeler için zorluk oluşturmaktadır. Bu zorlukla başa çıkmanın en önemli yolu ise enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik olarak görülmektedir. (Gökçen Üner, 2018 ve Erdemli, 2018). Enerji verimliliğini sağlamak için tüm alanlarda enerji tasarrufu sağlamak gerekmektedir.

Binalar küresel boyutta üretilen enerjinin %36'sını yapım, kullanım, onarım ve yıkım aşamasında kullanmaktadır (Sünnetçi ve diğ., 2021). Günümüzde bir bireyin ise günlük 15-22 saati binalarda geçmektedir (Djalilova, 2019). Bu bilgiler göz önüne alındığında binalarda enerji verimliliğine daha çok dikkat edilmesi gerekmektedir.

Binalar çeşitli yapı elemanlarından oluşmaktadır. Duvar, çatı, döşeme ve cam gibi yapı elemanları ısı kaybına neden olmaktadır. Cam yüzeylerin %20-30 civarında ısı kaybına sebep olduğu görülmektedir. Bu sebeple camın enerji verimliliğine katkısı, düşük olarak kabul edilmektedir (İsmail, 2012 ve Erdemli, 2018). Mevcut cam sistemler ile binaya devamlı ısı alınmakta veya cam sistemler ısıyı sürekli geçirmektedir (Parkin and Manning, 2006).

Rüzgar, sıcaklık değişimi ve yağış gibi çevresel faktörlere doğrudan maruz kalan camların kullanımının artmasıyla birlikte çeşitli sorunlar ortaya çıkmıştır. Cam sistemlerin yüksek miktarda ısı kaybına sebep olmasının yanı sıra mahremiyet ve parlama açısından da istenilmeyen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Ancak binalarda cam kullanımının hem doğal aydınlatma hem de havalandırma açısından önemi büyüktür. Cam sistem sorunlarını çözmek amacıyla alternatif yollar aranmış ve öneri

olarak akıllı malzemelerin kullanıldığı cam sistemler ortaya çıkmıştır. Günümüzde akıllı malzemelerin cam sistemlerde kullanılmasıyla mahremiyetin, parlamanın ve ısı kaybının azaltılmasındaki potansiyeli ve uygulama kolaylığı araştırılmaya devam edilmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Geleneksel cam sistemlerle karşılaştırıldığında ayarlanabilir şeffaflık ve güneş ışığı kontrolü gibi özellikleri dikkat çekmektedir. Ancak bu malzemelerin maliyeti, bakım gereksinimleri ve teknik karmaşıklığı gibi dezavantajları da göz önüne alınmalıdır.

Birçok yapı elemanına düşük maliyetli yatırım yapılarak enerji verimliliğine katkı sağlanabilir. Bina cephelerinde cam yüzeyi miktarı ve kullanılan malzeme ile ısı kayıplarının önüne geçilebilir. Akıllı malzemeler ile ihtiyacı karşılayacak olan cam sistemlerin enerji verimliliği üzerindeki katkısı önemlidir. Tasarım aşamasında ne tür malzeme kullanılacağına karar vermek için bilgisayar destekli enerji simülasyon programlarından yararlanmak mümkündür.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, araştırmanın ana hatları belirlenmiş ve tez ile ilgili genel bilgilendirme yapılmıştır. Tezin amacı ve önemi, araştırma sorusu ve hipotezi ile çalışmanın sınırı belirlenmiştir. Konuyla ilgili kaynaklar incelenirken araştırma sorusunun ortaya çıkmasını neden olan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde akıllı malzeme tanımından başlanarak avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Akıllı malzemelerin farklı sınıflandırma örnekleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca mimarlıkta bu malzemelerin kullanımı görsel örneklerle desteklenerek açıklayıcı bir şekilde anlatılmıştır. Akıllı cam sistemlerin çalışma şeması ve kullanıcı konforuyla ilişkili bilgileri düzenlenmiştir. Alan çalışmasına altlık oluşturması amacıyla akıllı malzeme entegre edilerek üretilen cam sistemler ve bu sistemlerin enerji verimliliği üzerinde durulmuştur. Cam sistemlerde kullanılan akıllı malzemelerin enerji verimliliğine etkisi tablolar ile analiz edilmiştir. Ortaya çıkan veriler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde materyal ve yöntem hakkında kapsamlı açıklamalar yapılmıştır. Çalışmanın yöntemi görselleştirilerek belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışma alanına yönelik açıklamalar yapılmıştır. Enerji modellemesi için gerekli veriler düzenlenmiştir. Ofis binasının enerji modellemesi yapılmış ve akıllı malzeme kullanıldığı senaryoların ısıtma ve soğutma tüketimleri program yardımıyla hesaplanmıştır.

Beşinci bölümde çalışmanın birinci bölümünden itibaren elde edilen veriler ile yapılan analizler değerlendirilerek genel sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Hammadde eksikliğinin ve çevresel bozulmaların artması, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle binalarda enerji tüketimini azaltma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Geleneksel tek camlı sistemlerin izolasyon değeri düşük ve enerji verimliliği yetersizdir. Cam sistemin malzeme ve boyut tercihi enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Geniş yüzeyli camlarda meydana gelen ısı kaybı nedeniyle kış aylarında ısıtma, yaz aylarında ise soğutma tüketimleri artmaktadır. Ayrıca yeterli cam yüzeyi bulunmayan mekânların aydınlatma tüketimi artmaktadır.

Cam sistemler, bazı ısı ve görsel konfor sorunları oluşturmaktadır. Bu sorunları çözmek amacıyla izolasyon malzemeleri, iki veya üç katmanlı cam sistemler ve akıllı cam sistemler geliştirilmiş böylece enerji tasarrufu sağlayan pencere tasarımları ortaya çıkmıştır. İncelenen çalışmalar, akıllı malzemelerin kullanımıyla çevresel etkilerden kaynaklanan sorunları azaltmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Akıllı malzeme kullanımının bu sorunların üstesinden gelmede ne kadar ve nasıl etkili olduğu merak konusu olmuştur.

Bu tez çalışması, mimari tasarımda akıllı malzeme kullanımını desteklemek ve alandaki bilimsel araştırmalara katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Bu amacın yanında tasarım öncesi malzeme seçiminin önemini vurgulamak hedeflenmiş olup akıllı cam sistemlerin mevcut cam sisteme kıyasla enerji verimlilik oranlarının hesaplanması hedeflenmiştir. Elde edilen bulgularla bilimsel temellere dayanan, sürdürülebilir ve enerjiyi verimli kullanan tasarımların yapılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Literatürde akıllı malzemelerin enerji verimliliğine katkısıyla ilişkili kaynaklar sınırlı olup yapılan çalışmalar ise elektrokromik malzeme üzerine yoğunlaşmıştır. Akıllı malzeme kullanılan cam sistemlerin enerji verimliliğine yeni bir bakış sunması ve diğer akıllı malzemelerin de enerji verimliliğine dair fikir oluşturması tez çalışmasını özgün ve önemli hale getirmiştir.

### 1.2. Çalışmanın Problem Tanımı ve Hipotezi

“Akıllı cam sistemlerin enerji verimliliğine etkisi nedir?” sorusu çalışmanın ana problemini oluşturmaktadır. “Akıllı malzemelerin cam sistemlerde kullanılmasıyla ne kadar enerji tasarrufu sağlanabilir?” sorusu çalışmanın bir diğer problemidir. Akıllı cam

türlerinin yıllık enerji tüketimine etkisinin hangi oranlarda olduğu ve 3. İklim bölgesi için en uygun akıllı camın hangisi olduğu sorularına cevap aranmıştır.

Çalışmanın hipotezleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Akıllı malzeme kullanımı ile enerji verimliliğinin artırılabilceği, ısı kayıplarının azaltılabileceği ve cam sistemlerin genel performansının iyileştirilebileceği tahmin edilmektedir.
- Tez çalışması kapsamında ele alınan akıllı cam sistemlerin güneş enerjisi toplam geçirgenlik değerine (SHGC) ve ısı geçirgenlik kat sayısına (U değeri) bakılarak enerji verimliliğine dair fikir yürütülebilir. İklim bölgelerine göre en uygun akıllı cam tercihleri önceden belirlenebilir.
- Çalışmada 2012 yılında tamamlanan Konya Kentplaza Ofis Binası'nın, 2008 yılında yayınlanan TS 825'e göre ısı geçirgenlik kat sayısı  $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den (3. bölge için camın en fazla olması gereken U değerinden) daha düşük olan akıllı malzeme kullanımında yıllık enerji tüketiminin azalacağı düşünülmektedir.
- Akıllı malzemelerin bütünleştirilmesiyle cam sistemlerin daha sürdürülebilir bir hale gelmesi beklenmektedir.

### 1.3. Çalışmanın Kapsamı

Tez kapsamında akıllı cam sistemlerin enerji verimliliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda bina cephesinde cam yüzey miktarı fazla olan binalar incelenmiştir. İnceleme sonrasında ofis binalarının en uygun çalışma alanı olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemi takip eden süreçte Konya ilinde bulunan ofis binaları incelenerek iklimsel özelliklere uyan, merkezde yer alan ve yapılaşmadan etkilenmemesi için çevresinde az katlı binaların bulunduğu Kentplaza Ofis Binası, çalışma alanı olarak tercih edilmiştir. Bu binanın seçilmesi ile araştırmanın sonuçlarını genelleme ve benzer iklim koşullarına sahip ofis binaları için öneri sunma konusunda etkili bir temel oluşturulmuştur.

Ofis binasının yıllık tüketim hesaplaması yapılırken ısıtma, soğutma, aydınlatma tüketimleri ve ofis elemanlarından kaynaklanan enerji tüketimleri hesaplamalara dâhil edilmiştir. Mevcut durum enerji modellemesine makine dairesi ve tesisat kat planı tamamen duvardan oluştuğu için dahil edilmemiştir. Lobi katı ise AVM bloğu ile ortak kullanılmakta ve kat cephesinin tamamı camdan oluştuğu için analize dahil

edilmemiştir. Sıvı kristal cam sistemler hariç akıllı cam sistemlerin koyulaştığı ve saydam durumdaki U değerleri değişmemektedir. Pasif sistemlerde ise koyulaşma durumuna müdahale edilememekte ve gün içinde sıcaklık ile ışık yoğunluğuna bağlı olarak koyulaşmalar oluşmaktadır. Bu sebeple pasif sistemlerde koyulaşmaya bağlı mekan içinde ihtiyaç duyulabilecek aydınlatma tüketimi tespit edilememektedir. Elektrik enerjisiyle saydamlık değiştiren aktif akıllı cam sistemlerin ve çevresel etkilerle koyulaşan pasif cam sistemlerin sürekli saydam olduğu durum kabul edilmiştir. Böylece Revit programına cam sistem verileri saydam duruma göre aktarılmıştır. Cam sistemlerin koyulaştığı durumların hesaplamalara dahil edilmemesi çalışmanın sınırlılığını oluşturmaktadır.

#### 1.4. Literatür Araştırma Özeti

Tez çalışması kapsamında incelenen çalışmalar beş başlık altında özetlenmiştir. Akıllı malzemelerin genel özellikleri konusundaki literatür çalışmaları incelenmiştir. Akıllı malzemelerin kullanım alanları, kullanım açısından güçlü ve zayıf yönleri değerlendirilmiştir. Akıllı malzemeler hakkında genel bilgiler ve kullanım örnekleri ile ilişkisi olan araştırmalar derlenmiştir.

Addington ve Schodek (2005)'in, çalışmasında geleneksel ve akıllı malzeme ayrımını sağlayacak unsurlardan bahsedilmektedir. Akıllı malzemelerin çeşitlerine, özelliklerine ve sınıflandırılmasına kapsamlı olarak değinilmiştir. Malzeme kullanım örnekleri ve akıllı malzeme detay çizimleri verilmiştir.

Orhon (2012), çalışmasında mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınırlı olduğuna değinilmektedir. Çevreye duyarlı bina tasarımında akıllı malzeme kullanımının önemi vurgulanmaktadır.

Orhon (2013), makalesinde sürdürülebilir yapı uygulamalarında akıllı malzemelerin önemini vurgulamaktadır. Fotokatalitik cephe panelleri, beton uygulaması ve cam sistemleri ile hava temizleyici etki sağlandığı belirtilmektedir. Faz değiştiren malzemelerin harç veya dolgu malzemesine eklenmesiyle ısı depolama özelliği sağlanmaktadır. Termoelektrik malzemenin bina kabuğunda uygulanmasıyla ve piezoelektrik malzemeyle üretilen rüzgâr tüylerinin üretilmesi gibi teorik elektrik üretme projeleri de çalışmada yer almaktadır.

Yüksel Ayvaz'ın (2019), yüksek lisans tezinde akıllı malzemelerin kullanım alanları ve örnekleri yer almaktadır. Elektrokromik malzemenin duvar, çatı ve cam

elemanı olarak; fotokromik malzemenin boya malzemesi üretiminde, termokromik malzemenin duvar, çatı ve cam elemanı olarak ve boya malzemesi üretiminde kullanıldığı belirtilmektedir. Cam ve beton elemanı olarak fotokatalitik malzeme kullanıldığında yüzey kirliliğinin azaldığından bahsedilmektedir. Şekil hafızalı alaşımın (SMA) oksitlenme sonucu performansının düştüğü belirtilirken çatı ve döşeme elemanı olarak kullanıldığına yer verilmektedir. Faz değiştiren malzeme (PCM) katkılı cam, alçı panel ve beton elemanların enerji depolamaya uygun olduğuna değinilmektedir.

Karalı (2019), çalışmasında geleneksel malzemeler kullanıldığında yetersiz kalan uygulamalar yerine ihtiyaca göre uygun çözüm üreten akıllı malzemelerin kullanılmasının önemine yer vermiştir.

Bayram ve Orhon (2020), çalışmalarında faz değiştiren malzemelerin özelliklerinden bahsetmişlerdir. PCM çeşitlerini tanıtarak kullanılacak PCM hakkında bilgiler verilmiştir.

Topal ve Arpacıoğlu (2020), makalelerinde akıllı malzemelerin yapıda kullanılma yöntemlerinden çalışmalarında bahsetmişlerdir. Uygulanan ve hayata geçirilmesi planlanan projeler hakkında bilgi vermişlerdir. Piezoelektrik malzeme kullanarak rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesi planlanan MattScape Projesi detaylı olarak anlatılmıştır.

Akıllı cam sistemler konusundaki literatür çalışmaları incelenmiştir. Hangi tür akıllı malzemelerin cam sistemlerde kullanıldığı araştırılmıştır. Akıllı cam sistemlerin özelliklerine, kullanımına ilişkin detayların, avantajlarının ve dezavantajlarının yer aldığı çalışmalar derlenmiştir.

Kazanasmaz ve Diler (2011), çalışmasında akıllı cam teknolojilerinin özellikleri ve çalışma prensipleri incelenmiştir. Akıllı malzemeler kullanılarak yapılan cam sistemlerinin gün ışığı kontrolüne etkisi değerlendirilmiştir. Enerji tüketimini dengelemesi ve kamaşmayı azaltması gibi açılardan elektrokromik malzemeyle üretilen camların avantaj sağladığı belirtilmektedir.

Döşemeciler (2012), makalesinde özellik, nitelik veya enerji değiştirebilen malzemelere odaklanmıştır. Çalışmada akıllı malzemelerin kullanıldığı cam ve aydınlatma sistemlerinden bahsedilmektedir. Çevre dostu bina tasarımlarında akıllı malzemelerin yerine değinilmektedir.

Hüseyin ve Dikmen (2017), yaptıkları çalışmada şeffaf cephe sistemlerini tanıtarak kullanılan malzemeleri belirtilmiştir. Bu uygulamalara ek olarak sürekli şeffaf olan camlar yerine istenildiğinde yarı saydam duruma geçebilen akıllı cam

sistemlerinden bahsedilmiştir. Aktif ve pasif kontrollü olmak üzere akıllı cam sistemlerini iki grupta incelenmiştir.

Açıksarı ve Karasu (2018), yaptıkları makalede akıllı cam sistemlerin teorideki çalışma şekillerini anlatmışlar. Ayrıca uygulama alanlarından bahsetmişlerdir. Pasif cam sistemlerinin kontrol edilemediğini ve aktif cam sistemlerinin ise elektriksel uyarı ile kontrol edilebildiğini vurgulamışlardır.

Yağlı'nın (2019), yüksek lisans tez çalışmasında akıllı malzemeler, Axel Ritter'in sınıflandırılması esas alınarak gruplandırılmakta ve malzeme özelliklerinden bahsedilmektedir. Kendini ve havayı temizleyebilen akıllı malzemelere adezyon değiştiren malzeme ve fotokatalitik malzeme örnek olarak verilmektedir. Yalıtım için aerojeller ve faz değiştiren malzeme yer almaktadır. Morötesi/ultraviyole (UV) ışınlardan korunma sağlamak için elektrokromikler (EC) ve sıvı kristaller (LC) kullanılırken güneş ışığı kontrolü sağlayan akıllı malzeme için EC, fotokromik ve termokromik malzemeler kullanılmaktadır. Enerji verimliliği için fotokromik malzeme tercih edilmektedir. Tasarım amaçlı olarak elektrolüminesans, fotolüminesans, EC, fotokromik, termokromik ve şekil hafızalı alaşım içeren malzemelerin kullanıldığından bahsedilmektedir.

Tuna Kayılı (2020), makalesinde geleneksel malzemelerin kullanıldığı kamu binaları ile akıllı malzeme kullanılması kurgulanan kamu binaları karşılaştırmıştır. Valilik, meslek yüksekokulu ve hastane binalarının tasarımında  $TiO_2$  film kaplama kullanılarak cephenin kendini temizlemesini sağlanması ve  $SiO_2$  film kaplama kullanılarak malzemede bozulmanın önlenmesi hedeflenmektedir. EC cam ile şeffaflık kontrolü, termokromik cam ile enerji verimliliği, LC cam ile cam opaklığı kontrolü ve zeminde piezoelektrik malzeme kullanılarak hareket enerjisinden elektrik üretmek amaçlanmaktadır. Çevre koşullarına uyum sağlayabilen ve enerji verimliliğini artırabilen akıllı malzemeler kullanılarak tasarımların geliştirilebileceği vurgulanmaktadır.

Erkol ve Sayın (2021), yaptıkları makale çalışmasında akıllı cam sistemlerden ve türlerinden çalışmalarında bahsetmişlerdir. Akıllı malzeme ile üretilen cam sistemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmada sonraki dönemlerde akıllı cam sistemlerle ısı kaybının önüne geçileceği sonucuna varılmıştır.

Akıllı malzeme ve camların enerji ilişkisi konusundaki literatür çalışmaları incelenmiştir. Akıllı malzemelerin ve akıllı cam sistemlerin enerji verileri araştırılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar derlenmiştir.

Yurttakal (2007), yüksek lisans tezinde pencere sistemlerinin performans gereksinimlerinden bahsetmektedir. Cam sistem performansını etkileyen pencere elemanları değerlendirmektedir. Çalışma için geliştirilen bir program ile enerji performansı analiz edilmektedir.

Bahlol (2010), makale çalışmasında binalar ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiye değinmiştir. Gün ışığının önemi vurgulanarak akıllı malzemelerin bu amaca katkısı anlatılmaktadır. Çalışmada bahsedilen test modeli ile elektrokromik camların enerji tasarrufu sağladığı ortaya konmuştur. Geleneksel camlara göre daha az parlama sorunu yaşayan EC camların panjur veya perde ihtiyacını da ortadan kaldırdığı ifade edilmektedir.

Konuklu ve Paksoy (2011), yaptıkları çalışmada Adana ilinde bulunan bir deney odasında faz değiştiren malzemenin ısıtma ve soğutma yüklerini hesaplamışlardır. Boş test odası ve PCM plaka ile izole edilmiş test odasında yaz ölçümlerine göre 3-4°C sıcaklık farkı olduğunu gözlemlemişlerdir. PCM plaka ile yalıtılmış test odasında enerji tasarrufu ise %7,1 olarak hesaplanmıştır. Boş test odasında ve PCM plaka ile yalıtılmış test odasında kış ölçümlerine göre 0,5-1°C sıcaklık farkı gözlemlenmiştir. Bu ölçümler sonucunda yazın erime noktası yüksek PCM plaka yalıtım malzemesi, kışın erime noktası düşük PCM plaka yalıtım malzemesinin kullanılması önerilmiştir.

Erdemli (2018), yüksek lisans tezinde elektrokromik kaplamalı cam sistemi ile enerji verimliliği ilişkisini incelemiştir. 5 farklı iklim bölgesinde enerji modellemesi yaparak farklı iklim bölgelerinde benzer sonuçlar çıktığını gözlemlemiştir. Elektrokromik cam sisteminin tek camlı pencere sistemine göre yaklaşık %40 oranında enerji tasarrufu sağlayabildiği hesaplanmıştır.

Zayim ve Bütün (2019), çalışmalarında ulaşım, endüstri ve binalar kıyaslandığında binaların %39 enerji tüketimi ile ilk sırada yer aldığını göstermişlerdir. Akıllı cam sistemleri kullanarak binanın kullanım sırasında enerji ve aydınlatma tasarrufu yapacağı öngörüsünde bulunmuşlardır. Geliştirdikleri film ile akıllı cam sistemlerinin daha dayanıklı ve daha sağlam olduklarını gözlemlemişlerdir.

Anayurt (2021), yüksek lisans tezinde farklı iklim bölgelerinde bulunan binaların duvar ve çatı elemanlarında PCM kullanımını değerlendirmektedir. 5 iklim

bölgesi içinde PCM kullanımının ısıtma yükünü azalttığı, enerji yükünü azalttığı ve 2. Bölge hariç diğer 4 iklim bölgesinde soğutma yükünü azalttığını tespit etmiştir.

Bina Enerji Simülasyonu konusundaki literatür çalışmaları incelenmiş ve Bina Enerji Modellemesi için kullanılan programlar araştırılmıştır. Bu konuda araştırma yapan çalışmalar derlenmiştir.

Yıldız (2008), doktora tezinde mevcut ve iyileştirilmiş konut alanı için ısıtma yükünü analiz etmiştir. Ecotect v 5.50 programıyla ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Yıllık enerji tüketimini yaklaşık yarıya düşürecek senaryolar önerilmiş ve analiz programı yardımıyla enerji tüketimleri ölçülmüştür.

Koby (2017), yüksek lisans tezinde yeşil çatıların enerji verimliliğini Design Builder programıyla analiz etmiştir. Derece-gün bölgelerine göre enerji verimliliği açısından farklı sonuçlar elde edildiği çalışmada yer almaktadır. Ekosisteme katkı sağlayan yeşil çatıların en fazla 1. derece-gün bölgesinde yer alan Antalya ilinin enerji tüketimini azalttığı tespit edilmiştir.

Küçük (2021), yüksek lisans tez çalışmasında BEP-TR yöntemiyle bir eğitim yapısının enerji performans değerlendirmesini ve maliyet analizini yapmıştır. Çalışmada DiaLux Evo programıyla binanın aydınlatma düzeyleri ve ihtiyaç duyulan aydınlatma önerileri sunulmaktadır. İyileştirme önerisi sunulan binada, BEP-TR yöntemiyle hesaplanan yıllık aydınlatma enerji tüketiminin yaklaşık %62 azalışı olduğu görülmektedir.

Genç (2022), isimli doktora tezinde Design Builder programı kullanılarak tarihi bir yapının enerji verimliliği analiz edilmektedir. Tez kapsamında bir karar destek sistemi üretilmiştir. Bu sistem ile en iyi çözüm yöntemi önerilmektedir.

Çam (2023), yüksek lisans tezinde enerji hesaplaması yapabilmek için simülasyon yazılımlarından yararlanmıştır. Design Builder programı ile gün ışığı, ısıtma, soğutma ve CO<sub>2</sub> emisyonu analizleri oluşturulmuştur. Fotovoltaik panel kurulması planlanan senaryo için simülasyon hesaplaması yapılmıştır.

Bina enerji simülasyonu için Revit programını kullanan literatür çalışmaları incelenmiştir. Revit programı kullanılarak enerji simülasyon analizi yapan çalışmalar derlenmiştir.

Aytürk Tulukcu (2019), yüksek lisans tezinde her bölgede uygulanan tek tip ilköğretim okulunun 5 farklı iklim bölgesindeki enerji analizlerini karşılaştırmaktadır. Revit programı kullanılarak tip ilköğretim okulunun enerji kullanım şiddeti,

yenilenebilir enerji potansiyeli yıllık karbon emisyonu ve elektrik kullanım yoğunluğu analiz edilmiştir.

Abdulwahhab (2019), yüksek lisans tez çalışmasında simülasyon analizi için Revit programının kullanımını anlatmaktadır. Simülasyon sonuçları ile bina yönelimi ve binada kullanılacak cam türleri hakkında karşılaştırma yapılmıştır.

Boydak (2021), yüksek lisans çalışmasında enerji simülasyonunda kullanılan program ve yazılımlar kısaca tanıtılmaktadır. Revit programı kullanılarak bir hastane binasının mevcut ve öneri durumundaki enerji performansı, analiz edilip karşılaştırılmaktadır.

Kürşat (2023), yüksek lisans tezinde bir taş evin restorasyon öncesi ve sonrası enerji verimliliğini değerlendirmiştir. Enerji simülasyon analizi için Revit programı kullanılmıştır. Revit programının kullanımı ve sonuçlar detaylı olarak anlatılmıştır.

İncelenen literatür çalışmaları sonucunda akıllı malzemelerin enerji performansına ilişkin çalışmaların elektrokromik ve faz değiştiren malzemeler üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Konuklu ve Paksoy (2011) faz değiştiren malzeme ile üretilmiş bir plakanın yalıtım malzemesi olarak %7,1 enerji tasarrufu sağladığını gözlemlemişlerdir. Anayurt (2021), duvar ve çatılarda kullanılan faz değiştiren malzemelerin ısıtma ve soğutma tüketimlerini incelemiştir. Zayim ve Bütün (2019) yapmış oldukları çalışmada elektrokromik özellik gösteren film üretimini ve üretilen filme uygulanan çeşitli deneylerin sonuçlarından bahsetmektedirler. Bahlol (2010) geleneksel ve elektrokromik malzemenin karşılaştırıldığı bir deneyde elektrokromik camların enerji tüketimi %6 ile %24 arasında azalttığını söylemektedir. Erdemli (2018) elektrokromik kaplamalı cam sistemin enerji performansını 5 farklı iklim bölgesi için analiz etmektedir. Aktif ve pasif akıllı cam sistemlerin enerji performans analizinin tek çalışmada değerlendirildiği görülmemektedir. Bu tez çalışmasında Akıllı cam sistemlerin enerji performansına dair boşluğu doldurmak hedeflenmektedir. Aktif ve pasif akıllı cam sistemlerin enerji performansına ilişkin veriler hesaplanarak literatüre katkı sağlanacaktır. Akıllı cam sistem kullanımı ile mevcut cam sistemlerin sebep olduğu enerji tüketimini azaltmanın mümkün olduğunu göstermek hedeflenmektedir.

## 2. AKILLI MALZEMELER VE CAM SİSTEMLERDE KULLANIMI

Tarih boyunca insanların temel isteklerinden biri barınma üzerine olmuştur. İnsanlar bu barınma isteğini gidermek için her dönemde farklı çözümler geliştirmiştir. Tarih öncesi çağlarda yoğun bitki örtülerinin ve mağaraların olduğu alanlar barınak olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Yağlı, 2019). Sonraki dönemlerde malzemeler doğal halleri ile kullanılarak ilkel barınaklar yapılmıştır. Taş, toprak, tuğla, ahşap ve cam gibi geleneksel malzemeleri işleyebilen kişiler, kullanıcıların barınma ve mekân ihtiyacını önemli ölçüde karşılamıştır (Temel, 2021). Malzeme ise zamanla mimarinin ana unsuru haline gelmiştir. Bir bina henüz tasarım aşamasındayken kullanılacak malzemenin özellikleri ve sınırlılıkları binayı şekillendirmektedir. Bu durum ise malzeme özelliklerinin iyi bilinmesini gerektirmiştir.

Teknolojik gelişmelerin de etkisiyle sayısı artan malzemelerin nitelikleri, kullanım amaçları ve gereksinimleri değişim göstermektedir. Daha hafif veya daha dayanıklı olan yüksek performanslı yapı malzemeleri üretilmektedir (Temel, 2021). Bu niteliklere ek olarak malzemeler, çevresel uyaranlara cevap verme, enerji üretme, daha az kaynak kullanma, ısı ve görsel konforu artırma özellikleri kazanmıştır. Bu tür malzemeler akıllı malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Tuna Kayılı, 2020). Geleneksel malzemelerden beklenenin tersine akıllı malzemelerin çevresel etkilere işlevsel olarak tepki vermesi günümüz mimari uygulamalarında istenen ve aranan özelliklerden birini oluşturmaktadır (Orhon, 2012).

Isı, ışık, sıcaklık, mekanik, manyetik, elektrik veya kimyasal uyaranlara tepki verebilen malzemelere akıllı malzemeler denir. Özelliklerini tersinir bir şekilde değiştirebilmektedirler. Bu malzemeler enerji veya madde alışverişi yapabilir ve çevresel etkilere karşı tepkileri önceden bilinmektedir (Tuna Kayılı, 2020).

### 2.1. Akıllı Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Akıllı malzemelerin tarihsel gelişimi şu şekilde sıralanmaktadır;

- 1760 Sanayi Devrimi'ne kadar mimaride malzeme seçimine süsleme, bulunabilirlik ve kolay işlenebilirlik yön vermiştir. Malzemenin kullanım amacı Sanayi Devrimi'nden sonra değişmiştir. Yeni tercihlerde malzemenin sadece süsleme, bulunabilirlik ve kolay işlenebilme özellikleri dikkate alınmamıştır.

Teknolojinin ilerlemesi ve yeni malzemelerin ortaya çıkmasıyla birlikte farklılaşan ihtiyaçlara çözüm üretilmeye çalışılmıştır (Albayrak, 2020).

- 1880 yılında Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından kuvars, turmalin ve rochelle tuzu gibi kristallere basınç uygulamanın elektrik yükleri oluşturduğu keşfedilmiştir. Mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümüne piezoelektrik etki adı verilmiştir (URL-1). 19. yüzyılın sonlarına doğru piezoelektrik etkinin kullanmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. I. Dünya Savaşı esnasında kullanılan piezoelektrik malzemeler daha çok haberleşme ve sonar teknolojileri için kullanılmıştır. (Bayar, 2007 ve Türker, 2009).
- 1932’de deforme olmuş malzemeyi orijinal biçimine döndürme etkisi olan şekil hafıza etkisi ilk kez gözlenmiştir. Arne Olander 1938 yılında şekil hafızalı alaşımlar üzerinde inceleme yapmasına rağmen önemli bir ilerleme kaydedememiştir (Bedeloğlu, 2011).
- II. Dünya Savaşı’nın başlamasıyla yeni malzemelere olan ilgi artmıştır. Kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlık kazanmıştır (Orhon, 2006).
- 1960’lı yıllardan itibaren hız kazanan çalışmalarla Donald Stookey, Corning Camı adlı renk değişimi yapabilen bir cam üretmiştir (Yağlı, 2019). Aynı dönemde PCM üzerinde çalışmıştır (Temel, 2021).
- 1980’den sonra ilk kez çevresel koşullara yanıt veren akıllı malzemeler sınırlı olarak binalarda kullanılmaya başlanmıştır (Yağlı, 2019).
- 1990’dan itibaren mimarlıkta daha sık kullanılan akıllı malzemeler gelişimine devam etmektedir.

Tablo 2.1. de akıllı malzemelerin gelişim süreci verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Akıllı malzemelerin gelişim süreci

| 1760                         | 1880                        | 1930                         | 1950                                        | 1960                            | 1970                                   | 1980                                                                      | 1990                                                   |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Geleneksel malzeme kullanımı | Piezoelektrik etkinin keşfi | Şekil hafıza etkisinin keşfi | Kompozit malzeme kullanımının yaygınlaşması | Renk değiştirebilen cam üretimi | Faz değiştirebilen malzeme çalışmaları | Akıllı malzemelerin mimari malzeme olarak ilk kez kullanılmaya başlanması | Çevresel koşullara yanıt veren yapıların ortaya çıkışı |

Günümüzde çeşitli sektörlerde amaca göre katkı sağlayan akıllı malzemeler ile ilgili çalışmalar, deneyler ve uygulamalar hızla artmaktadır.

## 2.2. Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması

Gelişen teknoloji ile ortaya çıkan ve birden fazla ihtiyaca aynı anda çözüm sunabilen akıllı malzemeler, mimaride daha sık tercih edilmeye başlanmıştır. Malzeme seçiminin binanın tasarım ve kullanım sırasında önemi oldukça fazladır. Bu nedenle akıllı malzemelerin nitelikleri, etki ve tepki durumları iyi bilinmeli ve istenilen özelliklere uygun malzeme seçimi yapılmalıdır. Aynı özelliklere sahip birden çok akıllı malzeme bulunmaktadır. Benzer özellik taşıyan akıllı malzemelerin sınıflandırılması, tasarımcının malzemeler hakkında bilgi sahibi olmasını kolaylaştırmakta ve malzeme seçiminde alternatifleri değerlendirmesine yardımcı olmaktadır.

Mevcut durumda sınıflandırma türleri çeşitlilik göstermektedir. Sıcaklık farkına, ışık yoğunluğuna, elektriksel alana, manyetik alana ve kimyasal etkilere cevap verebilen akıllı malzemeler, özelliklerine göre alt başlıklar halinde sınıflandırılmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Orhon (2012) çalışmasında araştırma ve geliştirme sürecine devam eden akıllı malzemelerin yirmiden fazla grup altında sınıflandırılabileceğini söylemektedir.

### 2.2.1. Addington ve Schodek'e göre akıllı malzemelerin sınıflandırması

Addington ve Schodek'in (2005) çalışmasında geleneksel malzemelerden akıllı malzemeleri ayırmak için geçicilik, seçicilik, aciliyet, kendini harekete geçirme ve doğrudanlık olmak üzere beş temel özellik belirlenmiştir. Bu beş özellik sırasıyla birden fazla çevresel duruma tepki verebilme, tepkilerinin öngörülebilir ve ayrık olması, çevresel uyaranlara gerçek zamanlı yanıt verebilme, malzemenin yanıt vermek için içten tetiklenmesi ve tepkileri lokal olarak etkinleştirme anlamına gelmektedir. Bu özelliklere göre akıllı malzemeleri iki farklı tip olarak sınıflandırılmıştır.

Tip 1 olarak belirlenen akıllı malzemeler çevreden gelen etkiyle kendi özelliklerinden en az birini değiştiren malzemelerdir. Pasif olarak çalışan bu tip akıllı malzemeler özellik değişimi sırasında dışarıdan ayrı bir kontrole gerek duymazlar. Uyarıcı etken ortadan kalktığında malzeme orijinal haline dönmektedir. Kimyasal, elektriksel, manyetik, mekanik veya termal etkilere karşı renk değiştirme, optik özelliklerini değiştirme veya sertlik değiştirme tepkilerini göstermektedirler (Addington ve Schodek, 2005). Kamaşmayı önleyen, kendi kendini temizleyebilen, aydınlatma ve ısı kontrolü sağlayan bu malzemeler cam cephelerde, yalıtım malzemesi olarak, dekorasyon amaçlı veya güneş kırıcı olarak kullanım alanı bulmaktadır (Tuna Kayılı,

2020). Tablo 2.2’de tip 1 olarak sınıflandırılan akıllı malzemelerin etkilendiği durumlar ve bu durumlara karşı verilen tepkiler gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** Addington ve Schodek’e (2005) göre Tip 1 olarak adlandırılan akıllı malzemeler

| <b>Akıllı Malzeme Türü</b> |                           |                               |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Tip 1 Özellik değiştirme   | Girdi                     | Çıktı                         |
| Termokromik                | Sıcaklık farkı            | Renk değişimi                 |
| Fotokromik                 | Radyasyon (ışık)          | Renk değişimi                 |
| Mekanokromik               | Deformasyon               | Renk değişimi                 |
| Kemokromik                 | Kimyasal konsantrasyon    | Renk değişimi                 |
| Elektrokromik              | Elektrik potansiyel farkı | Renk değişimi                 |
| Sıvı kristaller            | Elektrik potansiyel farkı | Renk değişimi                 |
| Asılı parçacıklar          | Elektrik potansiyel farkı | Renk değişimi                 |
| Elektroreolojik            | Elektrik potansiyel farkı | Sertlik/viskozite değişikliği |
| Manyetolojik               | Elektrik potansiyel farkı | Sertlik/viskozite değişikliği |

Tip 2 olarak adlandırılan akıllı malzemeler çevreden gelen etkilere enerji değişimi yaparak cevap vermektedirler. Enerji dönüşümü sağlayan bu malzemeler sensör, aktüatör ve dönüştürücü olarak kullanılmaktadır. Kimyasal, elektriksel ve optik etkilere karşı ışık geçirgenliğini değiştirerek, elektrik üreterek veya enerji değişimi yaparak cevap vermektedirler (Addington ve Schodek, 2005). Boya, yer döşemesi, yüzey kaplaması veya cam cephelerde olarak kullanılmaktadır (Tuna Kayılı, 2020). Tablo 2.3’te tip 2 olarak sınıflandırılan akıllı malzemelerin etkilendiği durumlar ve bu durumlara karşı verilen tepkiler gösterilmiştir.

**Tablo 2.3.** Addington ve Schodek’e (2005) göre Tip 2 olarak adlandırılan akıllı malzemeler

| <b>Akıllı Malzeme Türü</b> |                           |                           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tip 2 Enerji değiştirme    | Girdi                     | Çıktı                     |
| Elektrolüminesanslar       | Elektrik potansiyel farkı | Işık                      |
| Fotolüminesanslar          | Radyasyon                 | Işık                      |
| Kemolüminesanslar          | Kimyasal konsantrasyon    | Işık                      |
| Termolüminesanslar         | Sıcaklık farkı            | Işık                      |
| Işık yayan diyotlar        | Elektrik potansiyel farkı | Işık                      |
| Fotovoltaikler             | Radyasyon (ışık)          | Elektrik potansiyel farkı |

Tersinir özellikte olan akıllı malzemeler giriş ve çıkış enerjisinin yeri değişebilmektedir. İstisnalar hariç (manyetostriktif demir ve piezoelektrik kuvars) enerji

değişimi yapan malzemelerin çoğu kompozit malzemelerdir. Çevreden gelen bir kuvvet, mekanik bozulmaya neden olarak elektrik enerjisi elde edebilmektedir. Bu durum tam tersi şekilde de gerçekleşebilmektedir. Ortaya çıkan sinyaller ile şartlandırma yapılabilen veya cihazın eylemleri yönetilebilmektedir. Sonuç olarak mekanik bir kuvvetten elektrik enerjisi üretilen veya elektrik akımı ile mekanik kuvvet oluşabilmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Tablo 2.4'te tip 2 olarak sınıflandırılan tersinir özellik gösterebilen akıllı malzemelerin etkilendiği durumlar ve bu durumlara karşı verdiği tepkiler gösterilmiştir.

**Tablo 2.4.** Addington ve Schodek'e (2005) göre Tip 2 olarak adlandırılan (tersinir) akıllı malzemeler

| Akıllı Malzeme Türü                |                           |   |                           |
|------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|
| Tip 2 Enerji değiştirme (tersinir) | Girdi                     |   | Çıktı                     |
| Piezoelektrik                      | Deformasyon               | ↔ | Elektrik potansiyel farkı |
| Piroelektrik                       | Sıcaklık farkı            | ↔ | Elektrik potansiyel farkı |
| Termoelektrik                      | Sıcaklık farkı            | ↔ | Elektrik potansiyel farkı |
| Elektro kısıtlayıcı                | Elektrik potansiyel farkı | ↔ | Deformasyon               |
| Manyetorestriktif                  | Manyetik alan             | ↔ | Deformasyon               |

### 2.2.2. Ritter'a göre akıllı malzemelerin sınıflandırması

Ritter (2007) yaptığı çalışmada akıllı malzemeleri üç ana başlık altında incelemektedir. Dış uyaranlarla moleküler yapısını değiştiren malzemeler özellik değiştiren akıllı malzemeler sınıfında yer almaktadır. Renk, optik, adezyon ve şekil değiştiren malzemeler özellik değiştiren akıllı malzemelerin alt başlığında yer almaktadır. Çevresel etkilerle malzemenin enerji durumunu tersinir bir şekilde değiştirebilen malzemeler, enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler olarak adlandırılmıştır. Faz değiştiren ve elektrik üreten malzemeler enerji alışverişi yapan akıllı malzemelerin alt başlığını oluşturmaktadır. Dışarıdan gelen etkilerle çift yönlü madde alışverişi yapabilen malzemeler ise madde alışverişi yapan akıllı malzemeler sınıfında yer almaktadır.

Özellik değiştiren akıllı malzemeler çevreden gelen elektrik, UV ışın, sıcaklık ve kimyasal etkiler ile renk değişimi veya fiziksel değişim gibi özelliklerden en az birini değiştirmektedir. Renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemelere kromik malzemeler de denmektedir (Ritter, 2007). Kromik malzemeler çoğunlukla cam sistemlerde kullanılmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Boya, seramik, film, tel, çubuk,

dekorasyon amaçlı veya kaplama olarak kullanım alanı bulmaktadır (Akgün, 2020). Özellik değiştiren akıllı malzemelerin etkilendiği durumlar ve bu durumlara karşı verdiği tepkiler tablo 2.5’te gösterilmiştir

**Tablo 2.5.** Ritter’a (2007) göre özellik değiştiren akıllı malzemeler

| <b>Akıllı Malzeme Türü</b>                               |                       |                  |                    |
|----------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Özellik değiştiren akıllı malzemeler                     |                       | Girdi            | Çıktı              |
| Renk ve optik özelliklerini değiştiren akıllı malzemeler | Elektrokromik         | Elektriksel alan | Renk değişimi      |
|                                                          | Fotokromik            | UV ışını         | Renk değişimi      |
|                                                          | Termokromik           | Sıcaklık         | Renk değişimi      |
|                                                          | Gazokromik            | Kimyasal etki    | Renk değişimi      |
| Adezyon değiştiren akıllı malzemeler                     | Fotokatalitik         | UV ışını         | Kimyasal reaksiyon |
| Şekil değiştiren akıllı malzemeler                       | Şekil hafızalı alaşım | Sıcaklık         | Şekil değişimi     |

Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler dışarıdan gelen etkilerle enerji transferi yapmaktadırlar. Elektrik, sıcaklık veya kuvvet etkisiyle uyarıldığında enerji depolama, şekil değiştirebilme özellikleri çift yönlü olarak gerçekleşebilmektedir. Granül, kapsül olarak kullanılmaktadır (Akgün, 2020). Bu sınıflandırma da yer alan bazı maddelerin ısı depolama özellikleri de bulunmaktadır. Sıva, alçı panel, boya, cam, film, yalıtım sensör, aktüatör, jeneratör olarak kullanılmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Enerji alışverişi yapan akıllı malzemelerin etkilendiği durumlar ve bu durumlara karşı verdiği tepkiler 2.6’da gösterilmiştir.

**Tablo 2.6.** Ritter’a (2007) göre enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler

| <b>Akıllı Malzeme Türü</b>                |                        |          |                  |
|-------------------------------------------|------------------------|----------|------------------|
| Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler |                        | Girdi    | Çıktı            |
| Faz değiştiren akıllı malzemeler          | Faz değiştiren malzeme | Sıcaklık | Enerji depolama  |
| Elektrik üreten akıllı malzemeler         | Piezoelektrik          | Kuvvet   | Elektriksel alan |
|                                           | Piroelektrik           | Sıcaklık | Elektriksel alan |

Madde alışverişi yapan malzemeler, çevreden gelen fiziksel ve kimyasal uyarılara karşı gaz, sıvı veya katı bileşenleri serbest bırakan malzemelerdir. Çift yönlü çalışma özelliği bulunan bu malzemeler katı, sıvı veya gaz bileşenleri bünyelerine alarak hacim, yoğunluk, optik veya enerji durumlarını değiştirmektedirler (Ritter, 2007).

Beton, nem önleyici, akustik alçı pano veya su yalıtımı malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Bu kullanım alanlarına ek olarak mineral emen malzemeler ise hava kalitesini artırma amaçlı iç mekânlarda kullanılmaktadır (Tuna Kayılı, 2020). Madde alışverişi yapan akıllı malzemelerin etkilendiği durumlar ve bu durumlara karşı verdiği tepkiler 2.7’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.7.** Ritter’a (2007) göre madde alışverişi yapan akıllı malzemeler

| <b>Akıllı Malzeme Türü</b>               |                                  |                            |                 |
|------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler |                                  | Girdi                      | Çıktı           |
| Gaz/Su depolayan akıllı malzemeler       | Mineral emilimi yapan malzemeler | Sıcaklık<br>Kimyasal ortam | Gaz/Su depolama |

### 2.3. Akıllı Malzemelerin Kullanım Alanları

Geleneksel malzemelere göre daha esnek, hafif ve ihtiyaca göre uyarlanabilme özellikleri bulunan akıllı malzemeler, çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Akıllı malzemeler; tekstil, sağlık, kimya, inşaat, otomotiv, denizcilik, havacılık ve uzay bilimi gibi sektörlerde kullanım alanı bulmuştur (Yüksel Ayvaz, 2019).

1970’li yıllarda savaş ve yolcu uçaklarının gövde ve motorlarında şekil hafızalı alaşımların uygulandığı örnekler bulunmaktadır (Acar ve Oktay, 2018). Tersinir özelliği bulunan SMA aynı zamanda diş teli uygulamalarında, protez bacak uygulamalarında ve iplik üretiminde kullanılmaktadır (Bedeloğlu, 2011).

Şekil hafızalı alaşımların tekstil ve sağlık alanında uygulama örnekleri şekil 2.1’de verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Elbise ve protez bacak uygulamalarında şekil hafızalı alaşım kullanım örneği (Bedeloğlu, 2011)

Akıllı malzemeler sıcaklık ve elektriksel alan gibi çevresel uyaranlara karşı renklerini veya ışık geçirgenliklerini değiştirebilmeleri nedeniyle mimari uygulamalarda tercih edilmektedir (Akay, 2014). Cephe ve cam sistemlerinde kullanılan akıllı malzemelerle binanın elektrik ihtiyacının karşılanması, kendini ve havayı temizlemesinin sağlanması, yapay ışık kullanımını azaltmak ve karbon salınımını azaltmak amaçlanmıştır (Esgil ve Yamaçlı, 2023). Toz tutmama, UV koruma, yalıtım, aydınlatma veya dekorasyon amacıyla geliştirilen akıllı malzemeler, cam sistemlere entegre edilerek, yapı kabuğuna, boya malzemelerine veya betona katılarak kullanılmaktadır.

Akıllı malzemelerin uygulandığı veya entegre edildiği yapı elemanlarının dağılımı tablo 2.8’de gösterilmiştir. Akıllı malzemeler; pigment, özel kimyasal bileşim, toz, ara katman dolgusu, özel film tabaka olarak veya plastik topaklar halinde yapı elemanlarının bünyesine katılmaktadır (Ergin, 2019).

**Tablo 2.8.** Akıllı malzemelerin mimari eleman olarak kullanıldığı yerler (Yüksel Ayvaz, 2019 ve Temel, 2021’den derlenmiştir.)

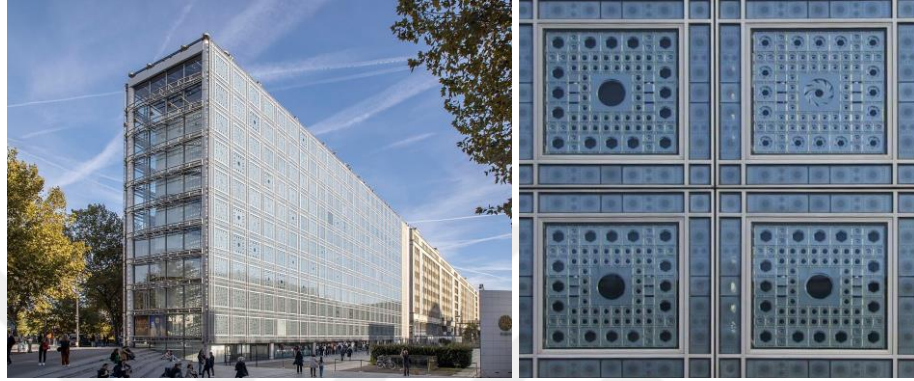
| Malzeme İsmi           | Alçı panel | Beton | Boya | Cam | Diğer |
|------------------------|------------|-------|------|-----|-------|
| Asılı parçacıklar      |            |       |      | X   |       |
| Elektrokromik          |            |       |      | X   |       |
| Faz değiştiren malzeme | X          | X     |      | X   | X     |
| Fotokatalitik          |            | X     |      | X   | X     |
| Fotokromik             |            |       | X    | X   |       |
| Sıvı kristaller        |            |       |      | X   |       |
| Piezoelektrik          |            |       |      |     | X     |
| Şekil hafızalı alaşım  |            |       |      |     | X     |
| Termokromik            |            | X     | X    | X   | X     |

Duvar, döşeme veya çatı elemanlarına uygulanan bu tür akıllı malzemeler çevresel faktörlerden etkilendikleri için çoğunlukla dış ortamlarla temas halinde olan yapı elemanlarında tercih edilmektedir (Yüksel Ayvaz, 2019).

#### 2.4. Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanım Örnekleri

Geleneksel malzemelere göre daha hafif, daha esnek, su tüketimini azaltabilen, kaynak kullanımını azaltabilen, dirençli, istenilen özelliklerini talep edildiğinde değiştirebilen akıllı malzemelerin mimaride kullanımı gittikçe artmış ve önem kazanmıştır.

Çevresel koşullara uyum sağlayabilen, termal ve görsel konforu artırabilen, enerji etkin akıllı malzemelerin cephe paneli olarak kullanıldığı ilk örneklerden biri 1987’de Paris’te bulunan kültür merkezidir. Bina içine alınacak ışığın kontrol edilmesi amacıyla Institut du Monde Arabe binasının cephesinde bulunan panellerde sınırlı miktarda akıllı malzeme sistem bünyesine katılmıştır (Yağlı, 2019). Şekil 2.2’de Institut du Monde Arabe binasının cephe panelleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** Institut du Monde Arabe binasının cephe panelleri (URL-2)

Akıllı malzemeler çeşitli fonksiyonlara sahip binalarda kullanım alanı bulmuştur. Okul ve hastane gibi kamu binalarında, ofis, otel, alışveriş merkezi ve fabrika gibi ticari binalarda, stadyum, müze, gösteri ve sanat galerileri gibi kültürel aktivitelerin yapıldığı binalarda dini yapılarda sıklıkla kullanılmıştır. Teknolojideki ilerlemelerle konut yapılarında da akıllı malzeme kullanımı artmaya başlamıştır.

#### **2.4.1. Akıllı malzemelerin Dünya’da kullanım örnekleri**

Gelişen teknoloji ile sürdürülebilir mimari anlayışına da hizmet eden akıllı malzemeler tasarıma birçok alanda katkı sağlamaktadır (Temel, 2021). Enerji üreten veya depolayan, kendini ve havayı temizleyen, ısı kaybını azaltan, güneş kontrolü sağlayan ve gürültü emilimi yapan malzemeler pek çok binada kullanılmaktadır.

Fransa ve Japonya’da termokromik boya kullanımının ilk örneklerine rastlanılmaktadır. İlerleyen süreçte diğer Avrupa ülkeleri de akıllı malzemeleri araştırmaya ve kullanmaya başlamıştır. Günümüzde yoğun olarak Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) ve Avrupa devletlerinde kullanılan akıllı malzemeler, sergi salonları, ofis binaları ve konutlarda kullanılmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019).

### 2.4.1.1. Akıllı malzemelerin kamu binalarında kullanım örnekleri

Okul, hastane gibi kamu binalarında yapı malzemesi olarak kullanılan akıllı malzemelerin analizi tablo 2.9’da verilmiştir.

**Tablo 2.9.** Kamu binalarında kullanılan akıllı malzemelerin analizi (Temel, 2021 ve Yüksel Ayvaz’dan, 2019 derlenmiştir.)

| Yıl  | Ülke       | Bina Türü                                       | Yapı Malzemesi | Akıllı Malzeme                 | Bina Fotoğrafı                                                                        |
|------|------------|-------------------------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2003 | ABD        | Okul<br>Miami Üniversitesi<br>Frost Müzik Okulu | Cam<br>Çimento | Elektrokromik<br>Fotokatalitik |    |
| 2010 | ABD        | Okul<br>Ball State Üniversitesi                 | Cam            | Elektrokromik                  |   |
| 2012 | Fransa     | Hastane<br>Brieve Hastane Merkezi               | Cam            | Fotokatalitik                  |  |
| 2012 | ABD        | Okul<br>Chabot Koleji                           | Cam            | Elektrokromik                  |  |
| 2013 | ABD        | Hastane<br>Butler County Sağlık Merkezi         | Cam            | Elektrokromik                  |  |
| 2019 | Avustralya | Hükümet binası<br>NDIS Genel Merkezi            | Cam            | Termokromik                    |  |

### 2.4.1.2. Akıllı malzemelerin ticari binalarda kullanım örnekleri

Ofis, otel, alışveriş merkezi ve fabrika gibi ticari binalarda yapı malzemesi olarak kullanılan akıllı malzemelerin analizi tablo 2.10'da verilmiştir.

**Tablo 2.10.** Ticari binalarda kullanılan akıllı malzemelerin analizi (Akgün, 2020, Temel, 2021 ve Yüksel Ayvaz'dan, 2019 derlenmiştir.)

| Yıl  | Ülke    | Bina Türü                                                                  | Yapı Malzemesi | Akıllı Malzeme                           | Bina Fotoğrafı                                                                        |
|------|---------|----------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2007 | İsviçre | Ofis<br>Marché<br>Uluslararası<br>Ofis Binası                              | Cam<br>Film    | Faz değiştiren<br>malzeme<br>Fotovoltaik |    |
| 2012 | İtalya  | Ofis<br>Vodafone<br>Village                                                | Beton          | Fotokatalitik                            |   |
| 2013 | Polonya | AVM<br>Atrium Felicity<br>Alışveriş<br>Merkezi                             | Cam            | Termokromik                              |  |
| 2015 | ABD     | Çocuk<br>Bakım<br>Merkezi<br>Children's<br>Learning<br>Adventure<br>Binası | Cam            | Termokromik                              |  |
| 2015 | ABD     | AVM<br>Mall of America                                                     | Cam            | Elektrokromik                            |  |
| 2017 | İsviçre | Ofis<br>IATA Executive<br>Ofis                                             | Cam            | Elektrokromik                            |  |

### 2.4.1.3. Akıllı malzemelerin konutlarda kullanım örnekleri

Konutlarda yapı malzemesi olarak kullanılan akıllı malzemelerin analizi tablo 2.11’de verilmiştir.

**Tablo 2.11.** Ticari binalarda kullanılan akıllı malzemelerin analizi (Temel, 2021 ve Yüksel Ayvaz’dan, 2019 derlenmiştir.)

| Yıl  | Ülke      | Bina Türü                       | Yapı Malzemesi | Akıllı Malzeme         | Bina Fotoğrafı                                                                        |
|------|-----------|---------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2001 | Almanya   | Konut<br>3 Liter House          | Alçı panel     | Faz değiştiren malzeme |    |
| 2004 | Avusturya | Konut<br>Monte Verde Kulesi     | Seramik        | Fotokatalitik          |   |
| 2004 | İsviçre   | Konut<br>Alterswohnen Huzur Evi | Cam            | Faz değiştiren malzeme |  |
| 2007 | İsviçre   | Konut<br>Eulachhof Binası       | Cam            | Faz değiştiren malzeme |  |
| 2010 | İsviçre   | Konut<br>Silence Projsi         | Cam            | Faz değiştiren malzeme |  |
| 2011 | Amerika   | Konut<br>REHAU Ecosmart Evi     | Cam            | Termokromik            |  |

#### 2.4.1.4. Akıllı malzemelerin diğer kullanım örnekleri

Dini yapı, müze, sergi salonu, sanat galerisi ve gösteri merkezi gibi diğer bina türlerinde yapı elemanı olarak ve köprülerde ya da heykellerde kullanılan akıllı malzemelerin analizi tablo 2.12’de verilmiştir.

**Tablo 2.12.** Ticari binalarda kullanılan akıllı malzemelerin analizi (Temel, 2021 ve Yüksel Ayvaz’dan, 2019 derlenmiştir.)

| Yıl  | Ülke      | Bina Türü                                                | Yapı Malzemesi | Akıllı Malzeme         | Bina Fotoğrafı                                                                        |
|------|-----------|----------------------------------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2001 | İngiltere | Köprü<br>Gateshead Millennium Köprüsü                    | Boya           | Piezoelektrik          |    |
| 2003 | İtalya    | Dini Yapı<br>Jübile Kilisesi                             | Beton          | Fotokatalitik          |   |
| 2010 | Hollanda  | Sergi Salonu<br>Floating Pavilion Sergi Salonu           | Film           | Faz değiştiren malzeme |  |
| 2011 | ABD       | Sanat Galerisi<br>St. Johnsbury Athenaeum Sanat Galerisi | Cam            | Elektrokromik          |  |
| 2012 | İngiltere | Heykel<br>Or2 Fotokromik Kanopi Yapısı                   | Boya           | Fotokromik             |  |

### 2.4.2. Akıllı malzemelerin Türkiye’de kullanım örnekleri/önerileri

Kullanım alanı genişleyen akıllı malzemeler, Türkiye’de genellikle kendini temizleme özelliği nedeniyle kullanılmaktadır. Otel ve ofis gibi ticari yapılarda mekân bölme amacıyla akıllı malzemelerin kullanıldığı cam sistemler tercih edilmektedir.

Adezyon değiştiren malzemeler grubunda yer alan  $TiO_2$  (Titanyum dioksit) fotokatalitik özellik kazanarak kendi kendini temizleyebilmektedir (Orhon, 2013). Türkiye’de  $TiO_2$  katkılı beton ve  $TiO_2$  kaplamalı membran uygulamaları bulunmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Türkiye’de cephe uygulamalarında fotovoltaik malzemelerin enerji üretimi yeterince kullanılmamasına rağmen enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar yoğun olarak bulunmaktadır (Esgil ve Yamaçlı, 2023). Türkiye’de akıllı malzemelerin maliyetinin diğer ülkelere göre daha fazla olması uygulama alanını kısıtlamaktadır (Albayrak, 2020).

#### 2.4.2.1. Akıllı malzemelerin kamu binalarında kullanım önerisi

Günümüzde kamu binalarında akıllı malzeme kullanımı öneri düzeyinde kalmaktadır. Tuna Kayılı’nın (2020) çalışmasında; güneş kırıcı kullanılarak tasarlanan valilik binasının yüzeyi için  $TiO_2$  film kaplama kullanılması, çalışma odalarının pencere camları için elektrokromik cam kullanılması, dolaşım alanlarında ise elektrik üretmesi planlanan piezoelektrik malzeme kullanılması önerilmiştir.

Şekil 2.3’te Karabük Valilik binası için önerilen akıllı malzeme örnekleri bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Karabük Valilik Binası  $TiO_2$  kaplama ve piezoelektrik önerisi (Tuna Kayılı, 2020)

Soyluk ve diğ., (2022)’nin çalışmasında kampüs binalarının cephelerinde kendini temizleme özelliği nedeniyle  $TiO_2$  film kaplama ve enerji etkinliğini sağlamak

amacıyla aerojel dolgu kullanımı önerilmektedir. Fonksiyon ve çevresel koşulları dikkate alınarak gerekli durumlarda akıllı malzeme kullanılmasını önerilmektedirler. Şekil 2.4'te  $TiO_2$  film kaplı cephe tasarımı önerilmektedir.



Şekil 2.4. Bartın Üniversitesi  $TiO_2$  film kaplamalı Öğrenci Yaşam Merkezi (Soyluk ve diğ., 2022)

#### 2.4.2.2. Akıllı malzemelerin ticari binalarda kullanım örnekleri

Cam, boya, film kaplama veya alçı panel olarak kullanılan akıllı malzemeler Türkiye’de en geniş kullanım alanını ticari binalarda bulmaktadır. Stadyum, AVM, ofis ve otel gibi binalarda yüzey temizliği, mekân bölme özellikleri nedeniyle uygulanmaktadır.

Toplantı odalarının kapı ve pencerelerinde akıllı cam sistemler kullanılmaktadır. GOOGLASS® Akıllı Cam Teknolojileri, sıvı kristal film kullanarak camlarda şeffaflık kontrolü sağlamaktadır. Sıvı kristal filme elektrik akımı verildiğinde cam şeffaf görünmektedir. Sistem açık durumda %83 ve kapalı durumda ise %60 ışık geçirgenliği sağlamaktadır. Sistem açık durumda %3 ve kapalı durumda %80 puslanma olmaktadır. %99 oranında UV ışını engellemektedir. Akıllı telefon veya kumanda kullanılarak kontrol edilebilen anahtarlanma süresi 0,1 - 0,2 saniyedir. 5-6 W/m<sup>2</sup> güç tüketmektedir (URL-3). Camın teknik özellikleri EK-1’de verilmiştir. Şekil 2.5’te sıvı kristal cam kullanım örneği verilmektedir.



Şekil 2.5. Ofis yapısında sıvı kristal akıllı cam kullanım örneği (URL-3)

Sıvı kristal filmler ışık geçirgenliğini değiştirmek ve ısı kontrolü sağlamak amacıyla ofis binalarında, yönetici veya toplantı odalarında kullanılmaktadır. TETA Akıllı Cam® tarafından üretilen sıvı kristal filmlerin ışık geçirgenliği açık durumda %82 ve kapalı durumda %60'tır. Açık durumda %4, kapalı durumda ise %97 oranında puslanma olmaktadır. UV ışın geçirgenliğini %98 oranında engellemektedir. Sistemin tepki süresi 50 milisaniyeden daha azdır. 5 W/m<sup>2</sup> güç tüketimine sahiptir (URL-4). Camın teknik özellikleri EK-2'de verilmiştir. Şekil 2.6'da toplantı odasında mahremiyet sağlamak amacıyla kullanılan sıvı kristal cam örneği bulunmaktadır.



**Şekil 2.6.** Toplantı odasında sıvı kristal kullanım örneği (URL-4)

Cam şeffaf durumda normal cam özelliği sergilemekte ve opak durumda ise gizlilik sağlanmaktadır. Şekil 2.7'de otel odasında sıvı kristal film kullanım örneği bulunmaktadır.



**Şekil 2.7.** Banyoda ve tuvalette mahremiyet sağlamak için kullanılan sıvı kristal film örneği (URL-4)

UV ışınlarını geçirmeyen sıvı kristal cam sistemleri, ısı kaybını azaltarak ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürmektedir. Magiclam Akıllı Cam Film kullanımı ile cam ışık geçirgenliğini kontrol etme, projeksiyon ekranı olma özellikleri kazanmaktadır. Hastanelerde gizlilik ve mahremiyet sağlamak amacıyla acil servislerde, yoğun bakım

ünitelerinde ve ameliyathanelerde kullanılmaktadır. Açık durumda %78 ve kapalı durumda %68 ışık geçirgenliği sağlamaktadır. Açık durumda yaklaşık %6, kapalı durumda ise %90 oranında puslanma yapmaktadır. Kapalı durumdan açık duruma geçme süresi 200 milisaniyeden az, açık durumdan kapalı duruma geçme süresi ise 10 milisaniyeden azdır. 3 W/m<sup>2</sup> güç tüketimi vardır (URL-5). Şekil 2.8’de yoğun bakım ünitesi camında ve kapısında şeffaflığı değiştirerek mahremiyet sağlayan sıvı kristal film örneği bulunmaktadır. Camın teknik özellikleri EK-3’te verilmiştir.



**Şekil 2.8.** Hastane cam ve kapısında sıvı kristal film kullanım örneği (URL-5)

Şekil 2.9’da UV ışın geçirgenliğini azaltmaya amacıyla pencere camında sıvı kristal film kullanım örneği bulunmaktadır.



**Şekil 2.9.** Pencere camında sıvı kristal film kullanım örneği (URL-5)

Camdaki şeffaflığın değişimi uzaktan kumanda, sensör veya elektrik anahtar düğmesi ile kontrol edilmektedir. İki cam arasına sıvı kristal film lamine edilerek istenilen boyutlarda cam tasarlanması mümkün olmaktadır. Başkent Üniversitesi Hastanesi’nde (Ankara) ve Kadıköy Şifa Hastanesi’nde (İstanbul) Bella Dekor sıvı kristal film uygulanmış cam örneği bulunmaktadır (URL-6).

### 2.4.2.3. Akıllı malzemelerin konutlarda kullanım örnekleri

Konutlarda akıllı malzeme kullanımı ürün maliyeti sebebiyle kısıtlı olsa da villa tarzı evlerde uygulama örnekleri mevcuttur.

2005 yılında projesine ve inşasına başlanan konut İstanbul Büyükkada'da bulunmaktadır. Etrafı çam ormanı ile sarılı yazlık evin taşıyıcı betonarme elemanları kalıptan çıkarıldığı durumuyla tüm hatalarıyla olduğu gibi kullanılmaktadır. Cephe kaplaması için ahşap tercih edilmiş ve çevrede bulunan tescilli büyük çamlarla bütünlük sağlanmaktadır (URL-7). Batu Cam Filmi firmasının konutta akıllı cam uygulaması bulunmaktadır. Sıvı kristal film sistemi ile istenildiğinde görüntü gizliliği sağlanmaktadır. Açık durumda güneş ışığının %80'ini ve kapalı durumda %60'ını geçirmektedir. Bulanıklık durumu sistem açıkken %2 ve kapalıyken %80'dir. UV ışın geçirgenliğini %98 oranında engellemektedir. Açık ve kapalı durumlara geçiş hızı 1 saniyeden azdır. Güç tüketimi  $7 \text{ W/m}^2$  şeklindedir (URL-8). Camın teknik özellikleri EK-1'de verilmiştir. Şekil 2.10'da konutta akıllı cam kullanım örneği verilmiştir.



Şekil 2.10. Büyükada'da bulunan bir villa akıllı cam kullanım örneği (URL-9)

### 2.4.2.4. Akıllı malzemelerin diğer kullanım örnekleri

Türkiye'de akıllı cam sistemlerinin yapı elemanı olarak kullanılmadığı duruma Öz Aksan Alüminyum firmasının ürettiği ters projeksiyon ekranı örnek olarak verilmektedir (URL-10). Şekil 2.11'de ofiste akıllı film kullanım örneği bulunmaktadır.



Şekil 2.11. Ters projeksiyon ekranında akıllı cam kullanım örneği (URL-10)

## 2.5. Akıllı Malzemelerin Cam Sistemlerde Kullanımı

Cam; kum, silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ), soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) kireç ( $\text{CaO}$ ), kül ve bazı minerallerden oluşmaktadır. Cam üretimi yapılırken elde edilen karışım yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldıktan sonra çok hızlı soğutularak amorf bir yapı oluşturulmaktadır. Cama sağlamlık ve saydamlık özelliklerini amorf yapı vermektedir. Camlar hem katı hem sıvı maddelerin özelliklerini göstermektedir (URL-11 ve Turhan, 2007).

Camın ilk kez üretilme tarihi kesin olarak bilinmemektedir. Literatürde camın farklı zamanlarda farklı bölgelerde kullanıldığına dair bilgiler sırasıyla şu şekilde verilmektedir:

- MÖ 5000’li yıllarda cam kesici alet olarak kullanılmaktadır (Şahin, 2019).
- MÖ 3500 yıllarına ait cam kullanım örnekleri Mezopotamya çevresinde bulunmuştur (Açıksarı ve Karasu, 2018).
- MÖ 2500 yıllarına ait Antik Mısır boncukları elde edilen en eski cam eşyalara örnek olarak verilmektedir (URL-11).
- MÖ 2000’li yıllarda Akdeniz’de alkali külü, çömlek ve silikanın karışımıyla camın ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir (Altınkaya ve Özgen, 2004).
- MÖ 1500’lü yıllarda pencerelerde cam kullanılmaktadır (Şahin, 2019).
- MÖ 1. yüzyılda Suriye ve Filistin çevresinde üfleme tekniğiyle cam üretilerek mimarlıkta önemli bir adım atılmıştır (Turhan, 2007).
- MS 1000 yıllarında Avrupa’da kiliselerin talebiyle cam kullanımı artmıştır (Altınkaya ve Özgen, 2004).
- 1800’lü yıllarda geniş açıklıkların cam sayesinde geçilmesiyle cam üretimi ve kullanımı artmıştır (Şahin, 2019).
- 1900’lü yıllarda enerji tasarruflu camlar üzerinde çalışmalar başlamıştır (Şahin, 2019).

Kullanım amacının artması ve çağdaş teknolojinin gelişmesi ile 21. yüzyıldan itibaren cam yeni bir boyutta değerlendirilmektedir. Temel üretim tekniklerine göre cam; normal cam (saydam-renksiz cam ve renklendirilmiş cam), yüzen/tavlanmış cam (float glass), sertleştirilmiş cam, ısı ile sertleştirilmiş cam ve haddelenmiş cam (rolled glass) olarak sınıflandırılmaktadır. Cama asitleme, noktalama, kum ile işleme, yakma, oyma veya baskılama işlemleri uygulanarak estetik bir görünüm elde edilmektedir.

Geliştirilmiş üretim tekniklerine göre cam; kaplanmış cam (low-e kaplamalı cam, dikroik kaplamalı cam ve seramik-emaye kaplamalı cam), katlı cam, güvenlik camları, cam tuğlalar ve tabakalı camlar (hava tabakalı camlar, termokromik ve elektrokromik camlar, fotovoltaiik modül tabakalı camlar) olarak sınıflandırılmaktadır (Karabulut, 2002 ve Turhan, 2007).

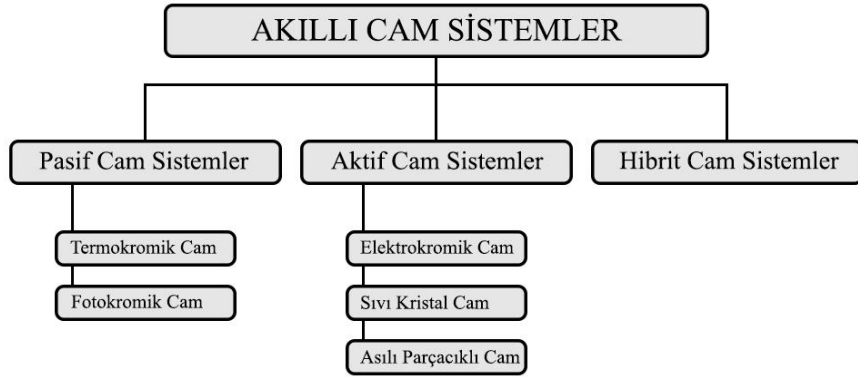
Taş, tuğla veya ahşap gibi geleneksel yapı malzemelerinden çok sonra ortaya çıkan cam, keşfedilen en önemli malzemelerden biridir. İnsanın bulunduğu ortamı aydınlatma ve havalandırma isteği, camı vazgeçilmez bir yapı malzemesi haline getirmektedir. Süs eşyası veya saklama kabı olarak kullanılmasının dışında Roma döneminde pencere camı olarak kullanıldığı örnekler bulunmaktadır. İlerleyen süreçte estetik görünüm için de tercih edilen camlar, mekân tasarımı üzerinde etkisini artırmaktadır (Karabulut, 2002).

Tek cam kullanılarak başlayan cam sistem uygulamaları zamanla çift katmanlı cam sistemi ve üç katmanlı cam sistemi olarak yaygınlaşmıştır. Cam katmanlar, cam tutucular ve ara dolgu gazı cam sistemi oluşturan öğelerdir. Birden fazla cam tipi aynı sistemde kullanılabilir. Kullanılan malzemeler ve kullanım yerleri cam sisteminin enerji performansını etkilemektedir (Yurttakal, 2007). Klasik pencere sistemleri ve giydirme sistemler en bilinen iki cam sistemidir (Döşemeciler, 2012). Cam sistem çeşitlerini; cam tipi, cam tabaka sayısı, doğrama çeşidi ve doğrama geçirimsizlik bileşenleri belirlemektedir.

21. yüzyıldan itibaren cam cephe binalarda enerji etkin olması için geliştirilen akıllı malzemelerin kullanıldığı cam sistemler tercih edilmeye başlanmıştır. Gelişen teknolojiyle camdaki saydamlığın sebep olduğu olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır. Enerji tüketimini azaltmak amacıyla ticari binalarda Low-e (düşük yayınlı film kaplamalı) camlar kullanılmıştır. Low-e camlar enerji tüketimini azaltmak için uygun olsa da güneşin durumuna cevap verebilecek nitelikte değildir. Akıllı camlar ise hem enerji tüketimini azaltmak için hem de güneşin durumuna cevap verecek şekilde tasarlanmıştır (Tavil, 2004). 1985 yılında Svensson ve Granqvist, elektrokromik camın ışık geçirgenliğini değiştirebilme özelliğinden dolayı akıllı cam terimini çalışmalarında kullanmıştır (Pehlivan, 2007). Yüksel Ayvaz'ın (2019) çalışmasında Dünya çapında akıllı camların piyasa değerinin; 2012 yılında 100 milyon doların altındayken 2020 yılında yaklaşık 700 milyon dolar olduğu belirtilmektedir. Low-e cam ile entegre edilmiş akıllı cam piyasa değerinin ise 2022 yılında yaklaşık 8 milyar dolar olduğu düşünülmektedir (Erdemli, 2018).

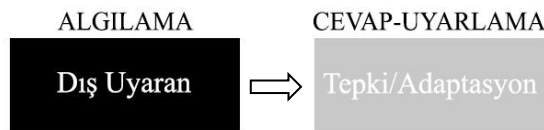
Akıllı camlar, etkileşimli ya da değiştirilebilir yüzeyi olan tüm cam sistemlerinde uygulanabilmektedir. Akıllı cam sistemlerin optik geçirgenlik, ısı geçirgenlik, ısı emilim ve manzara gibi faktörlerden en az birini kontrol etmesi beklenmektedir (Addington ve Schodek, 2005).

Akıllı cam sistemleri çevreden gelen uyaran etkisiyle özelliğini otomatik veya manuel olarak değiştirebilmektedir. Pencere, kapı, tavan penceresi ve mekân bölme ögesi olarak kullanılmaktadır. Aktif ve pasif olmak üzere iki tür akıllı cam sistemi bulunmaktadır. Aktif akıllı cam sistemi, elektrik akımı uygulandığında ışığın yayılma özelliğini değiştirerek camdan geçecek ısı ve ışık miktarını değiştirmektedir. Pasif akıllı cam sistemi ise çevreden gelen ısı veya ışık uyaranlarına otomatik olarak tepki vermektedir (Nihalani ve diğ., 2019). Aktif ve pasif sistemlerin birlikte kullanıldığı üçüncü bir sistem ise hibrit sistem olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.12’de akıllı cam sistemlerinin sınıflandırılması verilmektedir.



Şekil 2.12. Akıllı cam sistemlerin sınıflandırılması (Ergin’in, 2019 çalışmasından derlenmiştir.)

Çevreden gelen uyaranın sistemin malzeme özelliğini doğrudan değiştirmesine pasif akıllı cam sistemi denmektedir. Sistemin aktifleşmesi için gereken enerji çevreden tedarik edilerek sürdürülebilirlik sağlanmaktadır (Ergin, 2019). Şekil 2.13’te pasif akıllı sistemlerin çalışma prensibi verilmektedir.



Şekil 2.13. Pasif akıllı cam sistem çalışma prensibi (Lelieveld, 2013 aktaran Ergin, 2019).

Çevreden gelen uyarıyı algılayarak sistemin malzeme özelliğini kontrollü bir şekilde değiştirmesine aktif akıllı cam sistemi denmektedir. Enerji kaynağı ile sistem aktifleşmektedir (Ergin, 2019). Şekil 2.14'te kullanıcı müdahalesi ile kontrol edilebilen aktif akıllı sistemlerin çalışma prensibi verilmektedir.



**Şekil 2.14.** Aktif akıllı cam sistem çalışma prensibi (Lelieveld, 2013 aktaran Ergin, 2019).

Ergin (2019) çalışmasında pasif ve aktif sisteme ek olarak hibrit akıllı cam sistemlerden bahsetmektedir. Malzemenin çevresel etkilere dönemsel olarak pasif tepki verdiği istenildiğinde ise anlık müdahale edilebilen aktif bir sistemin dâhil edilmesiyle kontrolünün sağlanmasını hibrit akıllı sistem olarak tanımlanmaktadır. Daha yüksek performans elde edilebilecek olan hibrit akıllı sistemler karmaşık bir yapıya sahiptir.

### 2.5.1. Pasif cam sistemler

Pasif cam sistemler elektriksel uyarı yerine ışık veya ısı gibi uyarılara tepki vermektedir. Geleneksel camın kullanışsız duruma geldiği parlama, ışık ve ısı miktarı gibi sorunlara pasif cam sistemler otomatik olarak tepki vermekte ve hassas bir şekilde cam rengini kontrol etmektedir. Yazın klima, kışın ısıtma ihtiyacını azaltmaktadır. Işığın en yoğun olduğu durumlarda ışık geçirgenliğini kontrol ederek parlamayı azaltmakta ve gölgeleme elemanı ihtiyacını gidermektedir (Bahlol, 2010). Pasif cam sistemler çevresel etkenlere kablo bağlantısı olmadan cevap vermektedirler. Bu durum pasif sistemlerin uygulamasını kolaylaştırmaktadır (Erkol ve Sayın, 2021).

Pasif sistem çevresel uyarı (ısı ve ışık) oldukça sürekli tepki vermeye devam etmekte ve verilen tepkide kullanıcı kontrolü sağlanmadığı için sistem performansı tahmin edilememektedir. Sıcaklığa tepki veren termokromik camlar ve ışığa tepki veren fotokromik camlar pasif cam sistemin alt grubunu oluşturmaktadır. Güneş radyasyonunu engelleyen bu iki pasif cam sistemin sürekli çalışması durumunda iç mekânın ısıtılması olumsuz olarak etkilenebilmektedir. Çevresel uyarının cama uyguladığı enerji miktarı ayarlanamadığı için pasif cam sistemlerinde homojen olmayan yüzeyler oluşabilmektedir (Akgün, 2020).

### 2.5.1.1. Termokromik cam sistemler

Termokromik, Yunanca sıcak (thermos) ve renk (chroma) anlamına gelen iki kelimeden oluşmaktadır. Sıcaklık değişimi sonucunda renk değiştirebilen malzemelere termokromik malzemeler denmektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018). Çevreden gelen ısı enerjisi ile moleküler yapısı değişen termokromik malzeme yeni bir spektral yansıtma özelliği göstererek malzemenin rengini değiştirmektedir (Addington ve Schodek, 2005).

Termokromik özellik gösteren bazı organik bileşikler 1909'da keşfedilmiştir. 1950 ve 1970 yılları arasında termokromik özellik hakkında makaleler hazırlanmıştır. 2000'li yıllardan sonra termokromik kompozit ve malzeme üretimi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Ritter, 2007 aktaran Yüksel Ayvaz, 2019).

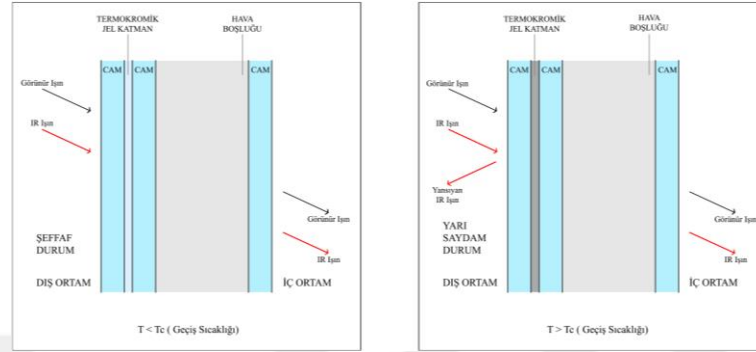
Bazı organik bileşiklerde, inorganik bileşiklerde, metal bileşenlerde ( $Ti_2O_3$ ,  $VO_2$  ve  $FeSi_2$  vb.), polimerlerde ve soljellerde termokromik özellik bulunmaktadır. Sıcak ve soğuk havaya uyum sağlayabildiğinden mimaride yaygın olarak  $VO_2$  (vanadyum dioksit) metal bileşeni kullanılmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019 ve Temel, 2021). Elektrik iletken ama ısıyı iletmeyen  $VO_2$  bileşeninin elektronları birbiriyle daha az etkileşime girdiğinden sıcaklık değişimi kolay kontrol edilmektedir. İklimlendirme çalışmaları için önemlidir (Ergin, 2019). Pigment haline getirilen termokromik malzeme gıda sıcaklığını algılamak için paketlenmede, kıyafetlerde ve buzlanma olup olmadığını belirtmek için işaret levhalarında kullanılmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014).

Termokromik malzemeler ışık yoğunluğunu, ısı geçirgenliğini parlamayı önleme gibi sebeplerle camlarda kullanılmaya başlamıştır (Orhon, 2012). Kablo bağlantısı ve kullanıcının fazladan enerji eklemesi gerektirmediğinden binalarda kullanımı artmıştır (Erdemli, 2018). Güneş ışınlarıyla otomatik olarak etkileşime giren ve tersinir özellik gösteren termokromik cam sistemlerde; yoğun güneş ışığında cam yüzeyi koyulaşmakta, yoğun olmayan güneş ışığında ise cam yüzeyler şeffaf halde kalmaktadır (Temel, 2021). Şekil 2.15'te termokromik cam kullanım örneği verilmiştir.



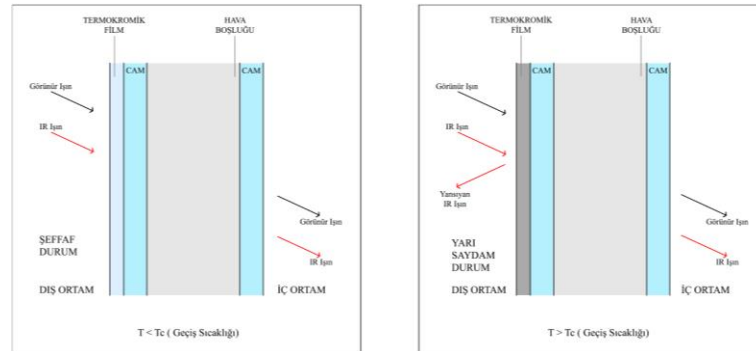
**Şekil 2.15.** Termokromik cam kullanım örneği (Anderson ve diğ., 2016 aktaran Yüksel Ayvaz, 2019)

Termokromik cam sistem üretiminde iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem; iki cam katman arasına kırılma indisi farklı olan jel katmanı konulmasıdır (Yüksel Ayvaz, 2019). Renkli camlara veya Low-e camlara entegre edilerek kullanılmaktadır. Şekil 2.16’da iki cam arasında jel katmanı bulunan termokromik cam kesiti verilmektedir.



Şekil 2.16. Jel katmanı olarak uygulanan termokromik cam kesiti (Temel, 2021)

İkinci yöntem ise film katmanı olarak cam yüzeye uygulanmasıdır (Erdemli, 2018). Termokromik film kaplamaların özelliklerini film kalınlığı, faz dağılımı ve tane boyutu gibi ögeler belirlemektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018). Camın dış yüzeyine doğrudan uygulanabildiği gibi iki cam katmanı arasına termokromik film sıkıştırılarak da cam sistemi oluşturulmaktadır. Şekil 2.17’de termokromik film kaplaması kullanılan cam sistemin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.17. Film kaplaması olarak uygulanan termokromik cam kesiti (Açıksarı ve Karasu, 2018)

Geçiş sıcaklığının ( $T_c$ ) altındaki sıcaklıklarda ( $T$ ) malzeme şeffaftır ve görünür ışını ve kızılötesi ışını (IR) geçirir. Güneş ışığının çoğunun geçtiği bu durumda mekan sıcak tutulur. Geçiş sıcaklığının ( $T_c$ ) üstündeki sıcaklıklarda ( $T$ ) malzeme yarı şeffaftır ve görünür ışını geçirirken kızılötesi (IR) ışın için yansıtıcı özellik göstermektedir (Parkin and Manning, 2006).

Termokromik malzeme; duvar (seramik, boya, duvar kağıdı, cam), çatı (cam, boya) ve döşeme (seramik, boya) gibi yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Termokromik malzemenin plastik, beton veya metal yüzeylere katılarak kullanıldığı örnekler bulunmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Banyoda uygulanan termokromik özellikli duvar seramiği kullanım sonrasında renk değiştirerek suyun sıcaklığına dair bilgi verebilmektedir (Akgün, 2020). Termokromik malzemeler ortam sıcaklık değişimini doğal bir şekilde algılayan sensör yapımında da kullanılmaktadır (Topal ve Arpacıoğlu, 2019).

Termokromik kaplama kullanılan cam sistemlerin, yıl içinde sıcaklık farkının çok değiştiği (kışları soğuk ve yazları sıcak iklimlerde) Japonya, ABD, Kanada ve kuzey Avrupa ülkelerinde uygulanması önerilmektedir (Parkin and Manning, 2006). Termokromik camlar düşük sıcaklıklarda optik özelliklerini değiştirmezler. Yüksek sıcaklıklarda ise optik özelliğini değiştirerek ışık iletimini azaltırlar. Daha koyu bir cam yüzeyi ile manzaranın görüntüsüne etkilemekte ve iç mekanda aydınlatma ihtiyacı ortaya çıkarabilmektedir (Döşemeciler, 2012).

Termokromik malzemenin UV direnci diğer akıllı malzemelere göre daha azdır ve maliyeti ise yüksektir. Işık geçirgenliğinin kontrol edilememesi ve bulanıklaşmasının sarı tonlarında olması uygulama alanını daraltmaktadır (Akgün, 2020). Homojen olmayan renk değişimi sebebiyle cephede istenmemekte ve manzarayı engellemesi sebebiyle de iç mekanda tercih edilmemektedir (Erkol ve Sayın, 2021).

#### **2.5.1.2. Fotokromik cam sistemler**

Fotokromik, Yunanca ışık (photo) ve renk (chroma) anlamına gelen iki kelimeden oluşmaktadır. Işık yoğunluğuna bağlı olarak renk değişimi yapan malzemelere fotokromik malzeme adı verilmektedir (Erkol ve Sayın, 2021). Işık yoğunluğunun artmasıyla fotokromik malzemenin molekülleri aktifleşerek renk değişimi gerçekleşmektedir. Işık kaynağının fotokromik malzemeden uzaklaşmasıyla moleküller eski haline dönerek malzeme şeffaf veya renksiz duruma geçmektedir (Addington ve Schodek, 2005).

1899 yılında fototropi olarak adlandırılan renk değiştirme özelliği keşfedilmiştir. 1989 yılında tişörtlerde fotokromik boya kullanım örneği bulunmaktadır. 2001 yılında Japonya’da fotokromik cam üretilmiştir. Günümüzde askeri amaçlı mesaj gizleme için kullanılmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014 ve Yüksel Ayvaz, 2019).

Bazı kararsız organik bileşiklerde (spiropiran, fuljit) ve inorganik bileşenlerde (kloroid, gümüş bromit, bakır veya civa) fotokromik özellik bulunmaktadır. Pigment haline getirilen fotokromik malzeme, boya veya mürekkep olarak kullanılmaktadır. Tekstil ve optik endüstrisinde sıklıkla fotokromik malzemeler kullanılmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014 ve Erdemli, 2018). Gözlük camlarında kullanıldığı gibi pilotun ışıktan etkilenmesini azaltmak amacıyla uçakların ön camlarında da fotokromik cam kullanılmaktadır (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018). Işıktan olumsuz etkilenen ilaçların ve yiyeceklerin korunmasını sağlamak için dolaplarda ve kaplarda fotokromik malzemeler kullanılmaktadır (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

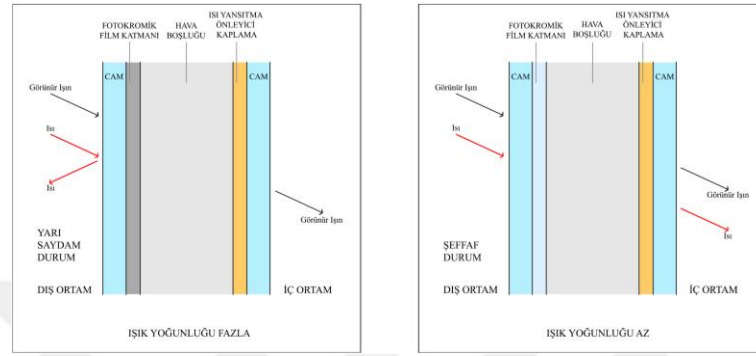
Mimaride güneş ışığı kontrolü sağlamak ve parlamayı azaltmak amacıyla cam sistemlerde fotokromik (PC) malzemeler kullanılmaktadır. Pencere ve cephe sistemlerinde uygulama örnekleri bulunmaktadır. PC film uygulaması, PC cam sistemlere oranla daha ucuzdur. Işığa tepki vermesi daha uzun sürerken renklenme kalitesi düşüktür. Özellikle güneş gözlüğü yapımında fotokromik malzemeler kullanıldığı için, PC cam sürekli geliştirilmektedir ve diğer akıllı camlar ile kolay entegre edilerek hibrit sistem oluşturulma amacıyla kullanılmaktadır (Addington ve Schodek, 2005). Fotokromik malzeme cam katman içinde homojen olmayan dağılım sergilemektedir (Erdemli, 2018). Şekil 2.18’de farklı renklerdeki fotokromik cam kullanımına dair örnek verilmiştir.



**Şekil 2.18.** ABD- Prairiefire Müzesi fotokromik malzeme kullanım örneği (Ergin, 2019)

Cam üretim aşamasındayken renk değiştirme özelliğine sahip olması için fotokromik malzeme ve ışık kontrolü sağlamak için sodyum florür eklenmesiyle fotokromik cam üretilmektedir (Trotter, 1991 aktaran Erkol ve Sayın, 2021). Bir başka fotokromik cam sistemi ise iki cam katman arasına fotokromik malzeme yerleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Bu sistem ile UV ve IR ışınların soğurulması amaçlanmaktadır. Gümüş halojenür (gümüş klorür veya gümüş bromür) ve bakır içeren bu sistem ışığı soğurdukça gri bir renk almaktadır. Siyah, sarı, mavi, mor ve kırmızı

renklerine geçişlerin olduğu örnekler de mevcuttur. Fotokromik malzemeler IR ışınını filtreleme görevi yapmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014). Karbon bileşenli PC cam sistemler, gümüş bileşenli PC cam sistemlere göre ışıktan faydalanma açısından daha yararlıdır (Yüksel Ayvaz, 2019). Şekil 2.19’da şematik fotokromik cam katmanı örneği verilmektedir.



Şekil 2.19. Fotokromik cam kesiti (Nafezarefi, 2020)

Cam üzerine düşen ışık yoğunluğunun artması fotokromik malzemenin soğuruculuğunu artırmakta ve cam rengini koyulaştırmaktadır. Koyulaşan cam ısı geçirgenliğini ise azaltmaktadır. Işık yoğunluğunun azalmasıyla birlikte fotokromik malzemenin soğuruculuğu azalır ve ışık geçirgenliği artmaktadır. Bu durum sonucunda cam saydamlaşarak ısı geçirgenliğini de artmaktadır (Temel, 2021). Fotokromik malzemenin karama derecesi cam kalınlığına bağlıdır (Karasu ve diğ., 2017).

PC malzeme; duvar (cam, boya), çatı (cam) ve döşeme (boya) gibi yapı elemanlarında uygulama alanı bulmaktadır. Isıya karşı dirençli olmadıklarından PC malzemelerin mimaride kullanım alanı azdır (Yüksel Ayvaz, 2019).

Fotokromik cam sistemlerinin ışığa maruz kalımı arttıkça zamanla tersinirlik özelliği yok olmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014). Işık yoğunluğuna bağlı koyulaşma süresi birkaç dakika sürerken şeffaf haline dönmesi daha uzun süre alır. Ani ışık değişiklikleri sebebiyle camda düzensiz koyulaşma oluşmaktadır. Işığı soğurduğu için aşırı ısınma durumlarında camda kırılma meydana gelebilmektedir. İstenilen boyutta üretilmemesi, maliyetinin yüksek olması ve camdaki koyulaşmanın kullanıcı tarafında kontrol edilememesi sebebiyle mimaride kullanımı kısıtlıdır. Fotokromik camlar optik ve otomotiv endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır (Erdemli, 2018).

### 2.5.2. Aktif cam sistemler

Aktif cam sistemler, kullanıcının ısı, ışık veya görüntü gibi faktörleri kontrol edebilmesine olanak sağlamaktadır. Elektrik akımı uygulandığında aktifleşen sistem, camın tamamına özenle monte edilmelidir ve tamamına elektrik akımı sağlanmalıdır (Erkol ve Sayın, 2021). Aktif akıllı camlar havacılık, otomotiv ve inşaat sektörlerinde kullanılmaktadır. Mahremiyet sağlama ve ışığı kısmen bloke etme amacıyla kullanılmaktadır. Aktif akıllı cam sistemler birlikte çalışan farklı malzemelerin çok katmanlı düzeneklerinden oluşmaktadır (Bahlol, 2010). Elektrokromik cam, asılı parçacıklı ekran/suspended particle display (SPD), polimerde dağılmış sıvı kristal (PDLC) aktif akıllı cam sistemlerde kullanılmaktadır.

Aktif sistem, kullanıcı müdahalesiyle (elektrik, akım) malzeme performansını kontrol etme olanağı sağlamaktadır. Enerji korunumunun, enerji tasarrufunun, ışık geçirgenliği kontrolünün bir merkez tarafından sağlanması aktif sistemleri pasif sistemlerden ayıran en önemli özelliktir (Akgün, 2020). Aktif cam sistem uygulamalarında elektrikle çalışan düzeneğin cama monte edilmesi gerekmektedir. Karmaşık olmasına ve uğraş gerektirmesine rağmen aktif cam sistemlerin gelişimi ve uygulaması daha fazladır (Addington ve Schodek, 2005). Cam katman üzerine film kaplanarak bir kumanda yardımı ile camın ışık geçirimi kontrol edilmektedir (Leydecker, 2008 aktaran Döşemeciler, 2012).

#### 2.5.2.1. Elektrokromik cam sistemler

Elektrokromik, Fransızca elektrik (électrique) ve Yunanca renk (chroma) anlamına gelen iki kelimedenden oluşmaktadır (Erkol ve Sayın, 2021). Elektrik akımı veya potansiyeli ile renk veya opaklık değişimi yapan malzemelere elektrokromik malzemeler denmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Elektrokromik malzemeler elektrik akımının varlığında kimyasal reaksiyon başlatmakta ve gelen ışığı yansıtarak malzemenin rengini değiştirmektedir. EC camlar koyulaştığında bile manzarayla bağlantısını korumaktadır (Bahlol, 2010).

1953'te tungsten (VI) oksit ( $WO_3$ ) malzemesine elektrik alan uygulanmasıyla malzeme renginin mavi olacak şekilde dönüştüğü gözlenmiştir. 1960 ve 1980 yılları arasında elektrokromik özellik hakkında çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. 80'li yıllarda araba aynasında EC kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır (Ritter, 2007 aktaran

Yüksel Ayvaz, 2019 ve Ergin, 2019). 90'lı yıllardan sonra elektrokromik cam üretimi hızlanmıştır. 2004 yılında mavi ve kırmızı iletken polimerlere ek olarak yeşil renkte elektrokromik polimer üretilmiştir (Sonmez ve diğ., 2004).

Bazı organik ve inorganik malzemelerde EC özellik bulunmaktadır. Organik bileşikler kimyasal reaksiyon sonucu renk değiştirirken inorganik malzeme elektrik akımı uygulanmasıyla renk değiştirmektedir (Yüksel Ayvaz, 2019).  $WO_3$  kullanıcının manzarayı direkt olarak kontrol edebildiği uygulamalarda en çok kullanılan metal oksitlerden biridir. Molibden, volfram, titanyum ve niyobyum elementleri elektrokromik özellik gösteren diğer metallerdir ve optik açıdan etkileri daha azdır (Nafezarefi, 2020 ve Topal ve Arpacıoğlu, 2020).

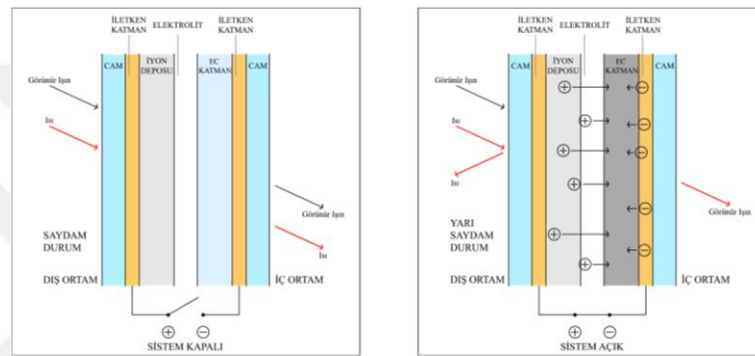
İşaret levhalarında, ulaşım araçlarında EC kullanım örneklerine rastlanmaktadır. Trende yolcu ve sürücü kabini arasında, uçak camlarında ve arabaların tavan camlarında kullanılmaktadır (Topal ve Arpacıoğlu, 2020 ve Pehlivan ve Tepehan, 2007). Günümüzde mikro panjurlara (MEMS) elektrokromik malzeme entegre etme çalışmaları devam etmektedir (Erdemli, 2018)

Elektrokromik kullanımı ile binalarda enerji tasarrufu sağlamak ve çevresel koşullara göre ısı ve ışık geçirgenliğini değiştirmek amaçlanmaktadır. Kullanım esnasında duyduğu enerji ihtiyacının çok az olması, kullanımının kolay olması, görüntü kontrolü sağlaması ve uygulama alanlarının kısıtlı olmaması sebebiyle EC cam sistemler mimaride sıklıkla tercih edilmektedir (Pehlivan ve Tepehan, 2007). EC camlar ışık kontrolü sağlayarak parlamaya engel olmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Sisteme elektrik akımı verilmediğinde EC camın sarı, elektrik akımı verildiğinde mavi tonlarında rengi bulunmaktadır. Şekil 2.20'de Amerika'da bulunan Bowie Eyalet Üniversitesi'nin cephesinde elektrokromik cam kullanım örneği verilmektedir.



Şekil 2.20. ABD - Bowie Eyalet Üniversitesi EC cam kullanım örneği (URL-12)

İki basit cam arasına iyon depolama katmanı, iyon iletkeni olan katman ve EC katman eklenmesiyle elektrokromik cam sistemi oluşturulmaktadır. Diğer bir elektrokromik sistem ise iyon depolama katmanı yerine bazı elektrolitler kullanılarak oluşturulmaktadır. Sistemin ışık geçirgenliğine daha fazla müdahale etmek istenildiğinde bir elektrokromik tabaka eklemek de mümkündür (Turhan, 2007). Elektrokromik kaplama veya film için kullanılan malzemeler çoğunlukla tungsten ve nikel metalleri'dir. Genelde lityum ve hidrojen iyonları kullanılarak prusya mavisi tonlarında renklendirilmiş cam elde edilmektedir (Kazanasmaz ve Diler, 2011). Şekil 2.21'de elektrokromik cam kesiti verilmektedir.



Şekil 2.21. Elektrokromik cam kesiti (Vernardou, 2013)

Elektrokromik cam sistemin aktif hale gelmesi için elektrik akımı uygulanmaktadır. Elektrik akımı verilerek iyonların ileri ve geri hareket etmesi sağlanmaktadır. İyonlar yer değiştirerek boşluklu ve kübik yapıda olan  $WO_3$  kafesini genişletmektedir. Bu hareket sonucu kimyasal reaksiyon oluşur ve cam rengi koyulaşarak güneş ışınlarını ve camın ısıyı geçirme miktarı azalır. EC camın şeffaf duruma dönmesi için sisteme verilen elektrik akımının kesilmesi gerekmektedir (Yurttakal, 2007, Turhan, 2007 ve Açıksarı ve Karasu, 2018). Sensör veya kumanda yardımı ile cam şeffaflığını kontrol etmek mümkündür (Karakurt, 2008).

EC camların şeffaf durumdan koyulaştığı duruma geçme süresi (yaklaşık 5-10 dakika) tam tersi olan koyulaştığı durumdan şeffaf duruma geçme süresine (yaklaşık 30 saniye) göre daha uzun sürmektedir (Tavil, 2004 ve Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018). EC cam boyutu ve ortamın sıcaklığı ile anahtarlanma süresi orantılıdır (Lee ve diğ., 2006).

Elektrokromik camların ışık geçirgenlik miktarı değiştirilebilmekte ve manzarayı gösterme seviyesi ayarlanabilmektedir (Karasu ve diğ., 2017). ABD'nin Colorado eyaletinde bulunan Lory Öğrenci Merkezi'nde kullanılan EC camlar ile

Rocky Dağları manzarası kesintiye uğramamaktadır. Öğrenci ve personel ihtiyacına en uygun olacak şekilde camın renk tonu düzenlenebilmektedir (URL-12). Şekil 2.22’de EC camın farklı ışık geçirgenlik seviyeleri ve manzaraya etkisi görülmektedir.



Şekil 2.22. ABD - Lory Öğrenci Merkezi elektrochromik cam kullanım örneği (Akgün, 2020 ve URL-13)

EC camlar projeksiyon ekranı, tuvalet veya banyoda cam bölücü veya mağaza vitrinlerinde kullanım alanı bulmaktadır (Manav ve diğ., 2009). Duvar, çatı ve döşeme gibi yapı elemanlarında cam sitem olarak kullanılmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019).

EC camlarda renk değişimi kenardan ortaya doğru olmaktadır. Sistemde düzenlemeler uygun yapılmadığı durumda ise kenar kısımlarda koyulaşma daha fazla olmakta ve istenmeyen bir görüntü oluşabilmektedir. (Erdemli, 2018). Kullanım sırasında cam homojen olacak şekilde kararmaktadır (Ergin, 2019). Tamamen koyulaşma olmadığından mahremiyet sağlama amacı bulunmamaktadır.

#### 2.5.2.2. Sıvı kristal cam sistemler

Kristal katı ve izotropik sıvı arasında bir faz olan sıvı kristaller, günümüzde sıklıkla tercih edilen gelişmiş teknolojinin bir ürünüdür. Sıvı kristal molekülleri, katı molekülleri gibi yönelimsel olarak düzenli olma ve sıvı molekülleri gibi yer değiştirebilme özelliğine sahiptir. Elektrik akımı yokken küçük sıvı kristal küreler dağınık bir şekilde durmakta ve süt beyazı tonlarında opaklık sergilemektedir. Elektrik akımının sisteme verilmesiyle sıvı kristal küreler sıralanarak ışığın geçmesini sağlamaktadır (Addington ve Schodek, 2005 ve Ferrara and Bengisu, 2014).

1888 yılında botanikçi Reinitzer’in çalışmasında bazı organik bileşiklerin yüksek sıcaklıkta saydamlaştığı ama bunun sıcaklık artmasından kaynaklanmadığı, moleküler düzenin değişimi sonucunda olduğu ortaya konulmuştur. 1970 ve 1990 yılları

arasında sıvı kristalin tam olarak ne olduğu ve özellikleri üzerine çalışmalar yürütülmüştür. 90'lı yıllardan sonra “polymer dispersed liquid crystals” yani PDLC olarak bilinen cam sistemler ticareti en çok yapılan ve geliştirilen sistem olmuştur (Ferrara and Bengisu, 2014).

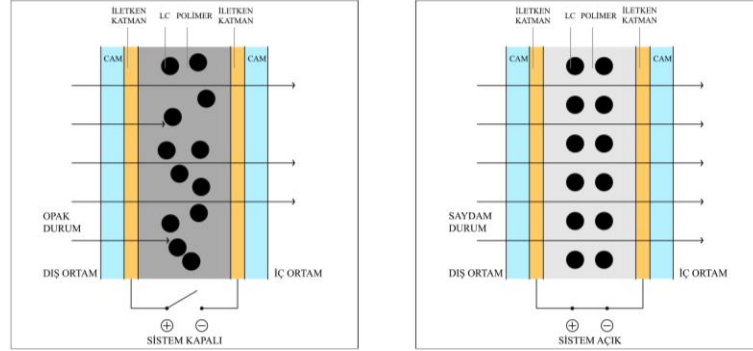
Günümüzde en sık rastlanılan örneği LCD televizyonlardır. Otellerde müşteri karşılama elemanlarında, ofislerde toplantı ve yönetici odalarında, restoran ve hastane gibi binalarda belirli bir süre mahremiyet sağlamak amacıyla ışığı geçiren ama görüntüyü gizleyen ara bölücü olarak LC cam sistemler kullanılmaktadır. Kolay temizlenebildiği için hasta yataklarının arasına LC cam kullanmak avantajlıdır. Süt beyazı olarak kaldığı esnada projeksiyon ekranı olarak da kullanım örnekleri bulunmaktadır. Cephe uygulamalarında çift camlı sistemlere entegre edilerek kullanılmaktadır. Dış cephede LCD kullanılmasıyla firma logoları ve reklamlar gösterilmektedir (Ferrara and Bengisu, 2014 ve Akgün, 2020). Şekil 2.23'te bir ofiste LC cam kullanım örneği verilmektedir.



Şekil 2.23. Ofiste kullanılan sıvı kristal cam sistem örneği (URL-14)

PDLC cam sistemlerde sıvı kristaller, sıvı polimer katman içinde bulunmaktadır. Polimer içinde sıvı kristal bulunan tabaka sertleştirilerek sandviç sistemi oluşturulmaktadır (Bahlol, 2010). PDLC cam sistemler, iki cam tabaka arasında bulunan şeffaf iki iletken katmandan ve bir polimer katmandan meydana gelmektedir. Polimer içerisinde dağınık duran sıvı kristaller bulunmaktadır. Çevreden gelen ışık LC tarafından yönlendirilmekte ve cam opak olarak görünmektedir. Elektrik akımıyla düzene giren sıvı kristaller ışık iletimini sağlamak ve cam saydam duruma geçmektedir. Cam kalınlığı ve polimer türü sistem için gerekli enerji miktarını değiştirmektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018). Kullanılan camlara sonradan LC film uygulaması mümkündür (Erkol ve Sayın, 2021). Katman sayısı istenilen özelliklere göre artırılabilir. Sistem kapalı durumdayken yarı saydam görüntüsü daha da koyulaştırılmak istenirse bazı

boyaların veya diğer akıllı malzemelerin eklenmesi mümkündür (Erdemli, 2018). Şekil 2.24'te şematik PDLC cam kesiti verilmektedir.



Şekil 2.24. Şematik sıvı kristal cam kesiti (Manav ve diğ., 2009)

LC camların dayanıklılık, bakım, montaj ve paketlenme testleri yapılmış, boyutunu ayarlamak mümkün hale getirilmiştir. IR ışınları engelleme konusunda başarısız olmakta ve saydam olarak kalması için sürekli elektrik akımı verilmelidir. Kristallerin hizalanıp ışığı geçirdiği durumlarda bile eğik açılardan görüntü etkilenmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Görüntünün kesilmesi istenmeyen veya LC camın sürekli saydam olması istenen mekânlarda tercih edilmesi, sürekli elektrik kullanımı gerektirdiğinden enerji problemi oluşturabilmektedir. Ancak gün ışığı ve mahremiyet istenen ortamlarda kullanıma uygun olduğu görülmektedir.

### 2.5.2.3. Asılı parçacıklı cam sistemler

“Suspended particle display” yani asılı parçacıklı ekranlar EC sistem teknolojisine bağlı olarak gelişmektedir. Gelişim aşamasında olan asılı parçacık teknolojisi kullanım açısından çok fazla ilgi görmektedir. Elektrik akımının verilmesiyle etkinleştirilerek anında saydam olmakta ve elektrik akımının kesilmesiyle opak durumuna geri dönmektedir. SPD camlar geçen ısı ve ışık miktarını ayarlayabilmek ve mahremiyet sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Addington ve Schodek, 2005 ve Döşemeciler, 2012). Mavi, siyah veya gri renkte koyulaşma olmaktadır (Bahlol, 2010).

Asılı parçacıklı camlar otomotiv, deniz, havacılık endüstrilerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Erdemli, 2018). Şekil 2.25'te görüldüğü gibi İsviçre'de bulunan Cenevre Bilim ve Yenilik Küresi'nin kubbesinde SPD kullanımı mevcuttur. Ferrara ve Bengisu (2014) çalışmasında doğal aydınlatma amacıyla ve manzarayla bağlantısının

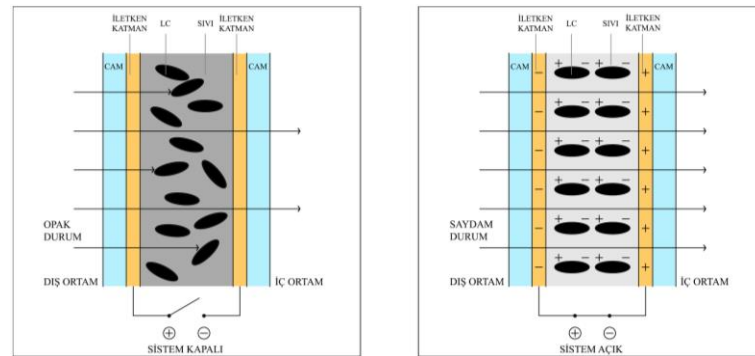
kopmaması açısından kubbede SPD akıllı cam teknolojisinin kullanıldığından bahsetmektedir. Sunum ve gösteri yapılacağı zaman camların karanlık bırakıldığı, ısı, ışık ve parlamamanın otomatik veya manuel olarak düzenlenebildiği çalışmada yer almaktadır.



Şekil 2.25. İsviçre - Cenevre Bilim ve Yenilik Küresi SPD kullanım örneği (Ferrara and Bengisu, 2014)

Asılı parçacıktan oluşan cam sistemlerde farklı malzemelerden oluşan birden çok katman bulunmaktadır. Opaklık değişimine ek olarak renk değiştirdiği durumlarında aktif bir katman da eklenebilmektedir (Addington ve Schodek, 2005).

Asılı parçacıklı cam sistemler, iki cam katmanı arasında iletken film katmanı ile sıvı içinde asılı bulunan ve çubuk şeklindeki parçacıklı (poliyodit, parafatit) katmandan oluşmaktadır. Sıvı içinde asılı duran parçacıklar rastgele pozisyonda durmaktadır. Dışarıdan gelen ışık farklı şekillerde duran parçacıklar tarafından engellenir ve cam opak olarak algılanır. Elektrik akımının verilmesiyle parçacıklar hizalanır ve ışık parçacıkların arasında geçer. Sistemi çalıştırmak için gerekli enerji cam kalınlığına bağlıdır (Bahlol, 2010 ve Açıksarı ve Karasu, 2018). EC camların aksine çok hızlı anahtarlanabilen asılı parçacıklı sistem yüzeyinin artmasıyla anahtarlanma süresi de artmaktadır (Akgün,2020). Şekil 2.26'da asılı parçacıklı cam sisteminin kesiti verilmektedir.



Şekil 2.26. Asılı parçacıklı cam sistem kesiti (Addington ve Schodek, 2005)

Asılı parçacıklı cam sistemlerde camın opaklığı veya saydamlığı verilen elektrik akımının miktarına bağlıdır. Camın saydamlık durumu ile geçen ısı ve ışık miktarı istenilen oranda kontrol edilebilmektedir (Akgün, 2020). Asılı parçacıklı cam sistemlerde camın saydam kalması için sürekli elektrik akımı uygulanmalıdır. EC malzeme kullanılan cam sistemlerde elektrik akımı uygulanmadığında cam saydamken asılı parçacıklı cam sistemlerde elektrik akımı uygulanmadığında cam tamamen opaktır.

Asılı parçacıklı camlar ofislerde toplantı ve yönetici odasını ayırmak için, bankalarda gişe ekranlarında, mağaza vitrinlerinde veya restoranlarda özelleştirilmek istenen yemek alanlarında kullanım alanı bulmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014).

UV ışınına maruz kalma kontrol edilebilmektedir. SPD camlar yazın soğutma, kışın ısıtma ihtiyacını azaltmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014). IR ışınlarını engelleme konusunda başarılı değildir. Mahremiyet açısından LC camlardan daha başarılı sonuç vermektedir (Addington ve Schodek, 2005). LC aksine dayanıklılık ve optik deneyleri tamamlanmamıştır. Maliyeti açısından en pahalı cam sistemlerinden biridir (Erdemli, 2018). Saydam kalmak için devamlı enerjiye ihtiyaç duyması kullanım alanını daraltmaktadır. Renk alternatifi kısıtlıdır.

## **2.6. Akıllı Cam Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları**

Kullanıcı ihtiyacına cevap veren akıllı cam sistemler, geleneksel malzeme olan düz cam ile karşılaştırıldığında birçok avantaja ve dezavantaja sahiptir. Bu bölümde akıllı cam sistemlerin avantajları ve dezavantajları anlatılmaktadır.

### **Termokromik Cam Sistemin Avantajları ve Dezavantajları**

Avantajlarına bakıldığında termokromik kaplamanın büyük boyutlarda üretimi mümkündür. Kaplama özellikleri kontrol edilebilmektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018). Enerji tüketmeden camdan geçen ışığı kontrol etmekte ve aşırı ısınmayı önlemektedir. Diğer akıllı cam sistemlere göre ucuzdur (Ferrara and Bengisu, 2014). Termokromik cam, ısı iletimini azaltırken gün ışığından maksimum düzeyde yararlanmayı sağlamaktadır. Kablolama ve güç kaynağı gerektirmez, uygulaması kolaydır (Erdemli, 2018). Sıcaklığa bağlı olarak koyulaştığından parlamayı önlemek için herhangi bir gölgeleme elemanına ihtiyaç duyulmamaktadır. Geleneksel cam sistem ile karşılaştırıldığında kış aylarında %15-30 ısı transferini azaltmakta ve yaz aylarında yaklaşık %30 enerji tasarrufu yapmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019 ve Temel, 2021).

Dezavantajları incelendiğinde termokromik camın maliyeti, geleneksel cam sisteme göre fazladır. Diğer akıllı cam sistemlere göre UV iletimi fazladır. Koyulaşmasının sarı tonlarında olması ve kontrol edilememesi manzarayı olumsuz etkilemektedir (Akgün, 2020). Gün ışığı geçirgenliği azdır. Güneş ışığında bulunan UV ışın, zamanla malzemenin iletim özelliğini değiştirmekte ve renk değiştirme becerisini kaybettirmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Böylece ışık geçirme düzeyinde bozulma gerçekleşmektedir (Döşemeciler, 2012). Ayrıca yaz aylarında aşırı koyulaşarak yapay aydınlatma ihtiyacı ortaya çıkarabilmektedir (Erkol ve Sayın, 2021). Kış aylarında ise yeterli ısıya ulaşılmadığında saydam kalarak iç mekânda parlamaya sebep olabilmektedir (Erdemli, 2018). Güneş ışınlarının iç mekâna geçmesini engelleyerek iç mekânda ısıtma ihtiyacı ortaya çıkarabilmektedir (Lelieveld, 2013 aktaran Akgün, 2020). Yaz ve kış aylarına bakılmaksızın gölgede kalan termokromik cam yüzeyde sıcaklık farkı oluşmaktadır. Bu durum ise camda homojen olmayan renk değişimine sebep olmaktadır (Çiçek, 2021). Termokromik camlar koyulaştığı durumda bile mahremiyet sağlama konusunda yetersizdir (Yüksel Ayvaz, 2019).

### **Fotokromik Cam Sistemin Avantajları ve Dezavantajları**

Güneş ışığı iletimini engelleyerek gün ışığı geçirimini kontrol etmektedir. Kış aylarında yaşanan parlama sorununu çözmek için idealdir (Addington ve Schodek, 2005). Gün ışığı yoğunluğuna tepki verirken fazladan enerji eklenmesine ihtiyaç duymaz (Erdemli, 2018). Gölgeleme elemanına ihtiyacı azaltmaktadır (Yüksel Ayvaz, 2019). Işığı soğurarak UV ve IR ışınları filtrelemesi Fotokromik camların avantajları arasında yer almaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014).

Fotokromik camların dezavantajı incelendiğinde tepki verme süresi yavaştır. Camdaki koyulaşmanın gri veya kahverengi renkte olması estetik yönden olumsuz etkilemektedir. Kış aylarında camın koyulaşması, ısı kazanım sorununu ortaya çıkarmaktadır (Addington ve Schodek, 2005). Isıya ve ışığa karşı dirençli olmadığından maruziyetin arttığı yaz aylarında sorun oluşturmaktadır. Zamanla tersinirliğini kaybedebilmekte ve ışık yoğunluğuna bağlı koyulaşmada homojen olmayan renk değişimi gösterebilmektedir (Yüksel Ayvaz, 2019 ve Ferrara and Bengisu, 2014). Ayrıca ışığı soğurduğu için fazla ısınarak camda kırılma meydana gelebilmektedir. Cam boyutu sınırlı ve maliyeti yüksektir. Kullanıcı camdaki koyulaşmayı kontrol edememektedir (Erdemli, 2018).

### **Elektrokromik Cam Sistemin Avantajları ve Dezavantajları**

EC camların saydamlığı kontrol edilebilmekte ve farklı ışık geçirime seviyeleri görülmektedir (Döşemeciler, 2012). Gölgeleme elemanlarına ihtiyacı ortadan kaldırır (Yüksel Ayvaz, 2019). Koyulaşması için gereken elektrik enerjisi düşüktür. EC camlar parlamayı önleyerek ve ısı yalıtımı sağlayarak önemli bir avantaja sahiptir (Ferrara and Bengisu, 2014). Koyulaşması homojen olmaktadır (Ergin, 2019). Pasif cam sistemlerin aksine kullanım ömrü uzundur (Erkol ve Sayın, 2021).

EC camın dezavantajlarından biri koyulaşması için sürekli elektrik enerjine ihtiyaç duymasıdır. Koyulaşması mavi tonlarındadır (Addington ve Schodek, 2005). Mahremiyet sağlamada yetersizdir (Akgün, 2020) Maliyeti yüksektir (Temel, 2021).

### **Sıvı Kristal Cam Sistemin Avantajları ve Dezavantajları**

LC camların avantajına bakıldığında cam koyu durumdayken hem mahremiyet sağlar hem de ışık geçirmeye devam eder. Camı büyük boyutlarda üretmek mümkündür (Addington ve Schodek, 2005). LC camların temizlenmesi kolaydır (Akgün, 2020). Mevcut cam sisteme sonradan entegre edilebilmektedir (Erdemli, 2018).

Sistemin çalışarak saydam kalması için 120 voltluk enerji gerekmektedir (Yurttakal, 2007). Bu durum ise enerji tasarrufunu engellemektedir. Koyu ve saydam durumda iletim enerjisi değişmemektedir. Eğik görüş açısına izin vermemektedir. IR ışınlarını geçirmektedir (Addington ve Schodek, 2005). UV dayanımı sorun teşkil etmektedir. Cam maliyetinin yüksek olması dezavantajıdır. (Erkol ve Sayın, 2021).

### **Asılı Parçacıklı Cam Sistemin Avantajları ve Dezavantajları**

Sıvı kristal camlarla kıyaslandığında eğik görüş açısına izin vermesi önemli avantajlarından biridir. Asılı parçacıklı cam sistemler mahremiyet sağlar (Addington ve Schodek, 2005). Camın saydamlığı farklı düzeylerde ayarlanabilmektedir (Akgün, 2020). İstenilen boyutlarda asılı parçacıklı kaplama üretme imkânı vardır (Erdemli, 2018). Binanın ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014).

Asılı parçacıklı cam sistemlerin dezavantajları incelendiğinde IR ışınlarını engellemede yetersiz olduğu görülmektedir. Saydam durumda kalması için sisteme sürekli elektrik enerjisi verilmesi enerji tasarrufuna engel olmaktadır (Addington ve Schodek, 2005). Yüzey alanı arttıkça anahtarlanma süresi artmaktadır (Akgün, 2020). Tüm akıllı malzemelerin arasında maliyeti en yüksek olan üründür (Erdemli, 2018).

## 2.7. Akıllı Cam Sistemlerin Enerji Verimliliği

Sanayi devriminin ardından enerji tüketiminin artmasıyla CO<sub>2</sub> salınımı artmıştır. Sera gazı olarak kabul edilen CO<sub>2</sub>, küresel ısınmaya neden olmaktadır. Kaynak yetersizliğine yol açması, ekolojik bozulmaya neden olması ve artan fiyatı gibi sebeplerle fosil yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir.

### 2.7.1. Enerji verimliliği

2007 yılında 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nda enerji verimliliği *“Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılması”* olarak ifade edilmektedir. Berberoğlu (2009) çalışmasında enerji verimliliğinin çevreyle ilgili, ekonomik ve sosyal bir kavram olduğunu bu sebeple enerji verimliliğinin sürdürülebilir mimarlık anlayışı için önemini vurgulamıştır.

Türkiye’de 5627 Sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” ile enerji tüketimini azaltarak israfı önlemek, enerjiyi etkin kullanmak, enerji maliyetini düşürmek ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması hedeflenmektedir (Resmi Gazete).

En az miktarda enerji kullanılması amaçlanan bina tasarımlarında enerji etkin anlayış görülmektedir. Bir binanın enerji etkin bina olarak nitelendirilmesi için tasarım, üretim, kullanım, bakım, onarım ve geri dönüşüm aşamalarında çok az miktarda enerji kullanılması beklenmektedir (Boduroğlu,2010). Kullanıcı konforu kaybedilmeyerek enerjiyi en az miktarda kullanmayı hedefleyen enerji etkin binalar, çevresel değişimleri algılamalı ve bu değişimlere anından cevap verebilmelidir (Yılmaz, 2009).

Binanın enerji tüketimini; iklim ve çevre koşulları, topoğrafya, bitki örtüsü, binanın konumu ve yönlenmesi, bina mimarisi, kabağı, bina içinde istenen konfor seviyesi, elektrik tüketen cihaz kullanımı, HVAC (heating, ventilation, air conditioning) ve aydınlatma sistemleri etkilemektedir (Yılmaz, 2009 ve Göral Ceylancı, 2020).

Dağsöz ve diğ., 1999’un çalışmasında tek katlı binalarda çatıdan %22; pencereden %20; duvardan %25; zeminden %20 ve hava kaçaklarından kaynaklanan %13 oranında ısı kaybı yaşandığı ve çok katlı binalarda ise hava kaçaklarında %17; çatıda %7; pencerede %30; duvarda %40 ve zeminde %6 oranında ısı kaybı yaşandığı belirtilmektedir. Çok katlı binalarda enerji kaybının büyük çoğunluğu duvar ve pencerelerde olmaktadır (İsmail, 2012). Düşük yatırım maliyetleri ve küçük önlemler ile

yüksek enerji verimliliği elde edilebilmektedir. Birçok yapı elemanı barındıran binaların, enerji verimliliğine etkisi büyüktür (Erdemli, 2018).

Camların sebep olduğu ısı kayıpları, binanın enerji sorunlarından birisidir. Binanın ısıtma ve soğutma yükünü azaltmak enerji sorununu gidermek için önemlidir. U değeri olarak bilinen toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (thermal transmittance) ve SHGC olarak kısaltılan güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri (solar heat gain coefficient) pencere camlarının enerji performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Camın U değerinin düşük olması ısı enerjisi transferinin az olduğu anlamına gelmekte ve ısıtma masrafını azaltıp ısı konforunu artırmaktadır. 0 ve 1 arasında değer alabilen SHGC ise 1 değerini aldığı durumda camdan %35 oranında güneş enerjisi geçirmektedir. SHGC değerinin artması ısı kazanımının yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Düzgün, 2020).

Camların enerji tüketimine etkisi nedeniyle bu aşamada çevresel değişimlere karşı otomatik bir şekilde kendini düzenleyen pasif cam sistemler ile kullanıcı ihtiyacına göre manuel ayarlanabilen aktif cam sistemlerin enerji verileri incelenmektedir.

### 2.7.2. Termokromik cam enerji verileri

Sistemin çalışması malzemenin bileşenlerine bağlı olarak 10 ve 65°C arasında değişmektedir. Cam saydam durumda %60 ve koyulaştığı durumda %5 ışık geçirmektedir (Erdemli, 2018). Termokromik camın düşük sıcaklıklarda SHGC değeri 0,29 iken yüksek sıcaklıklarda 0,13'tür. Isı geçirgenlik katsayısı ise sıcaklıktan etkilenmemekte ve U değeri 1,36 W/m<sup>2</sup>K'dir (Düzgün, 2020). Geleneksel camlarla kıyaslandığında termokromik camların yaklaşık %30 enerji tasarrufu yaptığı tespit edilmiştir (Temel, 2021). Termokromik camların kullanım ömrü 20 yılı aşmaktadır. Yatırım maliyetini 4 yıl içinde karşılamaktadır (Erdemli, 2018).

### 2.7.3. Fotokromik cam enerji verileri

PC camlar -40 ve 250°C arasında çalışmaktadır (Ferrara and Bengisu, 2014). Cam koyulaştığında ışık geçirgenliğinin %25-65 oranında azaldığı tespit edilmiştir. PC camın SHGC değeri saydamken 0,733 ve koyulaştığında 0,3'tür. U değeri 2,85 W/m<sup>2</sup>K'dir. Enerji tüketimini %14,2 ile %29 arasında azaltması beklenmektedir.

Geleneksel camlar ile kıyaslandığında %6-32 arasında enerji tasarrufu yapabilmektedir (Cannavale ve diğ., 2022 ve Nicoletti ve diğ., 2022).

#### 2.7.4. Elektrokromik cam enerji verileri

EC cam koyu duruma geçebilmek için  $1-2,5 \text{ W}_p/\text{m}^2$  enerjiye ve koyu durumunu sürdürmek için  $0,4 \text{ W}_p/\text{m}^2$ 'den daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Saydam durumda %60 ve koyulaştığı durumda %1 ışık geçirgenliği bulunmaktadır. Sistem kapalı ve cam saydamken SHGC değeri 0,46 iken sistem açıldığında ve cam koyulaştığında 0,06 değerini almaktadır (Erdemli, 2018). U değeri camın saydam ve koyulaştığı durum için  $1,59 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 'dir (Düzgün, 2020). Yapılan çalışmalar sonucunda EC camların %50-60 arasında enerji tasarrufu yaptığı gözlenmiştir (Temel, 2021). EC cam kullanım ömrünün 20 ile 30 yıl arasında olduğu tespit edilmiştir (Erkol ve Sayın, 2021).

#### 2.7.5. Sıvı kristal cam enerji verileri

Sıvı kristal cam, saydam durumunu sürdürmek için  $5-10 \text{ W}/\text{m}^2$  enerjiye ihtiyaç duymaktadır. LC cam saydamken ışık geçirgenliği %70 ve koyulaştığı durumda %50'dir (Erdemli, 2018). Cam saydam olduğu durumda U değeri  $2,79 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  ve SHGC değeri 0,68'dir. Camın koyulaştığı durumda ise U değeri  $2,44 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  ve SHGC değeri 0,63'tür (Nundy ve diğ., 2015). 15 yıl kullanım ömrü bulunmaktadır (URL-4).

#### 2.7.6. Asılı parçacıklı cam enerji verileri

Asılı parçacıklı cam saydam olmak için  $5 \text{ W}/\text{m}^2$  ve saydam kalabilmek için  $0,55 \text{ W}/\text{m}^2$  enerji tüketmektedir. Cam koyulaştığında ışık geçirgen oranı %0,6'dır. SHGC ise saydam durumda 0,57 iken koyulaştığı durumda 0,06 değerini almaktadır (Erdemli, 2018). U değeri her iki durumda aynı olup  $1,99 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 'dir (Ghosh ve diğ., 2015).

## 2.8. Bölüm Değerlendirmesi

Tablo 2.13'te Akıllı cam sistemlerin özellikleri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 2.13.** Akıllı cam sistem özellikleri karşılaştırılması (Düzgün, 2020, Cannavale ve diğ., 2022, Nicoletti ve diğ., 2022, Nundy ve diğ., 2015, Ghosh ve diğ., 2015, Bahlol, 2010 ve Erdemli, 2018'den alınan bilgilerle yazar tarafından düzenlenmiştir)

|                                                        | Termokromik              | Fotokromik                | Elektrokromik                   | Sıvı kristal                   | Asılı Parçacık                 |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Opaklık durumu</b>                                  | Tam opaklık sağlamaz     | Tam opaklık sağlamaz      | Tam opaklık sağlamaz            | Tam opaklık sağlar             | Tam opaklık sağlamaz           |
| <b>Renk dağılımı</b>                                   | Bazı durumlarda düzensiz | Bazı durumlarda düzensiz  | Bazı durumlarda kenar daha koyu | Homojen dağılım                | Homojen dağılım                |
| <b>Saydamlık durumu</b>                                | Düşük sıcaklık %60       | Düşük ışık yoğunluğu %65  | Elektrik yok %60                | Elektrik var %70               | Elektrik var %65               |
| <b>Koyulaşma durumu</b>                                | Yüksek sıcaklık %95      | Yüksek ışık yoğunluğu %75 | Elektrik var %99                | Elektrik yok %50               | Elektrik yok %95,5             |
| <b>Koyulaştığı durumda mahremiyet</b>                  | Yetersiz                 | Yetersiz                  | Yetersiz                        | Yeterli                        | Yetersiz                       |
| <b>Koyulaştığı durumda manzara</b>                     | Etkiler                  | Etkiler                   | Etkiler                         | Engeller                       | Etkiler                        |
| <b>Saydam durumda UV geçirgenliği</b>                  | %0                       | -                         | %0,4                            | %0,5                           | %0,1                           |
| <b>Koyulaştığı durumda UV geçirgenliği</b>             | %0                       | -                         | %0                              | %0,5                           | %0,1                           |
| <b>Sistem kontrolü</b>                                 | Otomatik                 | Otomatik                  | Manuel                          | Manuel                         | Manuel                         |
| <b>Saydam durumda U değeri (W/m<sup>2</sup>K)</b>      | 1,36                     | 2,85                      | 1,65                            | 2,79                           | 1,99                           |
| <b>Koyulaştığı durumda U değeri (W/m<sup>2</sup>K)</b> | 1,36                     | 2,85                      | 1,65                            | 2,44                           | 1,99                           |
| <b>Saydam durumda SHGC değeri</b>                      | 0,37                     | 0,733                     | 0,46                            | 0,69                           | 0,57                           |
| <b>Koyulaştığı durumda SGGC değeri</b>                 | 0,12                     | 0,3                       | 0,06                            | 0,55                           | 0,06                           |
| <b>Saydam durumda ışık geçirme</b>                     | %60                      | %65                       | %60                             | %75                            | %65                            |
| <b>Koyulaştığı durumda ışık geçirme</b>                | %5                       | %25                       | %1                              | %50                            | %0,5                           |
| <b>Anahtarlanma hızı</b>                               | Birkaç dakika            | Birkaç dakika             | 3-5 dakika                      | 1 saniyeden az                 | 1-3 saniye                     |
| <b>Çalıştırmak için gerekli enerji</b>                 | Yok                      | Yok                       | Elektrik 1-2,5 W/m <sup>2</sup> | Elektrik 5-10 W/m <sup>2</sup> | Elektrik 5 W/m <sup>2</sup>    |
| <b>Saydamlığı korumak için gerekli enerji</b>          | Yok                      | Yok                       | Yok                             | Elektrik 5-10 W/m <sup>2</sup> | Elektrik 0,55 W/m <sup>2</sup> |
| <b>Koyuluğu korumak için gerekli enerji</b>            | Sıcaklık                 | Işık                      | Elektrik 0,4 W/m <sup>2</sup>   | Yok                            | Yok                            |

Dağsöz ve diğ., (1999) yaptıkları çalışmada çok katlı binalarda camlardan %30 oranında ısı kaybedilmektedir (İsmail, 2012). Cam malzeme tercihi ile bu kayıpların önüne geçilebilmekte ve tek bir akıllı cam kullanımı ile farklı ihtiyaçlar giderilmektedir.

Tablo 2.13'te akıllı camların farklı özellikleri özetlenmiştir. İç mekânda istenilen sonuca göre akıllı cam seçimi önem arz etmektedir. Manzaranın korunması, camdan geçen ışık miktarının fazla olması, parlamanın önlenmesi, UV ışın geçiriminin az olması veya mahremiyet istenilen durumlarda farklı akıllı camlar tercih edilebilmektedir. Sıvı kristal camlara akım verilmediğinde koyu durumda bulunmakta ve ışık geçirmektedir. Gün ışığı ve mahremiyet istenen mekânlarda tercih edilmesi uygundur (Addington ve Schodek, 2005). Termokromik camlar sıcaklığın yıl boyunca fazla olduğu bölgelerde enerji harcamadan koyulaşarak parlamanın önüne geçmek için idealdir. PC camlar parlamanın önüne geçmek için tercih edilmesi uygundur. EC camlar belirli bir süre mahremiyet istenildiği durumlar için idealdir. Asılı parçacıklı camlar ışığın mekâna belirli bir süre daha fazla alınması istenildiği durumlar için uygundur. Koyu durumunda manzarayla bağlantısı kesilmediği ve ışığı daha az mekâna aldığı için müzelerde kullanımı daha uygundur.

Enerji verileri göz önüne alındığında akıllı cam sistemlerin %60'a kadar enerji tasarrufu yaptığı gözlenmiştir. Isı geçirim katsayıları incelendiğinde termokromik ve elektrokromik camlar geleneksel camlardan daha avantajlı konumdadır.

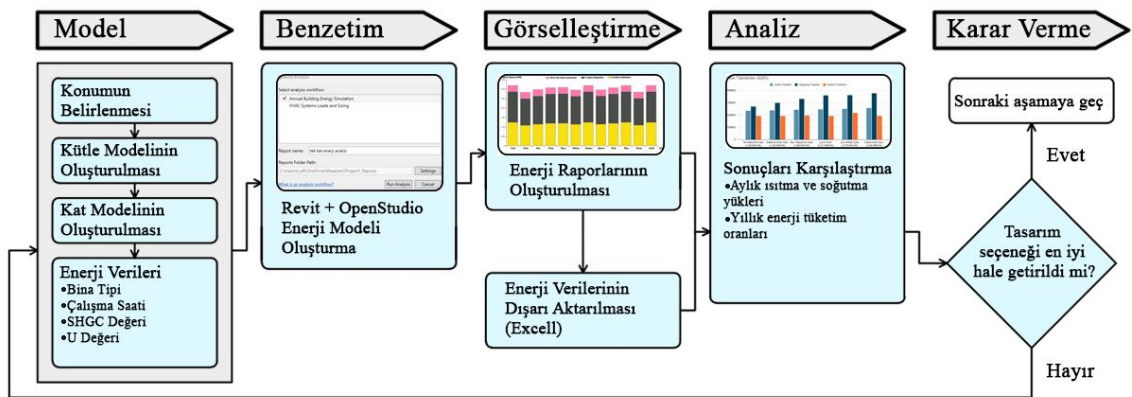
Termokromik camların; anahtarlanma sıcaklık aralığı, koyulaştığı durumda ışık geçiş kontrolü, ışınlara karşı dayanıklılığı ve mimari elemanlara entegre edilmesi geliştirilme aşamasındadır. Fotokromik malzeme entegre edilerek oluşturulan bileşikler ile camın tersinirliğini kaybetmesinin engellemek için çalışmalar sürdürülmektedir (Ferrara and Bengisu, 2014). PC levha ölçüleri son dönemde yapılan çalışmalar ile artırılmıştır. Günümüzde uygulanmakta olan EC camların, anahtarlanma süresini kısaltmak ve mahremiyeti artırmak için çalışmalar devam etmektedir (Erdemli, 2018). Sıvı kristaller ise diğer akıllı cam sistemlerin aksine inşaat sektörüne boyutlandırma, dayanıklılık ve paketleme testleri yapılarak girmiştir (Addington ve Schodek, 2005). Asılı parçacıklı cam sistemlerin optik deneyleri devam etmektedir (Erdemli, 2018).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının birinci ve ikinci bölümünde alan çalışmasına altlık hazırlığı tamamlanmıştır. Bu bölüm, literatür incelemesi sonucunda toplanan verilerin alan çalışmasına nasıl katkı sağladığı ve alan çalışmasının temelini nasıl oluşturduğu anlatılmak üzere hazırlanmıştır.

Çalışma için gerekli bilgiler kitaplar, bilimsel makaleler, konferans bildirileri ve internet kaynakları taranmıştır. Benzer konularda yazılmış yüksek lisans ve doktora tezleri incelenmiştir. Alan çalışmasının odak noktası olan ofis binalarında akıllı cam sistem kullanımının enerji verimliliğine etkisini incelemek amacıyla TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve internet kaynakları taranmıştır. DEHA Grup'tan alınan Kentplaza Ofis çizim dosyaları (plan, kesit, görünüş çizimleri) ve temin edilen sistem verileri enerji simülasyon programında kullanılmıştır.

Tez hazırlanırken nitel ve nicel araştırma yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında akıllı malzemelere ve akıllı malzemelerin kullanıldığı cam sistemlere ilişkin bilgilerin düzenlenmesi amacıyla nitel araştırma yöntemi olan betimsel içerik analizi kullanılmıştır. Tezin ikinci aşamasında ise nicel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu aşamada betimsel içerik analizi yöntemiyle toplanan veriler, nicel analizler için gerekli bilgilerin temelini oluşturmuştur. Enerji tüketiminin değerlendirilmesi amacıyla Konya'daki bir ofis binasında akıllı cam sistemlerin kullanıldığı senaryolar oluşturulmuştur. Mevcut durumun ve oluşturulan senaryoların enerji tüketimini hesaplamak için benzetim yönteminden yararlanılmıştır.



Şekil 3.1. Yöntem şeması

Revit 2024 kullanımı sırasında izlenen yöntem şekil 3.1’de verilmiştir. Benzetim yöntemi uygulanırken enerji, ısıtma, soğutma ve aydınlatma hesaplamalarını yapabilmek amacıyla çeşitli simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu program ve yazılımların farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Program arayüzünün basit olması, öğrenciler için ücretsiz olması ve kullanım kolaylığı sebebiyle enerji analizi için Autodesk Revit Architecture 2024 kullanılmıştır.

Bilgisayar destekli enerji simülasyon programı kullanılarak on dört katlı Kentplaza Ofis Binası, tesis edilen çizim dosyaları ile 3 boyutlu olacak şekilde modellenmiştir. Daha sonra bu modelleme üzerinden enerji analizi yapılmıştır. Mevcut cam durumunun enerji performansı analiz edildikten sonra tüm cam sistemlerin özellikleri (SHGC ve U değerleri) değiştirilerek 5 farklı akıllı malzeme (termokromik, fotokromik, elektrokromik, sıvı kristal ve asılı parçacıklı) için hesaplamalar tekrar yapılmıştır. Mevcut durumun da dahil edildiği 6 adet cam sistemin enerji tüketimlerini hesaplamak için ısıtma, soğutma ve elektrik tüketimleri incelenmiştir. Aktif akıllı cam sistemlerden sıvı kristal cam ve asılı parçacıklı camlarda camın şeffaf kalması için gereken elektrik akımı, belirlenen çalışma saatleri göz önüne alınarak manuel bir şekilde hesaplanmış ve enerji analizi programından gelen enerji tüketimi verilerinin üstüne eklenmiştir. Çalışmanın son aşamasında tüm cam sistemlerin enerji tüketimleri incelenmiş ve enerji verimliliğine etkisi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen verilerle öneriler sunulmuştur.

### 3.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler

Konya İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü’nden alınan verilerde “*Konya, 36°41’ ve 39°16’ kuzey enlemleri ile 31°14’ ve 34°26’ doğu boylamları arasında yer alır.*” olarak ifade edilmektedir. Konya kenti, Türkiye’nin Anadolu Yarımadası’nda olan İç Anadolu Bölgesi’nin güneyinde yer almaktadır. Konya, ortalama yükseltisi 1016 m olan ve 38.873 km<sup>2</sup>’den oluşan geniş düzlükleri bulunan bir ildir. Konya ilinde farklı iklim özellikleri görülmektedir. Toros Dağları’nın da bulunduğu güney kesimde Akdeniz iklimi görülürken kuzey kesimde karasal iklim görülmektedir. Ayrıca Konya’nın ilçesi olan Karapınar bölgesinde ise çöl iklimi görülmektedir (URL-15 ve Çiftçi ve diğ., 2013).

Konya ilinin doğusunda Niğde ve Aksaray, batısında Isparta, Afyonkarahisar ve Eskişehir, kuzeyinde Ankara, güneyinde ise, Mersin, Karaman ve Antalya illeri

bulunmaktadır (URL-15). 1950'lerden önce Konya, tarım ağırlıklı bir kent iken 1950'li yıllardan sonra ise Konya'da hızlı kentleşme görülmektedir. Yerel yönetim kararı ile kuzeye yani başkent Ankara'ya doğru kentin gelişimi yönlendirilmiştir (Aka, 2007).

### 3.1.1. Binanın bulunduğu bölgenin yerel iklim verileri

Enerji performansı analizi için iklimsel veriler dikkate alınmalıdır. Kullanıcı ihtiyacını karşılamak ve enerjiyi verimli kullanmak için uygulanacak akıllı cam tercihi değişebilmektedir. Örneğin bir mekânda hem mahremiyet sağlamak için az enerji kullanılması hem de mekânın aydınlık olması istenildiği durumda sıvı kristal camların tercih edilmesi daha uygundur. Pasif cam sistemlerden biri olan termokromik camlar ise sıcaklığa tepki verdiği için iklim verileri çok önemlidir.

#### Konya ilinin iklim verileri

Konya'nın güney kesiminde yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ılık ve yağışlı geçmektedir. Konya'nın ilçesi olan Karapınar çevresinde ise çöl iklimi görülmektedir. Konya genelinde yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları soğuk ve nemli geçmektedir. Yağış türü çoğunlukla kar ve yağmur şeklindedir. Bahar aylarında yağışlar artmaktadır. Hakim rüzgar yönü Kuzey-Kuzeydoğu'dur (Çiftçi ve diğ., 2013). Tablo 3.1'de Konya ilinin aylık meteorolojik verileri gösterilmektedir.

**Tablo 3.1.** Konya - Meteorolojik veriler (Çiftçi ve diğ., 2013)

| Konya                       | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|-----------------------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|
| Sisli Gün Sayısı            | 6.1  | 3.3   | 1.5  | 0.2   | 0.2   | 0       | 0      | 0       | 0.1   | 0.1  | 4.1   | 7.4    |
| Yağışlı Gün Sayısı          | 9.96 | 8.39  | 8.91 | 8.90  | 10.36 | 6.78    | 2.18   | 1.48    | 3.17  | 6.07 | 6.57  | 10.07  |
| Ortalama Yağış Miktarı (mm) | 38.4 | 28.8  | 29.4 | 31.7  | 43.0  | 25.9    | 7.5    | 6.3     | 13.5  | 29.6 | 32.0  | 45.7   |
| Nispi Nem (%)               | 78   | 74    | 65   | 58    | 56    | 50      | 42     | 42      | 48    | 60   | 72    | 79     |
| Rüzgâr Hızı (mb)            | 1.8  | 2.1   | 2.4  | 2.4   | 2.0   | 2.2     | 2.6    | 2.3     | 2.0   | 1.6  | 1.4   | 1.6    |

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan iklim verilerine göre Konya'da yaşanan kış aylarının (Aralık, Ocak ve Şubat) sıcaklık ortalaması yaklaşık 1,01°C'dir.

1942 yılında kışın en düşük sıcaklık  $-28,2^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. 2021 yılında ise kışın en yüksek sıcaklık  $19,9^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Konya’da yaşanan yaz aylarının (Haziran, Temmuz ve Ağustos) sıcaklık ortalaması yaklaşık  $22,08^{\circ}\text{C}$ ’dir. 2000 yılında yazın en yüksek sıcaklık  $40^{\circ}$  olarak ve 1933 yılının yazında en düşük sıcaklık  $1,8^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Yıllık ısıtılmaya ihtiyaç duyulan gün sayısı 213’tür. Yoğun olarak kış ve sonbahar aylarında ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Binanın yıllık soğutulması gereken gün sayısı 73’tür. En çok yazın soğutma ihtiyacı görülmektedir. Tablo 3.2’de Konya ilinin aylık iklim verileri gösterilmektedir.

**Tablo 3.2.** Konya - Aylık iklim verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü)

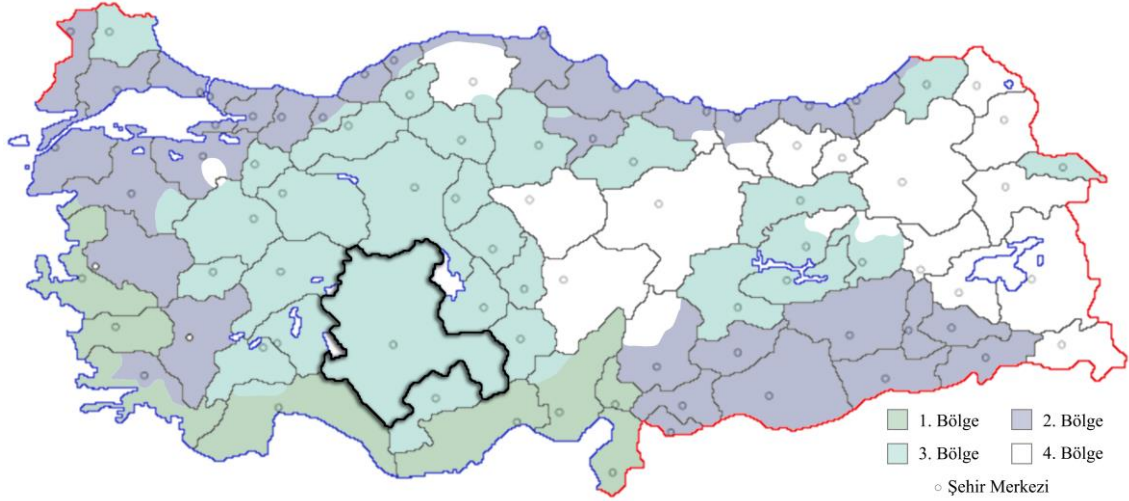
| <b>Konya</b><br>(1929-2022)                                         | <b>Ocak</b> | <b>Şubat</b> | <b>Mart</b> | <b>Nisan</b> | <b>Mayıs</b> | <b>Haziran</b> | <b>Temmuz</b> | <b>Ağustos</b> | <b>Eylül</b> | <b>Ekim</b> | <b>Kasım</b> | <b>Aralık</b> |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| <b>Ortalama Sıcaklık (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>            | -0.2        | 1.5          | 5.5         | 11.1         | 15.9         | 20.1           | 23.5          | 23.3           | 18.8         | 12.8        | 6.5          | 1.8           |
| <b>Ortalama En Yüksek Sıcaklık (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>  | 4.6         | 7.0          | 11.7        | 17.5         | 22.4         | 26.7           | 30.2          | 30.2           | 26.0         | 20.0        | 13.1         | 6.6           |
| <b>Ortalama En Düşük Sıcaklık (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>   | -4.2        | -3.3         | -0.2        | 4.3          | 8.6          | 12.7           | 15.9          | 15.7           | 11.0         | 6.0         | 0.8          | -2.3          |
| <b>Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)</b>                            | 3.3         | 4.6          | 5.9         | 7.2          | 9.0          | 10.7           | 11.8          | 11.4           | 9.7          | 7.3         | 5.3          | 3.2           |
| <b>Isıtma Gün Miktarı (<math>T \leq 15^{\circ}\text{C}</math>)</b>  | 31          | 28           | 31          | 18           | 17           | 0              | 0             | 0              | 3            | 24          | 30           | 31            |
| <b>Soğutma Gün Miktarı (<math>T &gt; 22^{\circ}\text{C}</math>)</b> | 0           | 0            | 0           | 0            | 3            | 10             | 17            | 31             | 10           | 2           | 0            | 0             |

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden aylık sıcaklık ortalamaları, en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri, yağışlı gün miktarı, ortalama aylık yağış miktarı, güneşlenme süreleri ve hakim rüzgâr yönü gibi bilgiler elde edilmiştir.

### **Konya ilinin iklim verilerinin TS 825’e göre değerlendirilmesi**

Enerji tasarrufu, bina ısıtılmasında harcanan enerji kısıtlaması ve ısıtma için ihtiyaç duyulan enerjinin hesaplanması için birtakım standartlar belirlenmiştir. Türk Standardı olarak kabul edilen bu kurallar geçmiş yıllarda yenilenerek Avrupa Birliği standartları ile uyumlu hale getirilmiştir. 2013 yılında TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kurallarının güncellenmesiyle birlikte derece gün bölgesi beş adet olarak belirlenmiştir

(Atmaca, 2016). Ancak çalışma alanı 2012 yılında tamamlandığı için 2008 yılında yayınlanan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları çalışmada esas alınmıştır. Şekil 4.9’da illerin derece gün bölgelerine göre düzenlenmiş durumu görülmektedir. Çalışmada enerji performans analizi yapılan bina 3. Bölgede bulunan Konya ilinde yer almaktadır.



Şekil 3.2. İllere göre derece gün bölgeleri (TS 825, 2008)

Isıl geçirgenlik kat sayısı değeri ( $U$  değeri- $W/m^2K$ ) ısı kayıplarını hesaplamak, ısı yalıtımı standartlarını belirlemek ve ısı kaybının azalmasını sağlamak için gereklidir. İklimsel ve coğrafi şartlara en uygun malzeme seçimi için  $U$  değerlerine bakılmalıdır. Tablo 3.3’te 2008 yılına ait TS 825’e göre 3. iklim bölgesi için kullanılabilecek maksimum  $U$  değerleri verilmiştir. Konya ili için

Tablo 3.3. 2008 yılında yayınlanan TS 825’te verilen 3. Bölge  $U$  değerleri

| $U_D$<br>(Dış duvar) | $U_T$<br>(Tavan) | $U_t$<br>(Taban) | $U_p$<br>(Pencere) |
|----------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 0,50 $W/m^2K$        | 0,30 $W/m^2K$    | 0,45 $W/m^2K$    | 2,4 $W/m^2K$       |

### 3.1.2. Çevre topoğrafyası ve yapılaşması

Konya topoğrafik açıdan incelendiğinde en yüksek noktası 1080 m (Alaaddin Tepesi) ve en alçak noktası 975 m (Aslım Bataklığı) olan ortalama 1000 m yükseltide ve geniş düzlükleri bulunan çevresi dağlarla çevrili bir ova özelliği taşımaktadır. Konya 1970'lere kadar düz bir arazi üzerine kurulmuş ilerleyen yıllarda ise eğimli araziler yerleşim için önemli konuma gelmiştir (Aka, 2007). Geniş düzlüğe sahip olması sebebiyle bina yerleşimleri geniş alanlara yayılmıştır.

Kentplaza binasının çevresinde az katlı konut ve sanayi yapıları bulunmaktadır. Ofis binasının yakın çevresinde yıl boyunca rüzgârı veya güneş ışınlarını engelleyebilecek yüksek katlı binalar bulunmamaktadır. Şekil 3.3'te Kentplaza'nın yakın çevresi ile yapılaşma ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3.3. Kentplaza Binası ile yakın çevresinin yapılaşma ilişkisi (360 Konya, 2020)

### 3.2. Ofis Binasının Belirlenmesi ve Tanıtılması

Cam sistemlerin enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla cephesinde yoğun olarak cam sistem kullanan binalar tez kapsamında araştırılmıştır. Cam kullanımının fazla olduğu ve kullanım yoğunluğu dikkate alındığında ofis yapıları tez çalışmasında ele alınmıştır. Konya ilinde yer alan ofis binaları probleme uygun olacak şekilde incelenmiştir. İncelenen yapılar arasında inşaat aşamasında olan ve yoğun kullanılmayan binalar çıkartılmıştır. Kentplaza Ofis Binası'nın çalışma alanı olarak seçilmiş olmasında;

- Seçilen binanın kullanılıyor olması,

- İl merkezine yakın olması ve il merkezinin iklim özelliklerini göstermesi,
- Binanın yakın çevresinde yapılaşmanın yüksek olmaması,
- Yüksek ve geniş boyutlarda olan Low-e teknoloji cam sistemlerin kullanılmış olması ve
- Çalışma için gerekli verilere erişim kolaylığı gibi faktörler etkili olmuştur.

Kentplaza Ofis, Konya ilinin Selçuklu ilçesinde yer almaktadır. Kentplaza Alışveriş ve Yaşam Merkezi ile aynı konumu paylaşan ofis binası, konum itibarıyla havalimanına, sanayi bölgelerine ve kent merkezine yakındır. Konya şehir merkezinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Kent merkezine yaklaşık 5 km uzaklıkta olan ofis binasının batısında konutlar, doğusunda sanayi bölgeleri bulunmaktadır. Şekil 3.4'te Kentplaza binasının şehir merkezi ve yakın çevre ile olan bağlantısı verilmektedir.



Şekil 3.4. Kentplaza Ofis'in kent merkezi ve yakın çevre ile bağlantısı (Konya Kent Rehberi)

Yatırımcılığını ve projelendirilmesini DEHA Grup'un üstlendiği Kentplaza, AVM bloğu ve ofis bloğundan oluşmaktadır. Kentplaza Alışveriş ve Yaşam Merkezi üç katlı olup inşaat alanı 110.000 m<sup>2</sup>'dir. AVM bloğunda market, teras alanları, etkinlik alanları, eğlence merkezi, sinema salonu, yüzme havuzu, spor merkezi ve 145 mağaza bulunmaktadır. Ofis bloğunun girişinde bulunan lobi ile AVM bloğuna bağlantı sağlanmaktadır. Kentplaza Ofis bloğunda on dört ofis, tesisat, mekanik ve çatı katı bulunmakta olup 51 ofis yer almaktadır. İnşaat alanı ise yaklaşık olarak 12.500 m<sup>2</sup>'dir. Ofis bloğu, 2012 yılının Kasım ayında açılan Kentplaza Alışveriş ve Yaşam Merkezi'nden sonra kullanıma açılmıştır. En küçük ofis brüt 170 m<sup>2</sup> ve en büyük ofis brüt 200 m<sup>2</sup>'dir. Kentplaza Ofis'te hukuk ofisleri, kişisel muayenehaneler, çağrı

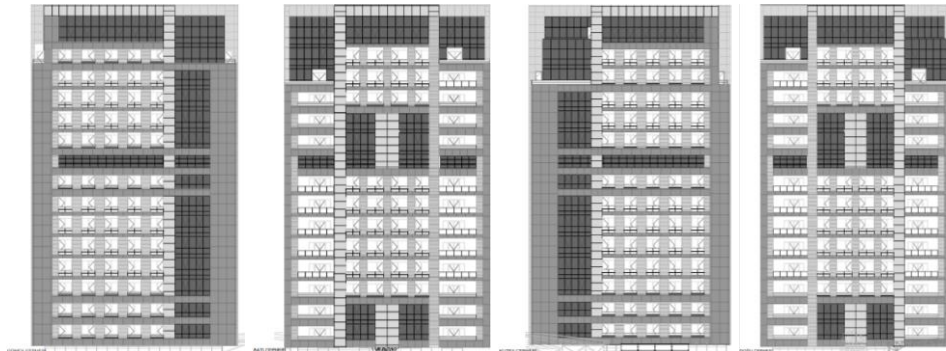
merkezi, eğitim/kurs ofisleri ve danışmanlık ofisleri bulunmaktadır (URL-16 ve URL-17). Şekil 3.5'te Kentplaza alışveriş ve yaşam merkezi ile Kentplaza Ofis binası verilmiştir. Kullanıcı ve misafir için geniş otopark imkânı sunmaktadır. Çeşitli ulaşım olanakları ile erişilebilir bir mimari anlayış görülmektedir.



Şekil 3.5. Kentplaza binası (Google haritalar)

### Bina Geometrisi

Kentplaza Ofis binasının girişi Ataseven Caddesi üzerinden (Güneybatı cephesinden) sağlanmıştır. Giriş, cam kanopi kullanılarak vurgulanmıştır. Ziya Ülhak Caddesi üzerinde (Kuzeybatı cephesinde) yangın çıkışı bulunmaktadır. Binanın tüm cephelerinde şeffaf yüzeyler bulunmaktadır. Bina cephesinde hareketlilik ve güneş ışınlarını engellemek amacıyla alüminyum doğramalar kullanılmıştır. Şekil 3.6'da Kentplaza Ofis binasının cephe çizimleri verilmiştir.

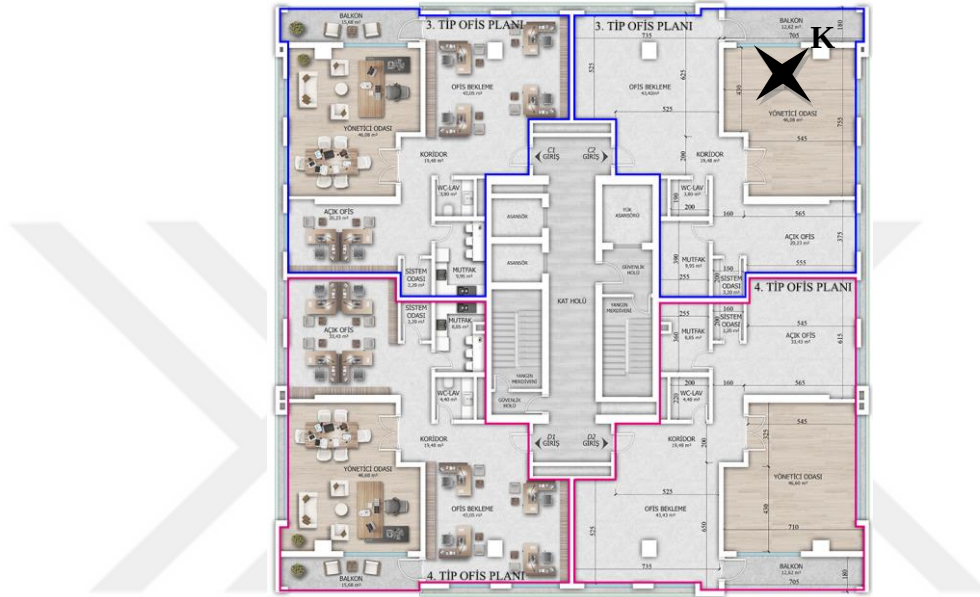


Şekil 3.6. Kentplaza Ofis Binası sırasıyla Güneybatı, Güneydoğu, Kuzeydoğu ve Kuzeybatı cepheleri (AutoCAD çizim dosyası)

Ofis binası X doğrultusu 9 m açıklığa sahip iki ve 7,8 m açıklığa sahip bir tane akstan, Y doğrultusu ise 7,8 m açıklığa sahip iki ve 10,2 m açıklığa sahip bir tane akstan meydana gelmektedir. Ofis binası X ve Y doğrultusunda yaklaşık 30 m uzunluğa



Şekil 3.8’de verilen ikinci tip kat planı 8 kata (3, 4, 5, 6, 7, 8, 11 ve 12. katlara) uygulanmıştır. Bu katlarda bulunan dört adet ofis, iki farklı tip planı ile tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 3 m’dir. Kat cephesinde toplam 226,6 m<sup>2</sup> duvar ve 115,92 m<sup>2</sup> cam yüzeyi bulunmaktadır. Veriler incelendiğinde cam duvar oranı yaklaşık %51 olarak hesaplanmıştır. Birinci tip kat planı ile kıyaslandığında bu plan tipinin uygulandığı katlarda cam yüzeyinin azaldığı görülmektedir.

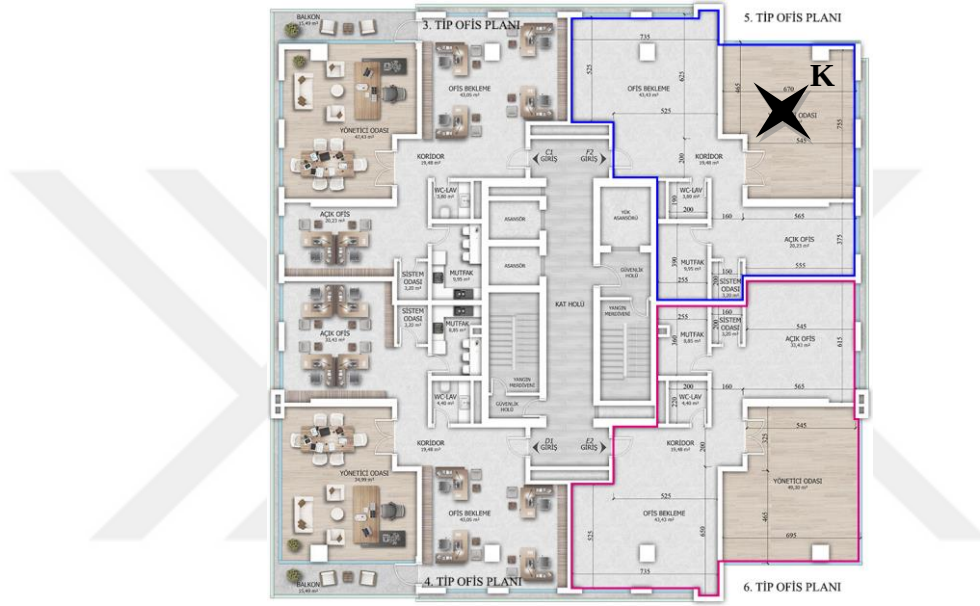


Şekil 3.8. Kentplaza Ofis ikinci tip kat planı (URL-17)

Güneybatı-kuzeybatı ve kuzeybatı-kuzeydoğu yönlerine bakan 3. tip ofis; yönetici odası, bekleme alanı, balkon, açık ofis alanı, mutfak, sistem odası, WC ve lavabodan oluşmaktadır. Tip bir ofis planına göre daha büyük bekleme alanı bulunmaktadır. Yaklaşık olarak net alanı 160 m<sup>2</sup>’dir.

Güneybatı-güneydoğu ve güneydoğu-kuzeydoğu yönlerine bakan 4. tip ofis üçüncü tip ofis ile aynı mekânlara sahiptir. Açık ofis mekânının alanı tip üç ofis planına göre daha büyüktür. Dördüncü tip ofis planının net alanı yaklaşık 170 m<sup>2</sup>’dir.

Yalnızca 13. katta uygulanan üçüncü tip kat planı Şekil 3.9’da verilmiştir. Kat planında dört farklı ofis tipinden oluşan dört adet ofis bulunmaktadır. Bu katta 3. ve 4. tip ofis planları tekrarlanmaktadır. Kat yüksekliği 3 m’dir. Kat cephesinde toplam 150,41 m<sup>2</sup> duvar ve 184,32 m<sup>2</sup> cam yüzeyi bulunmaktadır. Kat cephesinde cam-duvar oranı yaklaşık %55’tir. Birinci tip kat ile kıyaslandığında bu kat tipinde cam yüzeyler azalmaktadır. Buna rağmen cam-duvar oranı daha yüksektir. İkinci tip katlara bakıldığında cephede cam yüzeyi ve cam-duvar oranı artmaktadır.

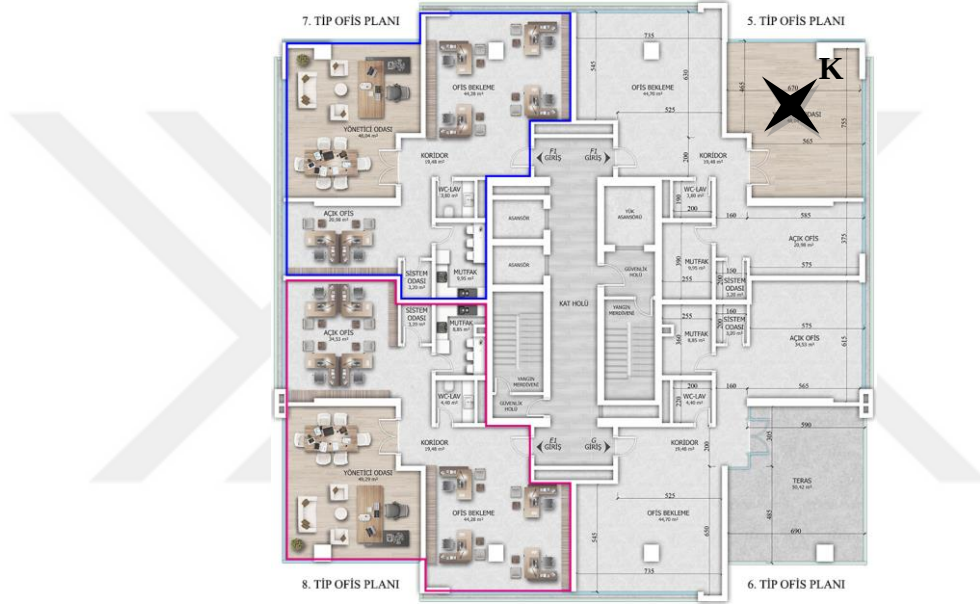


Şekil 3.9. Kentplaza Ofis kat planı 13. kat planı ve 14. kat planı (URL-17)

Kuzeybatı-kuzeydoğu yönüne bakan 5. tip ofis; yönetici odası, bekleme alanı, açık ofis alanı, mutfak, sistem odası, WC ve lavabodan oluşmaktadır. Beşinci tip ofisi önceki ofis tiplerinden ayıran en büyük özellik balkonunun bulunmaması ve yönetici odasında bulunan cam yüzeyin genişliğidir. Net alanı yaklaşık 145 m<sup>2</sup>’dir.

Güneydoğu-kuzeydoğu yönüne bakan 6. tip ofis üçüncü tip ofis ile aynı mekânlara sahiptir. Güneydoğu yönüne bakan tüm tip planlarında olduğu gibi bu tip planında da açık ofis alanı beşinci tip planına göre daha büyüktür. Yaklaşık olarak net alanı 160 m<sup>2</sup>’dir.

Şekil 3.10’da verilen 14. kat planında dört farklı ofis tipinden oluşan dört adet ofis bulunmaktadır. Tip 5 ve 6 olarak adlandırılan ofisler tekrar ederken yeni olarak 7. ve 8. tip ofis planları eklenmiştir. Diğer kat tiplerinden farklı olarak 4,8 m yüksekliği vardır. Dördüncü tip katın cephesinde toplam 154,44 m<sup>2</sup> duvar ve 373,68 m<sup>2</sup> cam yüzeyi bulunmaktadır. Kat cephesinde cam-duvar oranı yaklaşık %70’tir. Tüm kat tipleriyle kıyaslandığında bu kat tipinde cam yüzeyinde ve cam-duvar oranında artış olduğu görülmektedir. Duvar miktarı oldukça azalmıştır. Kat yüksekliğinin de artmasıyla cam yüzeyi duvar yüzeyinin iki katından daha fazla alan kaplamaktadır.



Şekil 3.10. Kentplaza Ofis kat planı 13. kat planı ve 14. kat planı (URL-17)

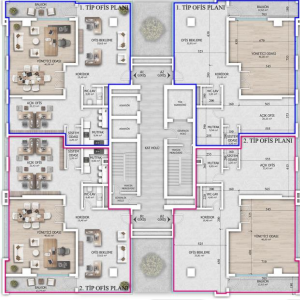
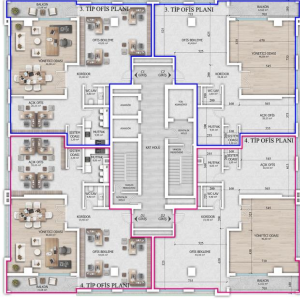
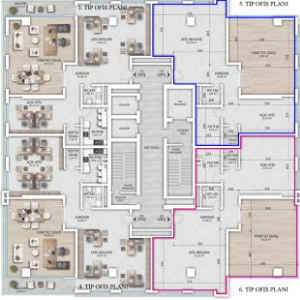
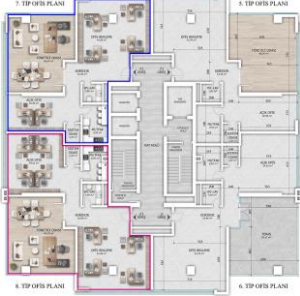
Güneybatı-kuzeybatı yönüne bakan 7. tip ofis; yönetici odası, bekleme alanı, açık ofis alanı, mutfak, sistem odası, WC ve lavabodan oluşmaktadır. Balkon bulunmayan ve yekpare camdan oluşan planıyla önceki plan tiplerinden farklılaşmaktadır. Yaklaşık olarak net alanı 150 m<sup>2</sup>’dir.

Güneybatı-güneydoğu yönüne bakan 8. tip ofis; daha büyük açık ofis alanına sahip olmasıyla beraber yedinci tip ofis ile aynı mekânlardan oluşmaktadır. Yaklaşık olarak net alanı 160 m<sup>2</sup>’dir.

Kentplaza Ofis Binası cephesinin cam-duvar oranı yaklaşık %44 olarak hesaplanmıştır. Simülasyon programında tüm bina ve her kat tipi ayrı olacak şekilde modellenmiştir. Birinci kat tipinde cam-duvar oranı %51, ikinci kat tipinde cam-duvar oranı %33, üçüncü kat tipinde cam-duvar oranı %55 ve dördüncü kat tipinde cam-duvar

oranı %70 olarak hesaplanmıştır. Akıllı cam enerji analizleri oluşturulurken işlem kolaylığı olması amacıyla tüm binanın cam duvar oranına en yakın orana sahip olan birinci kat tipi planından yararlanılacaktır. Tablo 3.4'te kat planların cam ve duvar verileri özetlenmiştir.

**Tablo 3.4.** Kentplaza Ofis Binası cam-duvar oranları özet tablosu

| Kat planı                                                                           | Uygulandığı katlar         | Bulunan ofis tipleri | Katın cam yüzeyi      | Katın duvar yüzeyi    | Cam-Duvar oranı |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Birinci Kat Tipi                                                                    |                            |                      |                       |                       |                 |
|    | 1, 2, 9, 10                | Tip 1                | 226,6 m <sup>2</sup>  | 214,84 m <sup>2</sup> | %51             |
|                                                                                     |                            | Tip 2                |                       |                       |                 |
| İkinci Kat Tipi                                                                     |                            |                      |                       |                       |                 |
|   | 3, 4, 5, 6, 7<br>8, 11, 12 | Tip 3                | 115,92 m <sup>2</sup> | 226,6 m <sup>2</sup>  | %33             |
|                                                                                     |                            | Tip 4                |                       |                       |                 |
| Üçüncü Kat Tipi                                                                     |                            |                      |                       |                       |                 |
|  | 13                         | Tip 3                | 184,32 m <sup>2</sup> | 150,41 m <sup>2</sup> | %55             |
|                                                                                     |                            | Tip 4                |                       |                       |                 |
|                                                                                     |                            | Tip 5                |                       |                       |                 |
|                                                                                     |                            | Tip 6                |                       |                       |                 |
| Dördüncü Kat Tipi                                                                   |                            |                      |                       |                       |                 |
|  | 14                         | Tip 5                | 373,68 m <sup>2</sup> | 154,44 m <sup>2</sup> | %70             |
|                                                                                     |                            | Tip 6                |                       |                       |                 |
|                                                                                     |                            | Tip 7                |                       |                       |                 |
|                                                                                     |                            | Tip 8                |                       |                       |                 |

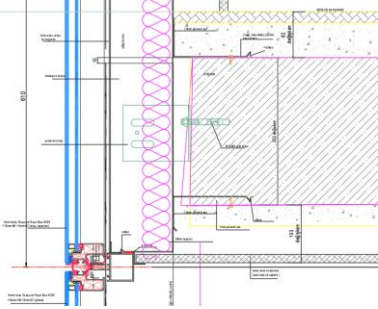
### 3.2.1. Bina yapı elemanı verileri

DEHA Grup'tan temin edilen çizim dosyaları ve Türk Standartları Enstitüsü'nde yer alan döşeme, duvar ve cam yapı elemanlarına ait verilerden derlenmiştir.

#### Döşeme

Tüm katlarda döşeme özellikleri aynıdır. Plak ve mantar döşemeler tercih edilmiştir. 30 cm döşeme kalınlığı bulunmaktadır. Tablo 3.5'te döşeme katmanlarıyla ilişkili bilgiler verilmiştir.

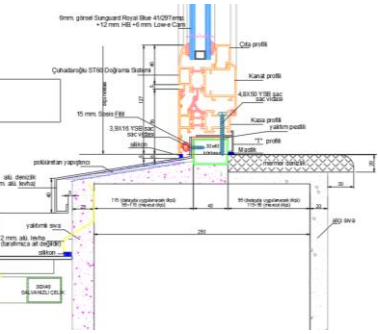
**Tablo 3.5.** Kentplaza Ofis Binası döşeme katmanları

| Detay Çizimi                                                                       | Katmanlar               | Kalınlık (mm) |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|
|  | Döşeme kaplaması        | 30            |
|                                                                                    | Şap                     | 50            |
|                                                                                    | Betonarme Döşeme        | 200           |
|                                                                                    | Sıva + boya             | 20            |
| U değeri                                                                           | 0,45 W/m <sup>2</sup> K |               |

#### Duvar

Duvar kalınlıkları 35, 30, 25 20, 15 ve 10 olarak değişmektedir. Dış duvar katmanları tablo 3.6'da verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Kentplaza Ofis Binası duvar katmanları

| Detay Çizimi                                                                        | Katmanlar                | Kalınlık (mm) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|
|  | Yalıtımlı sıva+ boya     | 25            |
|                                                                                     | Gaz beton                | 250           |
|                                                                                     | Alçı sıva + boya         | 20            |
| U değeri                                                                            | 0,432 W/m <sup>2</sup> K |               |



### Soğutma sistemi

Isıtma sistemiyle aynı olacak tüm ofisler kendi içinde bağımsız değişken gaz debili (VRV) klima sistemi ile soğutulmaktadır. Klasik klimalı sistemlere göre %25 enerji tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir (Ofis bloğu teknik bilgiler belgesi).

### Havalandırma sistemi

Mevcut durumda otopark katlarında havalandırma tesisatı bulunmaktadır ve bu tesisatla egzoz dumanlarının ofis katlarına çıkması engellenmiştir (Ofis bloğu teknik bilgiler belgesi). VRV klima sistemi ile ısıtma ve soğutma amacının yanında mekana temiz hava almak mümkündür. VRV klima sistemleriyle havalandırma da sağlanmaktadır (URL-18).

### Aydınlatma sistemi

Aydınlatma için enerji verimliliği yüksek ve dekorasyonla uyumlu balastlı armatürler kullanılmaktadır. Yangın yönetmeliği gereğince 1 saat kesintisiz yanabilen acil kitli aydınlatma armatürleri ve acil yönlendirme armatürleri (exit) tercih edilmiştir (Ofis bloğu teknik bilgiler belgesi).

### Çalışma saatleri

Ofis binası çalışma saatleri haftada 6 gün ve 12 saat olarak belirlenmiştir.

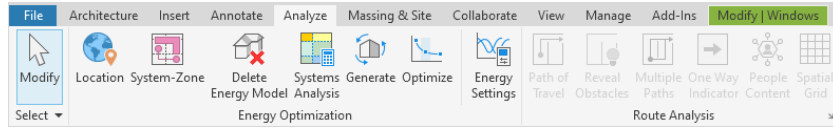
Deha Gruptan alınan bilgilere göre ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma için VRV klima sistemi kullanılmaktadır. Revit 2024 programının desteklediği merkezi değişken hava debili sistem (VAV) bina işletim sistem verileri olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.11’de Revit programında tanımlanan HVAC verileri görülmektedir.

| Building Data               |                                                          |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|
| Building Type               | Office                                                   |
| Building Operating Schedule | 12/6 Facility                                            |
| HVAC System                 | Central VAV, HW Heat, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff |
| Outdoor Air Information     | Edit...                                                  |

Şekil 3.11. Kabul edilen HVAC verileri (Revit, 2024)

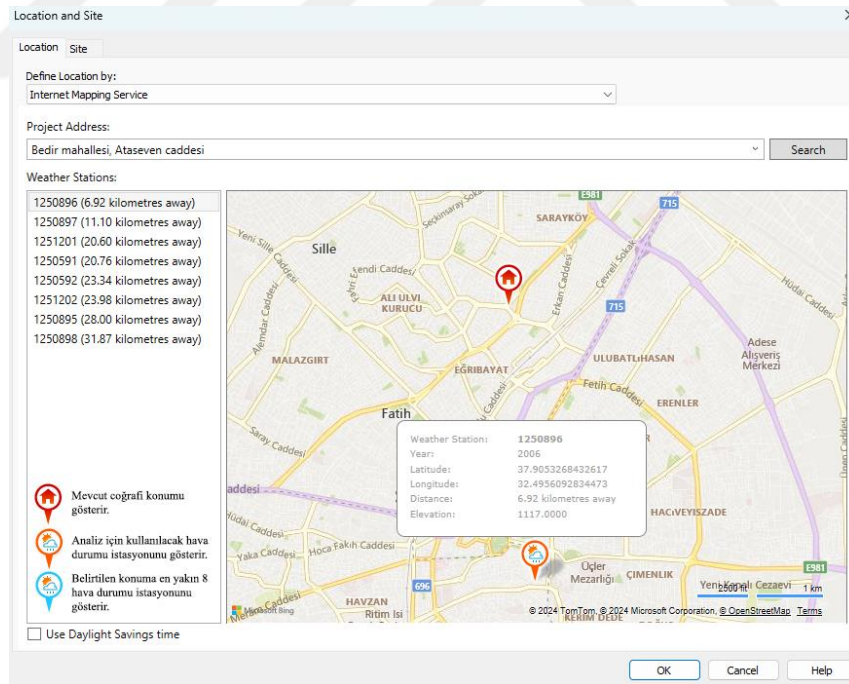
### 3.3. Bina Modelinin Oluşturulması

Revit programında modellemeye ilk olarak “Analyze” sekmesinde yer alan “Location” ve “Energy Settings” bölümlerine örnek ofis binasına ilişkin verilerin tanımlanmasıyla başlanmıştır. Şekil 3.12’de Revit “Analyze” menüsü verilmiştir.



Şekil 3.12. Revit “Analyze” menüsü

Proje konumun seçilmesiyle konuma en yakın 8 adet Hava Durumu İstasyonu listelenmektedir. Hava Durumu İstasyonu’nun seçilmesiyle küresel iklim veri tabanından gelen bilgiler Revit tarafından kullanılmaktadır. Ofis binasına en yakın olan istasyon seçilmiştir. Şekil 3.13’te “Location” seçimi gösterilmektedir. Yaz saati uygulaması bulunduğu durumlarda sol attaki kutucuk işaretlenmelidir.



Şekil 3.13. Revit “Location” seçimi

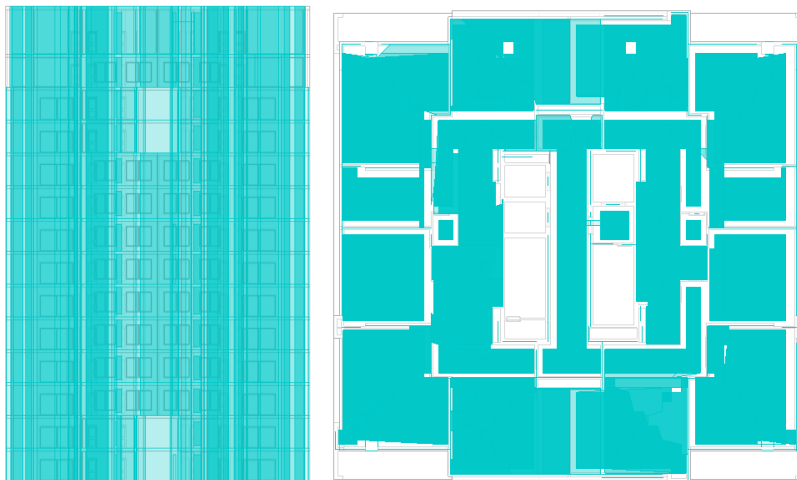
AutoCAD’den Revit’e aktarılan kat plan çizimlerine göre dış duvarlar, iç duvarlar, kolonlar, kapılar, camlar ve döşeme modellenmiştir. Çizim dosyalarında yer alan lobi, tesisat ve makine dairesi katı bina modellemesinde yer almamıştır. Kapılar

alüminyum doğramalı cam kapı şeklinde, döşemeler ise arakat döşemesi olarak belirlenmiştir. Enerji analizi için gerekli HVAC verileri Revit programındaki hazır verilerden projeye uygun olan bölüm seçilmiştir. Enerji analizi için kullanılacak bina modeli şekil 3.14’te gösterilmiştir.



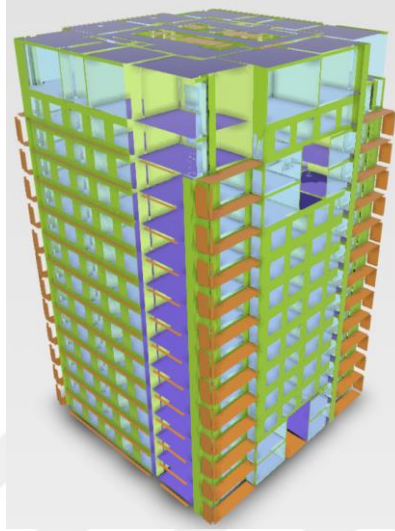
**Şekil 3.14.** Kentplaza Ofis Binası’nın modeli

Yapı elemanlarına dair diğer enerji verileri programa tanımlandıktan sonra “Energy Settings” bölümünde yer alan “Use Conceptual Masses and Building Elements” seçeneği seçilmiş ve “Analyze” sekmesinde bulunan “Create Energy Model” aracıyla bina kütesinin enerji modeli oluşturulmuştur. Şekil 3.15’te Bina enerji durumu verilmiştir. Tüm binanın üst üste gelen mekanlarında enerji alanlarının daha koyu turkuaz renkte olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.15.** Kentplaza Ofis Bina Enerji Modeli - Analytical Spaces

Bina yüzeylerinin enerji modelini yapmak için bina kütesinin enerji modeli oluşturulmuştur. “Analyze” sekmesinde bulunan “Generate” aracıyla bina verileri Autodesk Insight programına aktarılmıştır. Insight programında oluşturulan Kentplaza Ofis Binası enerji modeli şekil 3.16’da verilmiştir.



**Şekil 3.16.** Kentplaza Ofis Bina Enerji Modeli

Ofis binasının enerji modellemesi yapıldıktan sonra “Analyze” sekmesinde yer alan “Systems Analysis” aracıyla enerji hesaplaması için “Annual Building Energy Simulation” seçilerek yıllık bina enerji simülasyonu oluşturulmuştur. Revit programı OpenStudio ile iş birliği yaparak aylık ve yıllık olacak şekilde enerji kullanım grafikleri oluşturmuştur.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ofis binasının mevcut durumdaki enerji modellemesi ve enerji analizi yapıldıktan sonra tüm akıllı cam sistemler için SHGC ve U değerleri değiştirilerek yeniden enerji analizleri yapılmıştır.

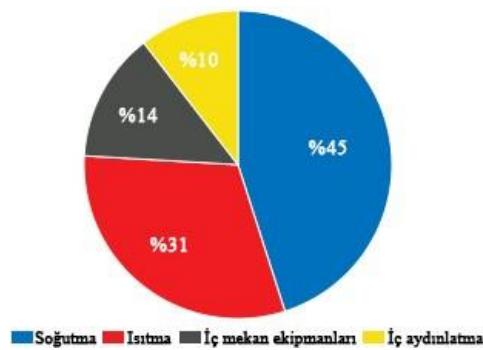
##### 4.1. Mevcut Cam Sistemin Enerji Analizi

Konya Kentplaza Ofis Binası'nda mevcut durumda uygulanan camın SHGC ve U değerini belirlenmesi için kesit ve detay çizimlerinden yararlanılmıştır. Mevcut camların Low-e cam olduğu tespit edilmiştir. Low-e cam için gerekli veriler, Revit programında sunulan hazır seçeneklerden kullanılmıştır. Şekil 4.1'de mevcut durum cam sistem verilerine seçimi görülmektedir.

| Analytical Properties         |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Analytic Construction         | Low-E double glazing - domestic |
| Define Thermal Properties by  | Schematic Type                  |
| Visual Light Transmittance    | 0.760000                        |
| Solar Heat Gain Coefficient   | 0.650000                        |
| Thermal Resistance (R)        | 0.4515 (m <sup>2</sup> ·K)/W    |
| Heat Transfer Coefficient (U) | 2.2147 W/(m <sup>2</sup> ·K)    |

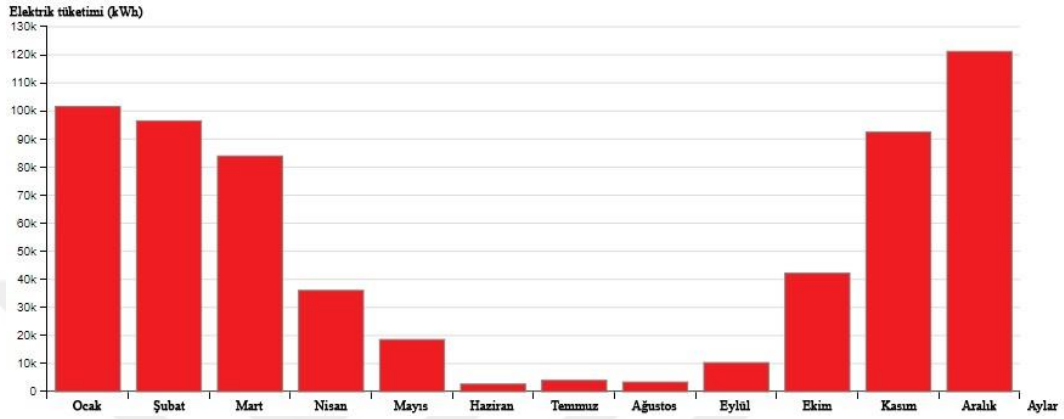
Şekil 4.1. Mevcut durum cam sistem verileri

14 katlı olarak modellenen binanın soğutma tüketimi tüm enerji tüketimleri arasında %45'lik oranla en yüksek enerji tüketimine sahip olmuştur. Isıtma tüketimi %31'lik oranıyla ikinci sırada yer almaktadır. Toplam elektrik tüketimi ise %24'lük oranıyla son sırada yer almaktadır. Yıllık enerji tüketim oranları şekil 4.2'de yer alan daire grafiğinde görsel olarak sunulmuştur.



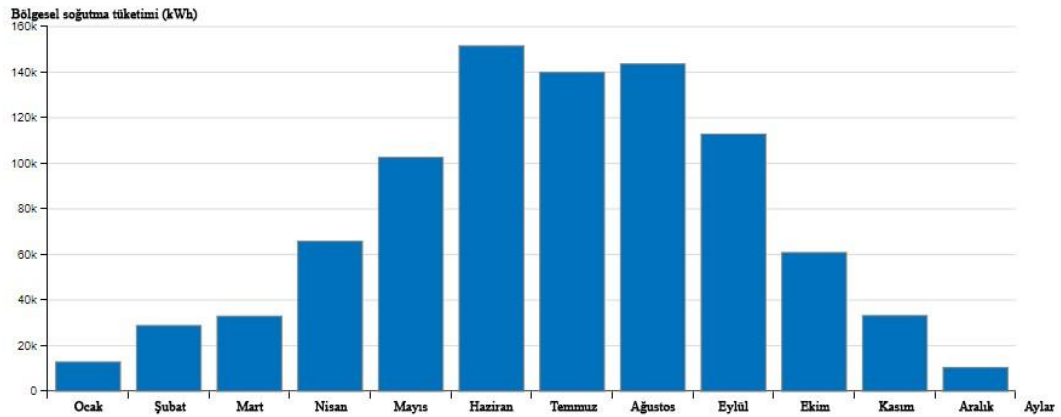
Şekil 4.2. Yıllık enerji tüketim oranları

Modellenen binanın aylık ısıtma tüketimi şekil 4.3'te verilen grafikte gösterilmiştir. En fazla ısıtma tüketim Aralık ayında 121.224,44 kWh olarak ölçülmüştür. Haziran ayında ise 2.699,74 kWh ile en düşük ısıtma tüketimi hesaplanmıştır. Konya ilinin ısıtma günleri ve ayları dikkate alındığında hesaplamaların uygun olduğu görülmektedir.



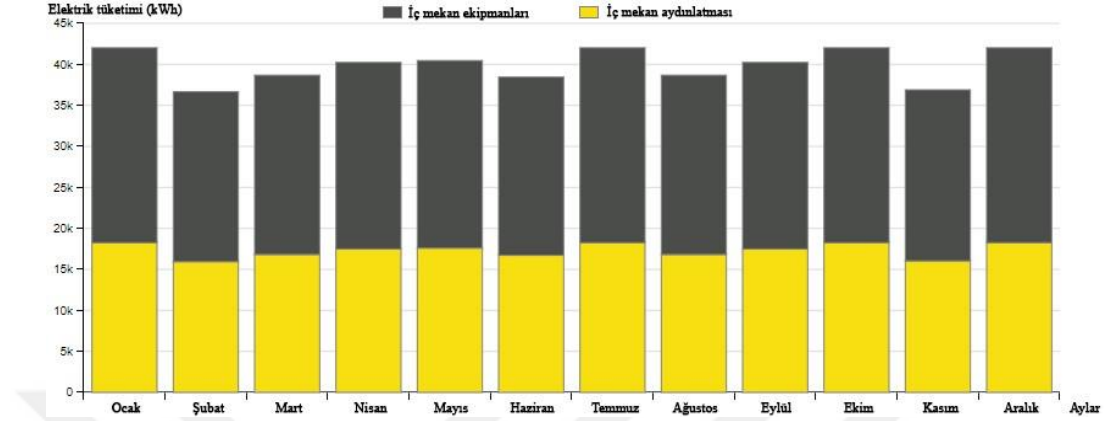
Şekil 4.3. Low-e camın aylık ısıtma tüketim grafiği

14 katlı olarak modellenen binanın en fazla soğutma tüketimi Haziran ayında 151.519,44 kWh olarak ölçülmüş ve Aralık ayında 10.352,61 kWh ile en düşük soğutma tüketimi hesaplanmıştır. Revit programında yapılan enerji simülasyon hesaplamasının Konya ilinin soğutma gün aylarına uygun olduğu görülmektedir. Low-e camları olan mevcut binanın aylık soğutma tüketimi şekil 4.4'te verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Low-e camın aylık soğutma tüketim grafiği

14 katlı olarak modellenen binanın aylık elektrik tüketimi dengeli bir dağılım sergilemiştir. Toplam elektrik tüketimi 478.392,81 kWh olarak ölçülmüştür. Şekil 4.5'te aylık elektrik tüketim grafiği verilmiştir.



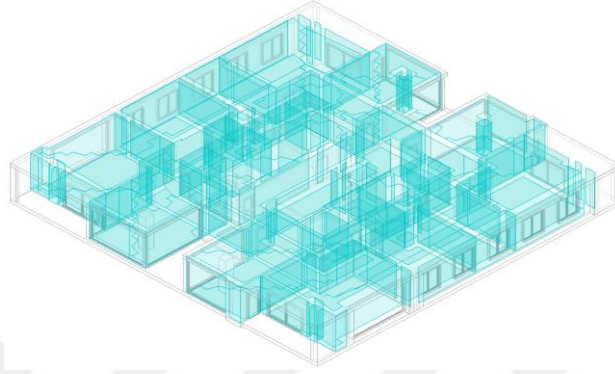
Şekil 4.5. Low-e camın aylık elektrik tüketim grafiği

Yıllık bina enerji simülasyonuna bakıldığında mevcut durum (Low-e camların) ısıtma tüketiminin 612.989 kWh ve soğutma tüketiminin 895.228 kWh olduğu görülmüştür. Elektrik yüklerine bakıldığında ise iç aydınlatma elemanlarının (207.997 kWh) ve iç mekan ekipmanlarının (270.397 kWh) toplamda 478.394 kWh tüketim yaptığı görülmektedir.

Kış aylarında soğutma ve yaz aylarında ise ısıtma verilerinin 0 kWh olmamasının sebebi olarak cam yüzeyi boyutunun büyük olması gösterilebilir. Ek olarak iç mekan konforunu aynı düzeyde tutmak için VRC klimalar ısıtma ve soğutma sistemlerini aynı anda çalıştırabilmektedir. Aşırı soğutma yapmamak için yaz aylarında ısıtma sistemi de devreye girebilmektedir (URL-19). Bu sebeple yaz aylarında iç mekanda ani ısı kaybı yaşanması ısıtma sistemini çalıştırabildiği ve ısıtma tüketiminin 0 kWh çıkmamasında etken olduğu düşünülmektedir.

### Enerji analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Tüm katların yer aldığı AutoCAD çizim dosyasından birinci kat planı farklı kaydedilerek Revit'e aktarılmış ve modellenmiştir. Şekil 4.1'de gösterilen Low-e cam özellikleri sistemde seçilmiştir. Şekil 4.6'da birinci kat planının yıllık enerji tüketimini hesaplamak için oluşturulan enerji modeli verilmiştir.



Şekil 4.6. Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji modeli - Analytical Spaces

Birinci kat mevcut cam durumunun yıllık enerji simülasyonu sonucunda ısıtma tüketiminin 47.892 kWh, soğutma tüketiminin 48.328 kWh ve toplam elektrik tüketiminin 32.642 kWh olduğu görülmüştür. Tüm enerji tüketimleri arasında soğutma ve ısıtma %38'erlik oranlara sahiptir. Elektrik tüketimi ise %24'lük oranla son sırada yer almaktadır. Tablo 4.1'de birinci kat Low-e camların yıllık enerji simülasyonu analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.1. Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji analizleri (Low-e cam)

|          | Grafikler | En fazla tüketim<br>(kWh)              | En az tüketim<br>(kWh) | Yıllık tüketim<br>(kWh) |
|----------|-----------|----------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Isıtma   |           | 11.027,94<br>(Aralık)                  | 19,0<br>(Ağustos)      | 47.891,57               |
| Soğutma  |           | 9.731,17<br>(Haziran)                  | 303,28<br>(Aralık)     | 48.328,97               |
| Elektrik |           | 2.867.06<br>(Ocak, Haziran,<br>Aralık) | 2501,45<br>(Şubat)     | 32.640,69               |

## 4.2. Akıllı Cam Kullanım Senaryolarının Enerji Analizi

Akıllı cam senaryoları oluşturulurken camların sürekli saydam olduğu varsayılarak bu durumdaki SHGC ve U değerleri Revit'e aktarılmıştır. Ancak aktif akıllı cam sistemlerde yer alan LC ve SPD camlar, saydam durumunu sürdürebilmek için elektrik akımına ihtiyaç duymaktadır. Sistemin çalışması için gereken elektrik tüketimi manuel olarak hesaplanıp aylık ve yıllık elektrik tüketim değerine eklenecektir. Bu sayede LC ve SPD camların enerji tüketimine ilişkin daha kapsamlı bir senaryo oluşturulmuş olacaktır.

### 4.2.1. Termokromik cam sistemin enerji analizi

Birinci kat planı farklı kaydedilerek yeni bir dosya oluşturulmuştur. Revit dosyasında var olan enerji modeli kaldırılmıştır. Bu aşamalar atlandığı takdirde yıllık enerji tüketim analiz sonuçlarında doğru olmayan verilere ulaşılmaktadır. Bina modellemesi üzerinde yer alan tüm cam tiplerinin SHGC ve U değerleri tablo 2.13'te derlenen termokromik cam sistem verilerine göre Revit programına tanımlanmıştır. Şekil 4.7'de değiştirilen termokromik cam sistem değerleri görülmektedir. "Analyze" sekmesinde yer alan "Create Energy Model" aracıyla tekrar bina enerji modeli oluşturulmuştur. Daha sonra "Systems Analysis" aracıyla yıllık bina enerji simülasyonu elde edilmiş ve enerji tüketim verilerine ulaşılmıştır.

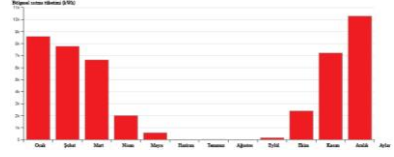
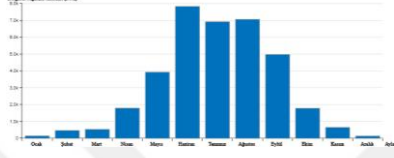
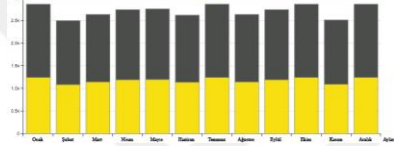
| Analytical Properties         |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Analytic Construction         | <None>                       |
| Define Thermal Properties by  | User Defined                 |
| Visual Light Transmittance    | 0.760000                     |
| Solar Heat Gain Coefficient   | 0.370000                     |
| Thermal Resistance (R)        | 0.7353 (m <sup>2</sup> .K)/W |
| Heat Transfer Coefficient (U) | 1.3600 W/(m <sup>2</sup> .K) |

Şekil 4.7. Termokromik cam sistem verilerinin Revit programına aktarılması

Termokromik cam sistemin yıllık enerji simülasyon analizi sonucunda ısıtma tüketimi 45.756 kWh, soğutma tüketimi 36.200 kWh ve toplam elektrik tüketiminin 32.642 kWh olduğu görülmüştür. Tüm enerji tüketimleri arasında soğutma %40'lık, ısıtma %32'lik ve elektrik %28'lik orana sahiptir. Tablo 4.2'de birinci katta

termokromik cam kullanılmasıyla oluşturulan senaryonun yıllık bina enerji simülasyon analiz sonuçları verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji analizleri - Termokromik cam

|                 | Grafikler                                                                         | En fazla tüketim (kWh)              | En az tüketim (kWh) | Yıllık tüketim (kWh) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Isıtma</b>   |  | 10.298,11<br>(Aralık)               | 16,18<br>(Ağustos)  | 45.755,39            |
| <b>Soğutma</b>  |  | 7.828,28<br>(Haziran)               | 135,65<br>(Aralık)  | 36.201,02            |
| <b>Elektrik</b> |  | 2.867,06<br>(Ocak, Haziran, Aralık) | 2501,45<br>(Şubat)  | 32.640,69            |

#### 4.2.2. Fotokromik cam sistemin enerji analizi

Fotokromik cam sistem enerji analizi için termokromik cam sistem analizinde uygulanan tüm aşamalar tekrarlanmıştır. Tablo 2.13'te yer alan fotokromik cam verileri revit programında modellenen tüm cam sistemlere aktarılmıştır. Şekil 4.8'de fotokromik cam sistem verilerinin uygulanışı görülmektedir. Yıllık bina enerji simülasyonu yapıldıktan sonra tüketim verileri hesaplanmıştır.

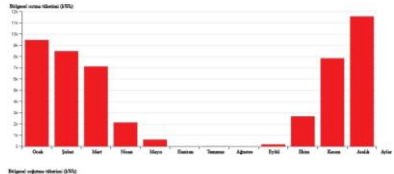
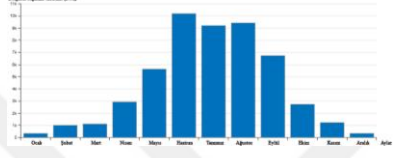
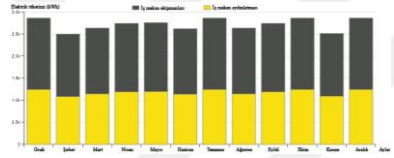
| Analytical Properties         |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Analytic Construction         | <None>                       |
| Define Thermal Properties by  | User Defined                 |
| Visual Light Transmittance    | 0.760000                     |
| Solar Heat Gain Coefficient   | 0.730000                     |
| Thermal Resistance (R)        | 0.3509 (m <sup>2</sup> ·K)/W |
| Heat Transfer Coefficient (U) | 2.8500 W/(m <sup>2</sup> ·K) |

**Şekil 4.8.** Fotokromik cam sistem verilerinin Revit programına aktarılması

Fotokromik cam sistemin yıllık enerji simülasyon analizi sonucunda ısıtma tüketiminin 50.342 kWh ve soğutma tüketiminin 50.869 kWh olduğu görülmüştür. Isıtma ve soğutma tüm enerji tüketimleri arasında %38'lik orana sahiptir. Toplam elektrik tüketiminin ise 32.642 kWh olduğu görülmüştür. Tüm enerji tüketimleri

arasında elektrik %24'lük orana sahiptir. Tablo 4.3'te birinci katta fotokromik cam kullanılmasıyla oluşturulan senaryonun aylık ve yıllık enerji simülasyon analiz sonuçları gösterilmiştir.

**Tablo 4.3.** Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji analizleri - Fotokromik cam

|          | Grafikler                                                                          | En fazla tüketim (kWh)              | En az tüketim (kWh) | Yıllık tüketim (kWh) |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|
| Isıtma   |   | 11.597,61<br>(Aralık)               | 22,64<br>(Ağustos)  | 50.341,82            |
| Soğutma  |   | 10.189,89<br>(Haziran)              | 333,01<br>(Ocak)    | 50.869,25            |
| Elektrik |  | 2.867.06<br>(Ocak, Haziran, Aralık) | 2501,45<br>(Şubat)  | 32.640,69            |

#### 4.2.3. Elektrokromik cam sistemin enerji analizi

Revit programında modellenen tüm cam sistemlerin SHGC ve U değerleri elektrokromik cam verileriyle değiştirilmiştir. Cam sistemin saydam kalması için herhangi bir elektrik akımı gerekmemektedir. Şekil 4.9'da EC verileri gösterilmiştir.

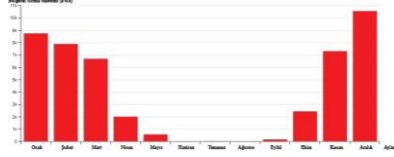
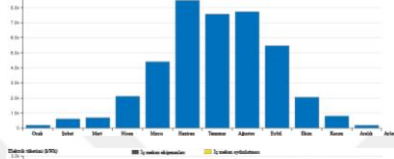
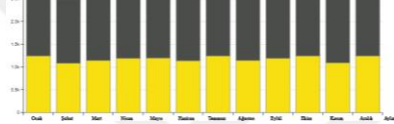
| Analytical Properties         |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Analytic Construction         | <None>                       |
| Define Thermal Properties by  | User Defined                 |
| Visual Light Transmittance    | 0.760000                     |
| Solar Heat Gain Coefficient   | 0.460000                     |
| Thermal Resistance (R)        | 0.6061 (m <sup>2</sup> ·K)/W |
| Heat Transfer Coefficient (U) | 1.6500 W/(m <sup>2</sup> ·K) |

**Şekil 4.9.** Elektrokromik cam sistem verilerinin Revit programına aktarılması

EC sistemin yıllık enerji simülasyon analizi incelendiğinde ısıtma tüketiminin 46.492 kWh ile toplam enerji tüketiminde %39 oranı ile ilk sırada olduğu gözlenmiştir. Soğutma tüketimi 40.339 kWh ile %30'luk oranla ikinci sırada yer almaktadır. %22 oranla son sırada bulunan elektrik 32.642 kWh tüketimi bulunmaktadır. Birinci kat

elektrokromik camların aylık ve yıllık olmak üzere bina enerji simülasyon analizinin sonuçları tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji analizleri - Elektrokromik cam

|                 | Grafikler                                                                         | En fazla tüketim (kWh)              | En az tüketim (kWh) | Yıllık tüketim (kWh) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Isıtma</b>   |  | 10.560,64<br>(Aralık)               | 16,38<br>(Ağustos)  | 46.490,64            |
| <b>Soğutma</b>  |  | 8.496,67<br>(Haziran)               | 187,53<br>(Aralık)  | 40.338,56            |
| <b>Elektrik</b> |  | 2.867,06<br>(Ocak, Haziran, Aralık) | 2501,45<br>(Şubat)  | 32.640,69            |

#### 4.2.4. Sıvı kristal cam sistemin enerji analizi

Enerji simülasyon analizi için diğer akıllı cam sistemlerinde takip edilen aşamalar uygulanmıştır. Revit programında sıvı kristal camların enerji analizi için SHGC ve U değerleri şekil 4.10'da verildiği gibi değiştirilmiştir.

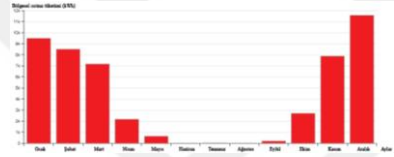
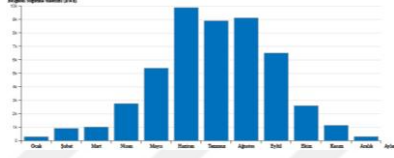
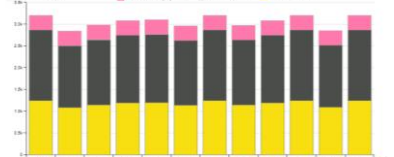
| Analytical Properties         |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Analytic Construction         | <None>                       |
| Define Thermal Properties by  | User Defined                 |
| Visual Light Transmittance    | 0.760000                     |
| Solar Heat Gain Coefficient   | 0.690000                     |
| Thermal Resistance (R)        | 0.3584 (m <sup>2</sup> ·K)/W |
| Heat Transfer Coefficient (U) | 2.7900 W/(m <sup>2</sup> ·K) |

**Şekil 4.10.** LC cam sistem verilerinin Revit programına aktarılması

LC cam sistemin ısıtma tüketimi 50.489 kWh olarak hesaplanmış ve %37'lik oranla tüm enerji tüketimleri arasında ilk sırada yer almıştır. Soğutma tüketimi %36'lık oranıyla 48,192 kWh olarak hesap edilmiştir. Sıvı kristal camın şeffaf kalabilmesi için gereken elektrik enerjisi hesaplanarak toplam enerji tüketim verilerine eklenmiştir. Bu hesaplama yapılırken önce bir yılda işe gidilen gün sayısı belirlenmiştir. Bir yıl boyunca cam sistemin kaç saat çalışması gerektiğini hesaplamak için yıllık çalışma gün miktarı

(314 gün) ve günlük çalışma saati (12 saat) çarpılmıştır. Cam sistemin yüzey alanı (226,6 m<sup>2</sup>) başına harcanan elektrik tüketimi (5 W/m<sup>2</sup>) ve toplam çalışma saati (3.768 saat) çarpılarak sistemin bir yıl boyunca saydam olması için harcanan elektrik tüketimi (4.271 kWh) bulunmuştur. İç mekan aydınlatma tüketiminin (14.192 kWh), iç mekan ekipman tüketimlerinin (18.450 kWh) ve sistemin saydam kalması için harcanan elektrik tüketiminin (4.271 kWh) toplamı 36.912 kWh olarak ölçülmüştür ve %27'lik oranıyla simülasyon analizinin yıllık enerji tüketiminde sonuncu sırada yer almaktadır. Tablo 4.5'te birinci kat LC camların enerji simülasyon analiz sonuçları sunulmuştur.

**Tablo 4.5.** Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji analizleri - Sıvı kristal cam

|          | Grafikler                                                                           | En fazla tüketim (kWh) | En az tüketim (kWh) | Yıllık tüketim (kWh) |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
| Isıtma   |    | 11.577,78<br>(Aralık)  | 25,29<br>(Ağustos)  | 50.489,08            |
| Soğutma  |   | 9.883,0<br>(Haziran)   | 298,36<br>(Ocak)    | 48.852,44            |
| Elektrik |  | 3.234,06<br>(Ocak)     | 2.341,45<br>(Şubat) | 36.911,69            |

#### 4.2.5. Asılı parçacıklı cam sistemin enerji analizi

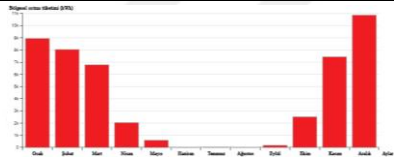
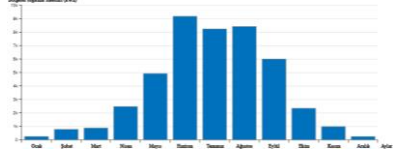
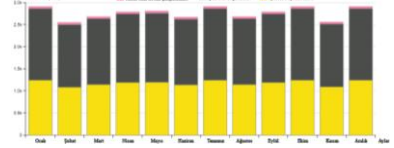
Enerji simülasyon analizi için diğer akıllı cam sistemlerinde takip edilen aşamalar, asılı parçacıklı cam sistemlerde de uygulanmıştır. Asılı parçacıklı camların enerji analizi için Revit programında modellenen camların SHGC ve U değerleri şekil 4.11'de verildiği gibi değiştirilmiştir.

| Analytical Properties         |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Analytic Construction         | <None>                       |
| Define Thermal Properties by  | User Defined                 |
| Visual Light Transmittance    | 0.760000                     |
| Solar Heat Gain Coefficient   | 0.570000                     |
| Thermal Resistance (R)        | 0.5025 (m <sup>2</sup> ·K)/W |
| Heat Transfer Coefficient (U) | 1.9900 W/(m <sup>2</sup> ·K) |

**Şekil 4.11.** Asılı parçacıklı cam sistem verilerinin Revit programına aktarılması

Isıtma tüketimi tüm enerji tüketimleri arasında %38'lik oranıyla 47.419 kWh olarak hesaplanmıştır. Soğutma ise %36'lık oranıyla ikinci sırada yer almakta ve 44.819 kWh tüketimde bulunmaktadır. Asılı parçacıklı camın şeffaf kalabilmesi için gereken elektrik enerjisi hesaplanarak toplam enerji tüketim verilerine eklenmiştir. Bu hesaplama yapılırken sıvı kristal cam sistemde yapılan işlem aynen tekrar edilir. Tek fark cam sistemin yüzey alanı başına harcanan elektrik tüketimi ( $0,55 \text{ W/m}^2$ ) olarak görülmektedir. Sistemin bir yıl boyunca saydam olması için harcanan elektrik tüketimi 467 kWh olarak bulunmuştur. İç mekan aydınlatma tüketiminin (14.192 kWh), iç mekan ekipman tüketimlerinin (18.450 kWh) ve sistemin saydam kalması için harcanan elektrik tüketiminin (467 kWh) toplamı 33.109 kWh olarak ölçülmüştür ve %26'lık oranıyla simülasyon analizinin yıllık enerji tüketiminde sonuncu sırada yer almaktadır. Birinci kat asılı parçacıklı camların yıllık enerji analiz sonuçları tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Kentplaza Ofis Binası birinci kat enerji analizleri - Asılı parçacıklı cam

|          | Grafikler                                                                           | En fazla tüketim (kWh) | En az tüketim (kWh) | Yıllık tüketim (kWh) |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
| Isıtma   |  | 10.855,14<br>(Aralık)  | 18,95<br>(Ağustos)  | 47.419,01            |
| Soğutma  |  | 9.191,92<br>(Haziran)  | 251,53<br>(Aralık)  | 44.820,66            |
| Elektrik |  | 2.907,06<br>(Ocak)     | 2538,45<br>(Şubat)  | 33.108,69            |

#### 4.3. Mevcut Durum ve Senaryoların Enerji Analizi Karşılaştırması

Mevcut cam sistemin ve oluşturulan senaryoların enerji harcama miktarları karşılaştırılmıştır. Bu analizle daha az enerji tüketen cam sistemlerin, termokromik ve elektrokromik malzeme entegre edilen cam sistemler olduğu belirlenmiştir. Fotokromik malzeme entegre edilerek oluşturulan cam sistemler ise diğer cam sistemlere göre da fazla enerji tüketmektedir. Elektrik tüketimi değerlendirildiğinde sıvı kristal cam sistemlerin en fazla tüketime sahip olduğu gözlenmiştir.

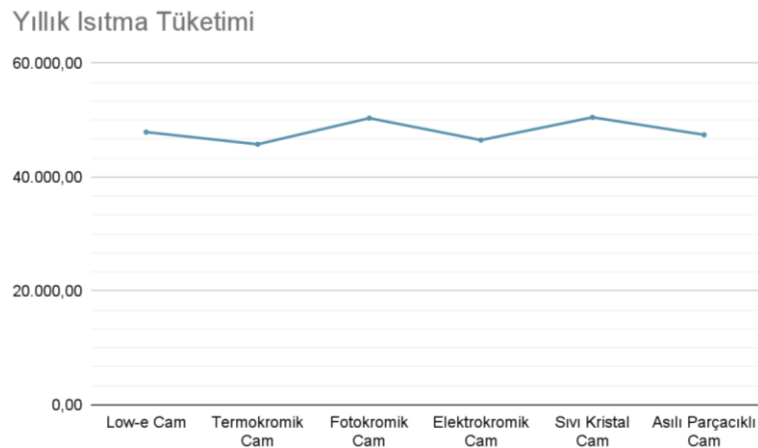
Birinci kat bazında oluşturulan yıllık bina enerji simülasyonu sonuçları tablo 4.7’de verilmiştir.

**Tablo 4.7.** Cam sistemlerin enerji tüketim grafiği

| SHGC değeri | U değeri (W/m <sup>2</sup> K) | Malzeme              | Isıtma tüketimi (kWh) | Soğutma tüketimi (kWh) | Elektrik tüketimi (kWh) |
|-------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| 0,65        | 2,2147                        | Low-e cam            | 47.891,57             | 48.328,97              | 32.640,69               |
| 0,37        | 1,36                          | Termokromik cam      | 45.755,39             | 36.201,02              | 32.640,69               |
| 0,73        | 2,85                          | Fotokromik cam       | 50.341,82             | 50.869,25              | 32.640,69               |
| 0,46        | 1,65                          | Elektrokromik cam    | 46.490,64             | 40.338,56              | 32.640,69               |
| 0,69        | 2,79                          | Sıvı kristal cam     | 50.489,08             | 48.852,44              | 36.911,69               |
| 0,57        | 1,99                          | Asılı parçacıklı cam | 47.419,01             | 44.820,66              | 33.108,69               |

#### 4.4. Bölüm Değerlendirmesi

Kentplaza Ofis Binası’nın birinci katı için yapılan analiz sonuçları cam-duvar oranları dikkate alınarak tekrar hesaplanmış ve bu süreç sonucunda senaryoları oluşturulmuş cam sistemlerin bina bazında yıllık tüketim miktarları hesaplanmıştır. Cam sistemlerin yıllık ısıtma tüketim miktarları şekil 4.12’de verilmiştir.

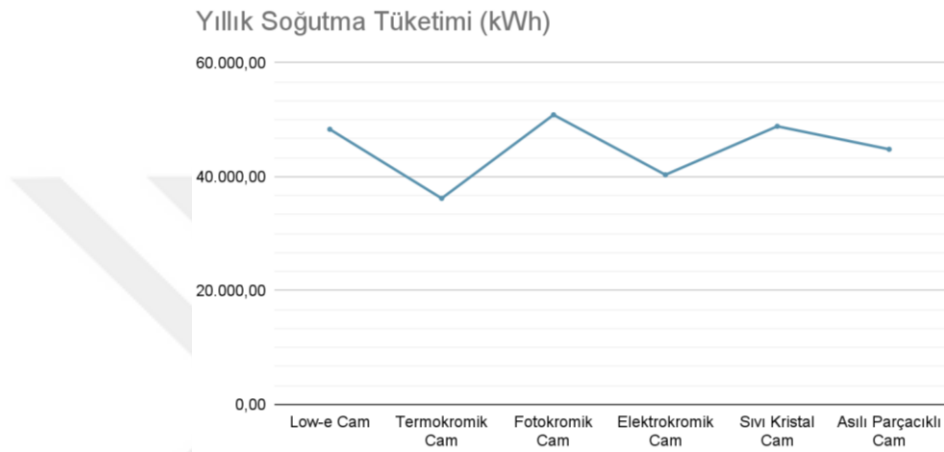


**Şekil 4.12.** Kentplaza Ofis Binası üzerinde kullanılan cam sistemlerin ısıtma tüketimi ilişkisi

Isıtma tüketimi açısından değerlendirilen cam sistemlerin en olumlu alternatifi, termokromik cam sistem olarak belirlenmiştir. Yıllık ısıtma tüketimi 45.755,39 kWh

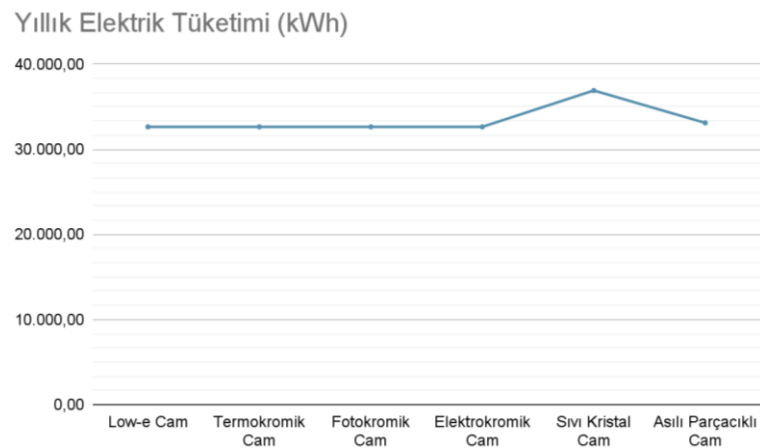
olarak hesaplanmıştır. Sıvı kristal cam sistem ise 50.489,38 kWh değeriyle yıllık ısıtma tüketimi bakımından en olumsuz alternatif senaryo olmuştur.

Termokromik cam sistemin soğutma tüketimi incelendiğinde cam sistemler arasında en olumlu alternatif olarak belirlenmiştir ve yıllık soğutma tüketimi ise 36.201,02 kWh olarak hesaplanmıştır. Soğutma tüketimi bakımından en olumsuz senaryo 50.869,25 kWh değeriyle fotokromik cam sistem olarak görülmektedir. Yıllık bina soğutma tüketim miktarları şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Kentplaza Ofis Binası üzerinde kullanılan cam sistemlerin soğutma tüketimi ilişkisi

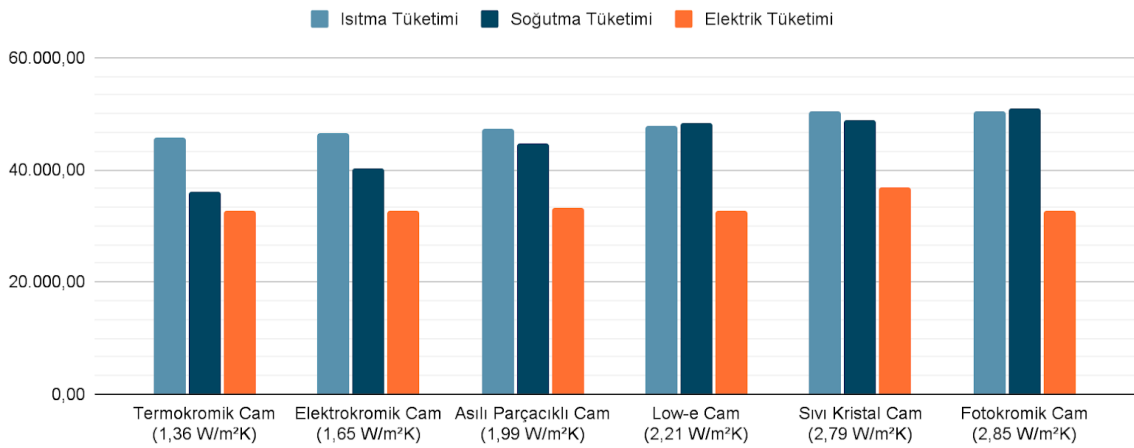
Sıvı kristal cam sistem, yıllık toplam elektrik tüketimi açısından 36.911,69 kWh ile en olumsuz cam alternatifi olarak belirlenmiştir. Yıllık bina elektrik tüketim miktarları şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Kentplaza Ofis Binası üzerinde kullanılan cam sistemlerin elektrik tüketimi ilişkisi

3. derece gün bölgesi için tavsiye edilen cam sistem U değeri en fazla 2,4 W/m<sup>2</sup>K olarak belirlenmiştir (TS 825). Şekil 4.15'te verilen grafik incelendiğinde 3. derece gün bölgesi için en uygun cam sistem alternatiflerinin termokromik (U değeri 1,36 W/m<sup>2</sup>K) ve elektrokromik (U değeri 1,65 W/m<sup>2</sup>K) cam sistemler olduğu görülmektedir. U değerleri ve enerji tüketimlerinin arasında orantı olduğu gözlenmiştir. En düşük U değerine sahip termokromik cam sistemlerin ısıtma ve soğutma dönemleri boyunca en az enerji tüketimi yaptığı görülmektedir. Bu veriler dikkate alındığında U değeri, 3. iklim bölgesinin tavsiye edilen U değerinden (2,4 W/m<sup>2</sup>K) daha fazla olan fotokromik (U değeri 2,85 W/m<sup>2</sup>K) cam sistemler ise en fazla enerji tüketimi sağlayan sistem olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla 3. iklim bölgesi için kullanımı uygun bulunmamıştır. Yıllık bina enerji tüketim miktarlarının, SHGC ve U değeriyle olan ilişkisi şekil 4.15'te verilmiştir.

Yıllık Tüketimler (kWh)



Şekil 4.15. Kentplaza Ofis Binası üzerinde kullanılan cam sistemlerin U değeri ile tüketim ilişkisi

Yapılan simülasyon analizi ile çalışmanın problemi olarak belirlenen “Akıllı cam sistemlerin enerji verimliliğine etkisi” incelenmiştir. Mevcut Low-e cam U değerinin 2,21 W/m<sup>2</sup>K olduğu dikkate alınır termokromik, elektrokromik ve asılı parçacıklı cam sistemlerin 3. iklim bölgesi için en olumlu akıllı cam alternatifleri olduğu saptanmıştır. Alternatif olarak sunulan akıllı cam sistemlerin çift cam üzerine film kaplama yapıldığı durumdaki U değerleri ile hesaplama yapılmıştır. Dolayısıyla mevcut cam sisteme (Low-e) uygulanan ve akıllı malzemelerden üretilen film kaplamalarının, hesaplanan tüketim miktarlarından daha az enerji tüketeceği düşünülmektedir.

Termokromik cam sistemin mevcut Low-e cam sisteme göre daha az enerji tüketiminde bulunduğu Şekil 4.15'te verilen grafikte görülmektedir. Isıtma tüketiminde 2.136,18 kWh ile mevcut cam sisteme göre %4,4 daha az enerji tüketmektedir. Soğutma tüketiminde 12.127,95 kWh ile mevcut cam sisteme göre %25,0 daha az enerji tüketmektedir. Toplam enerji tüketimini ise %14,8 oranında azalttığı görülmektedir. Ancak bu hesaplamalara termokromik cam sistemlerin karardığı durumlar dahil edilmemiştir. 25 derecenin üstünde hava sıcaklığına ulaşıldığında otomatik olarak kararacağından SHGC değerinde azalma meydana gelmektedir. Isıtma ve soğutma açısından büyük miktarda değişiklik olmasa da iç mekan aydınlatması kullanılabileceğinden elektrik enerjisi tüketiminde artış olabileceği gözden kaçırılmamalıdır.

Elektrokromik cam sistemler mevcut Low-e cam sisteme göre daha az enerji tüketmektedir. Isıtmada 1.400,93 kWh ile mevcut cam sisteme göre %2,9 daha az enerji tükettiği ve soğutmada 7.990,41 kWh ile mevcut cam sisteme göre %16,5 daha az enerji tükettiği görülmektedir. Toplam enerji tüketimini ise %9,7 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Bu hesaplamalara elektrokromik cam sistemlerin karardığı durumlar dahil edilmediğinden gerçek zamanlı kullanımda farklı sonuçlar gözlenebilir. Manuel olarak karartıldığı durumda U değeri değişmese de SHGC değeri büyük miktarda azalır. Bu durumda ise ısıtma ile soğutma tüketimi açısından azalış olabileceği ve iç mekan aydınlatması kullanılacağı için elektrik tüketiminde artış olabileceği ön görülmektedir.

Erdemli (2012) çalışmasında %60 cam-duvar alanı bulunan 8 katlı ofis binasının 3. iklim bölgesinde yer aldığı duruma göre enerji analizi yapılmıştır. Elektrokromik cam sistemin tek cam sisteme göre %43 enerji tasarrufu sağladığı saptanmıştır. EC cam sistemin çift katmanlı cam sisteme göre %15 daha az enerji harcadığı görülmektedir. Cam-duvar oranı %60 olan ofis binasının %15 oranında tasarrufun sağlanması ve %51 cam-duvar oranı bulunan birinci kat tipinin %9,7 oranında tasarruf sağladığının hesaplanması ile çalışma sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir.

Asılı parçacıklı cam sistemler ısıtmada 472,56 kWh ile mevcut cam sisteme göre %0,9 daha az enerji tüketmektedir. Soğutma tüketimini 3.508,31 kWh azaltmış ve mevcut Low-e cam sisteme göre %7,2 daha az enerji tüketmektedir. Elektrik tüketimini 468,00 kWh artırmaktadır. Toplam enerji tüketimini ise %4,1 oranında azalttığı görülmektedir. Şekil 4.15'te mevcut duruma göre asılı parçacıklı cam sistemin daha az enerji tükettiği görülmektedir. Hesaplamalara asılı parçacıklı cam sistemlerin sadece saydam olduğu durumlar dahil edilmiştir. Bu durum elektrik tüketimini ve SHGC

değerini artırmıştır. Sistem aktif olmadığında manzara ve ışık geçirgenliği büyük oranda engellenmektedir. Isıtma ve soğutma tüketimi açısından azalış görülebilmekte ve iç mekan aydınlatması için elektrik tüketiminde artış olabilmektedir. İhtiyaç durumunda camın saydam duruma geçmesi sağlanabilmektedir. Saydam durumda kalması için elektrik tüketiminde artış olabileceği gözden kaçırılmamalıdır.

Sıvı kristal cam sistemlerin sürekli olarak saydam kaldığı durumda, mevcut Low-e cam sisteme göre daha fazla enerji tükettiği Şekil 4.15'te verilen grafikte görülmektedir. Isıtmada 2.597,51 kWh ile mevcut cam sisteme göre %5,4 ve soğutmada 523,47 kWh ile mevcut cam sisteme göre %1,0 daha fazla enerji tüketmektedir. Elektrik tüketimini 4.271,00 kWh artırmaktadır. Toplam enerji tüketimini ise %3,2 oranında artırmaktadır. Ancak bu hesaplamalara sıvı kristal cam sistemlerin karardığı durumlar dahil edilmemiştir. Sıvı kristal camlar koyu durumda ışık geçirgenliğini %50 oranında korumakta ve SHGC ile U değerini düşürmektedir. Isıtma ve soğutma tüketiminde değişiklik olabilmektedir. Işık geçirmeye devam edeceği için aydınlatma enerjisine ihtiyaç düşük seviyededir. İstenilen durumda saydamlığın artırılması ve sistemin aktifleştirilerek elektrik tüketiminde kontrol sağlanabileceği ön görülmektedir.

Fotokromik cam sistemler Şekil 4.15'te verilen grafiğe göre mevcut Low-e cam sistemlerden daha fazla enerji tüketimi yapmaktadır. Isıtma tüketimi Low-e sisteme göre 2.450,25 kWh fazladır. Bu durum, mevcut cam sisteme göre fotokromik cam sistemin ısıtma tüketimini yaklaşık %5,1 arttırdığını göstermiştir. Soğutma tüketimi 2.540,28 kWh artarak mevcut durumu %5,2 oranında arttırdığı gözlenmektedir. Toplam enerji tüketiminde ise %5,1 artış görülmektedir. Fotokromik sistemler koyulaşmasıyla sadece SHGC değerini değiştirmektedir. Bu durumda ise ışık yoğunluğunun arttığı yaz aylarında soğutma tüketiminde azalış olabileceği ancak elektrik tüketiminin artabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak enerji verimliliği açısından değerlendirilen akıllı malzemeler için 3. iklim bölgesinde en olumlu alternatifler; termokromik, elektrokromik ve asılı parçacıklı malzemeler olarak tespit edilmektedir. Enerji verimliliği değerlendirildiğinde termokromik malzeme entegre edilerek oluşturulan cam sistemler ön plana çıkmaktadır. Bu bulgularla sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği hedeflerine ilişkin alternatifler ortaya konulmaktadır. Akıllı malzeme teknolojisiyle enerji tüketiminde azalma sağlandığı görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tüm sektörlerde enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte enerji kaynaklarının verimli kullanılması önemli hale gelmiştir. Mimarlıkta, binaların tasarım veya kullanım aşamasında enerji verimliliğini artırmak mümkündür. Yapı malzemelerinde ve elemanlarında ısı kaybını azaltacak önlemler olarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Bina cephelerinde cam yüzeyin artmasıyla cam sistemlerin performans gereksinimleri farklılaşmıştır. Aydınlatma, havalandırma, manzaradan yararlanma, mahremiyet, ısı kayıpları azaltma, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi konular, cam sistemlerin çözüm getirmesi gereken konular haline gelmiştir. Bu amaçla fiziksel çevredeki değişimleri algılayarak tepki veren akıllı malzemeler geliştirilmiştir. Akıllı malzemelerin cam sistemlere entegre edilmesiyle ısı kayıpları azaltmak ve mahremiyet sağlanmak hedeflenmektedir. Akıllı malzemelerin kullanımı henüz diğer yapı malzemeleri kadar yaygın olmasa da araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla akıllı malzeme kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Tasarım aşamasında olan binaların enerji simülasyon analizi yapılarak enerji tüketimi hesaplanabilmektedir. Erken aşamalarda yapılan simülasyonlar ile enerji tüketimini önceden saptamak enerji tasarrufu sağlayan malzemelerin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Çalışmada cam sistemlerin ısı performans analizini değerlendirmek amacıyla bir ofis binasının mevcut cam malzemesinde değişimler yapıldığı kurgulanmıştır. Enerji simülasyon programıyla enerji tüketim senaryoları oluşturulmuştur. Enerji analizi yapılırken bina özellikleri, çevresel koşullar, ısıtma tüketimi ve soğutma tüketimi değerlendirilmiştir. Low-e cam sistemlere kıyasla termokromik, elektrokromik ve asılı parçacıklı malzemelerin entegre edildiği cam sistemlerin önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığı saptanmıştır. Cam sistem teknolojilerinde akıllı malzeme kullanılmasıyla binalarda enerji verimliliğinin sağlanabildiği ve genel enerji tüketimi azaldığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak bazı akıllı malzemelerin enerji tasarrufu sağladığı ve fosil yakıt kullanımını azalttığı görülmektedir. Cam sistem tasarımı ve akıllı malzeme entegre edilmiş cam sistem tercihi ile enerji verimliliğine katkı sağlayan binalar tasarlamak mümkündür. Buna ek olarak akıllı malzeme özellikleri bilinerek yapılan tasarımlarla, gelecekte farklı işlevlere sahip tek bir akıllı cam sistem uygulamasıyla birden fazla yapı malzemesi kullanımının önüne geçilebilecektir.

## 5.1. Sonuçlar

Termokromik malzemeler yapıda beton, boya ve camlarda kullanılmaktadır. Kamu, ticaret ve konut binalarında uygulaması bulunan termokromik malzemelerin heykel, sensör ve seramik yapımında da kullanıldığı saptanmıştır. Termokromik camların koyulaşmasının kontrol edilememesi, koyulaşmasının sarı tonlarında olması ve yüzeyde homojen olmayan koyulaşmalar oluşturması gibi sebepler ile termokromik cam kullanımının kısıtlandığı görülmüştür.

Fotokromik malzemeler boya ve camlarda uygulanmaktadır. Binalarda cam olarak kullanımının yaygın olmadığı görülmektedir. Homojen olmayan koyulaşmalar oluşturması, koyulaşmaların kontrol edilememesi ve kırılmaya karşı dirençsiz olması sebebiyle binalarda en az kullanan akıllı malzeme olduğu gözlenmiştir.

Elektrokromik malzemeler cam sistem olarak konut, kamu ve ticari binalarda kullanılmaktadır. EC camların binalarda en fazla kullanılan akıllı cam sistemlerden biri olduğu görülmüştür. Renk tonlarının ayarlanabilmesi, ışık geçirgenliğinin manuel olarak kontrol edilebilmesi ve parlamayı önlemesi gibi sebeplerle mimaride EC cam uygulamalarının arttığı gözlenmiştir.

Sıvı kristal cam sistemlerin ticari binalarda yaygın olarak kullanıldığı ayrıca konut binalarında kullanım alanının arttığı gözlenmiştir. LC cam sistemlerin kullanım öncesi çeşitli uygulama testlerinin yapılması ve diğer akıllı cam sistemlere göre daha büyük boyutlarda üretilmesi, LC camları diğer akıllı cam sistemlere kıyasla daha avantajlı konuma getirdiği görülmüştür. LC cam sistemlerin Türkiye’de en çok kullanılan akıllı cam türü olduğu saptanmıştır.

Asılı parçacıklı cam sistemlerin ticari binalarda, kültür ve sanat binalarında kullanım alanı bulduğu saptanmıştır. Asılı parçacıklı cam sistemlerin uygulama örneklerinin kısıtlı olduğu gözlenmiştir.

Yapılan tez çalışması ile;

- Binanın yıllık ısıtma ve soğutma tüketim oranlarının yakın olduğu,
- Ofislerin güneş alımı sebebiyle yaz aylarında soğutma tüketimini önemli miktarda artırdığı,
- 3. iklim bölgesi için en uygun akıllı cam sistem önerilerinin termokromik, elektrokromik ve asılı parçacıklı cam sistemler olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

## 5.2. Öneriler

Termokromik malzemelerin aktif akıllı cam sistemlere entegre edilmesiyle koyulaşmasının kontrol edilmesi ve homojen bir şekilde koyulaşması üzerine çalışmalar yürütülüp mimaride kullanım alanı genişletilebilir. Mevcut sarı renkte koyulaşmasının manzarayı etkilemesi sebebiyle farklı renk tonlarında üretilmesi üzerine çalışılabilir. Ayrıca mahremiyet açısından tam koyulaşma sağlayacak aktif akıllı cam sistemlere entegre edilmesiyle cam sistemin U değerinin düşürülmesi de sağlanabilir.

Fotokromik malzemelerin aktif akıllı cam sistemlere entegre edilmesiyle U değerini azaltmaya ve homojen olmayan koyulaşmalarına yönelik çalışmalar yürütülebilir.

Elektrokromik malzemelerin anahtarlanma sürelerinin azaltılması üzerine çalışmalar yürütülebilir. Tam mahremiyet sağlamadığı için farklı sistemlerle entegre edilerek koyulaşması üzerine çalışmalar teşvik edilebilir.

Sıvı kristal camların saydam kalabilmek için gerekli olan elektrik kullanımını azaltmaya yönelik çalışmalar ile kullanım alanını yaygınlaştırılabilir. Eğik açıyla gelen ışığı yansıtma konusundaki yetersizliği üzerine çalışmalar yapılabilir.

Asılı parçacıklı cam sistemlerin elektrik tüketimini azaltmasına ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülebilir. IR ışınlarını engellemesi için farklı akıllı cam sistemleriyle birleşerek hibrit cam sistemi oluşturmaya üzerine çalışmalar yapılabilir.

Akıllı malzemeler üzerine yapılan bazı öneriler şu şekilde sıralanmıştır;

- Tasarımcıların akıllı cam sistemler hakkında bilgilendirilmesi için çalışmalar yapılması teşvik edilebilir.
- Montaj yapacak usta ve çıraklara uygulama eğitiminin verilmelidir.
- Akıllı malzemeler ile konfor düzeyinin artırılabilceği bilgisinin aktarılması teşvik edilebilir.
- Tam opaklık sağlayan ve sağlamayan akıllı cam sitem tercihinin dikkat edilmelidir.
- Enerji tasarrufu sağlamak amacıyla akıllı malzemelerin geliştirilmesi teşvik edilebilir.
- Akıllı malzeme uygulamalarında akıllı malzeme ve aydınlatma sistemleri sensörler aracılığıyla birbirlerine bağlanabilir.

Cam sistemlerin sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğine yönelik yeni araştırma ve geliştirme çabaları teşvik edilmelidir. İlk yatırım maliyetinin fazla oluşu, bakım ve onarımına dair bilgi eksikliği, bazı akıllı camların kablo gerektirmesi, binalarda uygulamasını yapabilecek usta yetersizliği gibi olumsuzluklar üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmelidir.

Gelecek tez ve makale çalışmaları için önerilen konular şu şekilde sıralanmıştır;

- Tasarım aşamasında BIM kullanımı,
- Akıllı cam sistemlerin koyulaştığı durumların da hesaplamalara dahil edilmesi,
- Akıllı cam sistemlerin tüm iklim bölgelerinde analiz edilmesi,
- Akıllı cam sistemlerin farklı BIM yazılım ve programlarında enerji analizlerinin yapıp karşılaştırılması,
- Akıllı cam sistemlerin BIM yazılımı ve uygulamasının enerji analizlerinin karşılaştırılması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- 360 Konya, 2020, Aydınlik Evler Girişi, [online], <https://www.360konya.com/sanal-tur/aydinlik-evler> [Ziyaret Tarihi: 24 Aralık 2023].
- Abdulwahhab, I., A. 2019, Evaluation energy efficiency of the existing building by simulation program, (Yüksek Lisans Tezi), *Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Acar, E. ve Oktay, T., 2018, Havacılık ve uzay uygulamalarında şekil hafızalı alaşımlar, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 335-349.
- Açıksarı, C. ve Karasu, B., 2018, Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2), 437-457.
- Addington, M. and Schodek, D., 2005, Smart materials and new technologies, *Architectural Press, Elsevier Ltd.*, Burlington, MA, 15-108.
- Aka, A., S. 2007, Konya şehrinin kuruluş ve gelişimini etkileyen coğrafi faktörler, (Doktora Tezi), *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya.
- Akay, A., 2014, Her devrin malzemesi: akıllı malzemeler [online], <http://www.acikbilim.com/2014/03/dosyalar/her-dervrin-malzemesi-akilli-polimerler.html> [Ziyaret Tarihi: 16 Ağustos 2023].
- Akgün, S. 2020, İç mekan ve mobilya tasarımı kapsamında akıllı malzemelerin incelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Albayrak, N. B. 2020, Güneş etkileşimli akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımı, (Yüksek Lisans Tezi), *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Altinkaya, T. ve Özgen A., 2004, Camın yapısal kullanımının tarihsel gelişimi, güncel olanaklar ve uygulama örneklerinin incelenmesi, 2. *Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 87-97. <http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/98192995786669699016809463.pdf>
- Anayurt, M. 2021, Duvar ve çatı elemanlarında faz değiştiren malzeme kullanımına dayalı ısı performansın farklı iklim koşullarına bağlı olarak değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul.
- Anderson, A., Chen, S., Romero, L., Top, I. and Binions, R., 2016, Thin films for advanced glazing applications, *Buildings*, 6 (37), 239-247.
- Atmaca, U., 2016, TS 825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardındaki güncellemeler, *Tesisat Mühendisliği*, (154), 21-35.

- Aytürk Tulukcu, D. 2019, Tip İlköğretim Okulu Projesinin Enerji Etkinlik Performansının İklimsel Veri Değişkenleri Üzerinden Sorgulanması, (Yüksek Lisans Tezi), *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Bahlol, W. S. E., 2010, Smart glazing systems for low energy architecture, *Sustainable Architecture and Urban Development*, Amman, 149-165.
- Bayar, S. 2007, Malzeme özellikleri sıcaklığa bağlı olan bir piezoelektrik plağın statik analizi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayram, N. S. ve Orhon A. V., 2020, Termal enerji depolama sistemleri için faz değiştiren malzemelerin trombe duvarlarda kullanımı üzerine bir inceleme, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (3), 529-551.
- Bedeloğlu, A. Ç., 2011, Şekil hafızalı alaşımlar ve tekstil malzemelerindeki uygulamaları, *Tekstil ve Mühendis*, 18 (83), 27-37.
- Berberoğlu, U. 2009, Sürdürülebilir mimarlık anlayışı çerçevesinde enerji verimliliği kavramının güncel konumu ve yeni yaklaşımlar, (Yüksek Lisans Tezi), *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Boduroğlu, Ş, 2010, Akıllı binalarda enerji etkin cephe tasarımı, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İzmir.
- Boydak, H. 2021, Hastane binalarının enerji verimliliğinde yeşil konsept çıktılarının simülasyon ile değerlendirilmesi: Elazığ örneği, (Yüksek Lisans Tezi), *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Cannavale, A., Zampini, G., Carlucci, F., Pugliese, M., Martellotta, F., Ayr, U., Maiorano, V., Ortica, F., Fiorito, F. ve Latterini, L., 2022, Energy and daylighting performance of building integrated spirooxazine photochromic films, *Solar Energy*, 242 (2022), 424-434.
- Çam, A. Bina enerji modellemesi yöntemiyle konut yapısı enerji analizi: Ankara Yeşiltepe yapı kooperatifi örneği, (Yüksek Lisans Tezi), *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Çiçek, N. 2021, Cephelerde kullanılan akıllı malzemeler için çok ölçütlü karar verme yöntemi ile bir seçim modeli önerisi, (Yüksek Lisans Tezi), *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çiftçi, Ç., Dursun, Ş., Levend, S. ve Kunt, F., 2013, Topoğrafik yapı, iklim şartları ve kentleşmenin konya’da hava kirliliğine etkisi, *European Journal of Science and Technology*, 1 (1), 19-24.
- Dağsöz, A. K., Bayraktar, K. G. ve Işkel, K., 1999, Yapılarda sıcak etkisinin getirdiği problemlerin ısı yalıtımı ile çözümü ve enerji tasarrufu, IV. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 329-339.

- Djalilova, L. 2019, Özbekistan’da eğitim binalarının sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesi: Taşkent 198. mektep örneği, (Yüksek Lisans Tezi), *Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Döşemeciler, A., 2012, Cam ve aydınlatma sistemlerinde akıllı malzemeler, *Ege Mimarlık*, 3 (82), 14-17
- Düzgün, N. 2020, Pencere camı özelliklerinin bina enerji performansına etkisi, (Yüksek Lisans Tezi), *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Erdemli, M. İ. 2018, Elektrokromik kaplamalı camın farklı iklim bölgelerine göre enerji performansı değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul.
- Ergin, Ö. 2019, Uyarlanabilir cephe sistemlerinde güncel yaklaşımlar ve akıllı malzemelerin kullanımı, (Yüksek Lisans Tezi), *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Erkol, E. ve Sayın, S., 2021, Akıllı cam cephe sistemleri ve teknolojileri, *Online Journal of Art and Design*, 9 (1), 1-21.
- Esgil, M. ve Yamaçlı, R., 2023, Akıllı cephelerin sürdürülebilirliğe etkisi: Türkiye ve dünyadaki örnekleri, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6 (1), 1-12.
- Ferrara, M. and Bengisu, M., 2014, Materials that Change Color Smart Materials, *Intelligent Design, Springer International Publishing*, 13-42.
- Genç, G. 2022, Tarihi yapıların enerji verimli iyileştirilmesi için bir karar destek sistemi önerisi, (Doktora Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ghosh, A., Norton, B. ve Duffy, A., 2015, Measured overall heat transfer coefficient of a suspended particle device switchable glazing, *Applied Energy*, 159 (2015), 362-369.
- Google Haritalar, [online], <https://www.google.com.tr/maps> [Ziyaret Tarihi: 6 Kasım 2023].
- Gökçen Üner, D. 2018, Konut enerji verimliliği performans analizi için dinamik bir simülasyon modeli, (Yüksek Lisans Tezi), *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce.
- Göral Ceylancı, N. 2020, Farklı iklim bölgelerinde yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilmesine yönelik bir yaklaşım: belediye binası tip projesi örneği, (Yüksek Lisans Tezi), *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Hüseyin, E. ve Dikmen, D. C., 2017, Hastane yapılarında transparan cephe sistemi ve akıllı cam uygulama, *HESTOUREX World Health, Sports, Tourism Congress & Exhibition*, 345-350.

- İsmail, S. 2012, Enerji verimli binalarda ısı yalıtımının toplam bina maliyetindeki etkisi Yunanistan-Türkiye karşılaştırması, (Yüksek Lisans Tezi), *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.
- Karabulut, G. 2002, Yapı malzemesi olarak cam ve mekan tasarımında kullanımı, (Yüksek Lisans Tezi), *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir.
- Karakurt, H. S. 2008, Pencere sistemlerinin ısı performansının doğrama seçeneklerine bağlı olarak değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Karalı, C. H. 2019, Akıllı malzemelerin iç mimarlıkta kullanımı Sarıyer Belediye Binası örneği, (Yüksek Lisans Tezi), *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Karasu, B. ve Sarıcaoğlu, B., 2018, Cam yüzey kaplama teknolojileri, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2), 475-500.
- Karasu, B., Bereket, O., Bıryan, E. and Sanoğlu, D., 2017, The latest developments in glass science and technology, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2), 209-223.
- Kazanasmaz, T. ve Diler, Y., 2011, Gelişmiş cam teknolojileri ile enerji etkinliğin değerlendirilmesi [online], *İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü*, [https://www.emo.org.tr/ekler/cbe24c74687d602\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/cbe24c74687d602_ek.pdf) [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2023].
- Kobyay, H., B. 2017, Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Konuklu, Y. ve Paksoy H. Ö., 2011, Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 919-930.
- Konya Kent Rehberi, [online], <https://kentrehberi.konya.bel.tr/#/rehber/> [Ziyaret Tarihi: 6 Kasım 2023].
- Küçük, A., A. 2021, Eğitim yapılarında aydınlatma enerji performansının BEP-TR yöntemiyle konfor-tüketim-maliyet bağlamında değerlendirilmesi; ERÜ mimarlık fakültesi örneği, (Yüksek Lisans Tezi), *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Kürşat, B. 2023, Gaziantep'in geleneksel taş evlerinde enerji verimliliği, (Yüksek Lisans Tezi), *Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Gaziantep.
- Lee, E. S., Selkowitz, S. E., Clear, R.D., DiBartolomeo, D. L., Klems, J. H., Fernandes, L. L., Ward, G. J., Inkarojrit, V., and Yazdanian, M., 2006, Advancement of Electrochromic Windows, LBNL-59821, California.

- Lelieveld, C. M. J. L. 2013, Smart materials for the realization of an adaptive building component, (PhD Thesis), Delft University of Technology Faculty of Architecture, Netherlands.
- Leydecker, S., 2008, Nano materials, *Birkhäuser Basel*, Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8321-3>
- Manav, B., Kutlu, R. ve Küçükdoğu, M. Ş., 2009, Mimaride kullanılan cam türlerinin aydınlatma açısından incelenmesi, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, [online], <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KONYA> [Ziyaret Tarihi: 29 Ekim 2023].
- Resmi Gazete, [online], <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5627&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- Nafezarefi, F. 2020, Photochromic properties of rare-earth oxyhydrides, (Doktora Tezi), *Delft Teknoloji Üniversitesi*, Delft, Hollanda.
- Nicoletti, F., Kalikatsos, D., Ferraro, V. ve Cucumo, M., A., 2022, Analysis of the energy and visual performance of a building with photochromic windows for a location in southern Italy, *Building and Environment*, 224 (2022), 109570.
- Nihalani, S., Joshui, U. and Meeruty, A., 2019, Smart materials for sustainable and smart infrastructure, *Materials Science Forum*, (969), 278-283.
- Nundy, S., Mesloub, A., Alsolami, B., M. ve Ghosh, A., 2020, Electrically actuated visible and near-infrared regulating switchable smart window for energy positive building: a review, *Journal of Cleaner Production*, 301 (2021), 126854.
- Orhon, A. V., 2006, Modern yapı malzemeleri, *Yapı dergisi*, 300, 104-109.
- Orhon, A. V., 2012, Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı, *Ege mimarlık*, 3 (82), 18-21.
- Orhon, A. V., 2013, Sürdürülebilir mimaride akıllı malzeme kullanımı, *VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu*, Edirne, 297-304.
- Parkin, I. P. and Manning, T. D., 2006, Intelligent thermochromic windows, *Journal of Chemical Education*, 83 (3), 393-400.
- Pehlivan, E. 2007, Saf ve katkılı niobyum pentoksit ince filmlerin optik, yapısal, elektriksel ve elektrokromik özellikleri, (Doktora Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pehlivan, E. Ve Tepehan, G. G., 2007, Titanyum dioksit katkılı niobyum pentoksit filmlerin optik, yapısal ve elektrokromik özellikleri, *itüdergisi/c*, 5 (1), 49-55.
- Ritter, A., 2007, Smart materials in architecture, interior architecture and design, Andreas Müller, *Birkhäuser architecture*, Berlin.

- Sonmez, G., Shen, C. K. F., Rubin, Y, and Wudl, F., 2004, A red, green, and blue (RGB) polymeric electrochromic device (PECD): the dawning of the PECD era, *Angewandte Chemie*, 116, 1524-1528.
- Soyluk, A., Ayçam, İ. ve Köse, G., 2022, Bartın üniversitesi kampüs binaları örneği üzerinden nanoteknolojinin mimarlığa katkıları, *Online Journal of Art and Design*, 10 (2) 17-39.
- Sünnetçi, H., Yılmaz, D., İnce, T. and Yılmaz, C., 2021, Energy efficiency analysis for a sport complex, *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 1 (2), 136-147.
- Şahin, Y. 2019, Numerical analysis of thermal performance of glazing systems, (Doktora Tezi), *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Tavil, A., 2004, Cephe sistemlerinde yeni teknolojiler-elektrokromik pencereler, 2. *Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 111-116. <http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/75053042173384609752893447.pdf>
- Temel, S. 2021, Malzeme bilimindeki gelişmelerin mimarlık disiplini üzerine etkileri: Akıllı malzemeler, (Yüksek Lisans Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Topal, A. S. ve Arpacıoğlu, Ü., 2020, Mimarlıkta akıllı malzeme, *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5 (2), 241-254.
- Trotter, D., M., 1991, Photochromic and photosensitive glasses, *Scientific American*, 264 (4), 124-129.
- TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, [online], [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/cf3e258fbdf3eb7\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf) [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2023].
- Tuna Kayılı, M., 2020, Akıllı malzemelerin kamu yapılarında uygulama önerileri: Karabük örneği, *Avrupa Bilim ve Teknoloji dergisi*, (18), 805-817.
- Turhan, E. 2007, Mimari tasarımda cam kullanımı ve alışveriş merkezlerinde değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Türker, Ö. 2009, PZT/Polimer esaslı aktif titreşim kontrolüne uygun akıllı kiriş tasarımı ve imalatı, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- url-1: A History of the Piezoelectric Effect [online], Redwood City, CA, OnScale Ansys Company, <https://onscale.com/piezoelectricity/history-of-piezoelectricity/> [Ziyaret Tarihi: 10 Temmuz 2023].
- url-2: Institut du monde arabe [online], [https://fr.wikipedia.org/wiki/Institut\\_du\\_monde\\_arabe](https://fr.wikipedia.org/wiki/Institut_du_monde_arabe) [Ziyaret Tarihi: 21 Ağustos 2023].

- url-3: GOOGLASS® Akıllı Cam Teknolojileri, [online], <https://akillicam.com/> [Ziyaret Tarihi: 19 Eylül 2023].
- url-4: TETA Cam Teknolojileri, [online], <https://www.tetacam.net/> [Ziyaret Tarihi: 19 Eylül 2023].
- url-5: Magiclam, [online], <https://magiclam.com/> [Ziyaret Tarihi: 19 Eylül 2023].
- url-6: Bella Dekor, [online], <http://www.bellodekor.com/tr> [Ziyaret Tarihi: 19 Eylül 2023].
- url-7: Büyükada'da Konut Projesi, [online], <https://www.arkiv.com.tr/proje/buyukadada-konut-projesi/1739> [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2023].
- url-8: Likit Kristal Film Sistemi, [online], <https://www.batucamfilmi.com/kristalfilm.asp> [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2023].
- url-9: Batu Cam Filmi Resim Galerisi, [online], [https://www.batucamfilmi.com/uygulama\\_resimleri.asp](https://www.batucamfilmi.com/uygulama_resimleri.asp) [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2023].
- url-10: Akıllı Cam Sistemleri, [online], <https://www.ozaksanaluminyum.com/Ak%C4%B1l%C4%B1-Cam-Sistemleri> [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2023].
- url-11: Cam, [online], [https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam#cite\\_note-Brit-1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Cam#cite_note-Brit-1) [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2023].
- url-12: Bowie State University, [online], <https://www.sageglass.com/case-studies/bowie-state-university> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2023].
- url-13: The Lory Student Center at CSU, [online], <https://view.com/portfolio/lory-student-center-csu> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2023].
- url-14: Smart Film PDLC: application examples [online], <https://www.innoptec.com/photogallery> [Ziyaret Tarihi: 2 Ekim 2023].
- url-15: Coğrafi Konum, [online], [https://www.konyakultur.gov.tr/index.php?route=pages/pages&page\\_id=2](https://www.konyakultur.gov.tr/index.php?route=pages/pages&page_id=2) [Ziyaret Tarihi: 29 Ekim 2023].
- url-16: Konya Kentplaza, [online], <https://www.konyakentplaza.com.tr/magazalar/index.html> [Ziyaret Tarihi: 6 Kasım 2023].
- url-17: Kentplaza Office, [online], <http://www.kentplazaoffice.com.tr/> [Ziyaret Tarihi: 6 Kasım 2023].
- url-18: Hi-VRV Nedir?, [online], [https://www.daikinrvf.com/vrf\\_nedir.html](https://www.daikinrvf.com/vrf_nedir.html) [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2023].

- url-19: VRF (VRV) Klima Nedir, [online], <https://www.gunsemuhendislik.com/vrf-vrv-klima-nedir/vrf-vrv-klima-nedir-vrf-klima-sistemleri-vrf-klima-sistem-vrf.html> [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2023].
- Vernardou, D., 2013, State-of-the-art of chemically grown vanadium pentoxide nanostructures with enhanced electrochemical properties, *Advanced Materials Letters*, 4 (11), 798-810.
- Yağlı, S. 2019, Teknolojik gelişmelerin etkisi ile yüzeylerde malzeme kullanımı: Akıllı malzemeler, (Yüksek Lisans Tezi), *Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, Ankara.
- Yıldız, Y. 2008, Retrofitting existing mass housing for energy efficiency: a case study in Gazıemır Emlak Bank housing area, Izmir, Turkey, (Doktora Tezi), *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Yılmaz, B. 2009, Binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yurttakal, Ö. 2007, Pencere sistemlerinin ısı performansının eleman ve bina düzeyinde değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yüksel Ayvaz, Ö. 2019, Akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanakları, (Yüksek Lisans Tezi), *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Zayım, E. ve Bütün, İ., 2019, Binalarda enerji tasarrufu sağlayan elektrokromik cihaz tasarımı, *14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 80-89.

## EKLER

### EK-1: GOOGLASS® Akıllı Cam Teknolojileri Ürün Sertifikası





•touch the future•

**BAKIM**

Bakımı genel olarak Akıllı Camın temiz tutulması kadar basittir. Optimum ölçüde performans göstermesi için nötr maddelerle düzenli olarak temizlenmesi tavsiye edilir. Dış pencerelerde, sabunlu ılık su en iyi çözümdür. Yumuşak kaplamalı cam, imalatçının kendi talimatları takip edilerek çok dikkatli temizlenmelidir. Profesyonel cam temizleyici veya tanınmış markaya sahip bir temizleme maddesi kullanın.

Yıllık kontroller: Müşteri, bütün kablo tesisatının iyi durumda olup olmadığını, çerçeve malzemelerinde hasar olup olmadığını ve transformatörün ve anahtarın görünümünün düzgün olup olmadığını kontrol etmelidir. Duvarlar, tavalar ve zeminler dahil olmak üzere Akıllı Camın bitişindeki alanların yapısal sağlamlığı, aşırı nem ve sıcaklık durumunun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bunların herhangi biri saptanırsa, müşteri durumu derhal orijinal tedarikçiye/montaj sorumlusuna/müteahhide veya GOOGLASS'a bildirmelidir.

**ARIZA TESPİTİ**

LC Akıllı Cam 110 V AC ve 50/60 Hz gerilim ve frekans değerlerinde çalışır. Daha yüksek gerilim ve frekans kalıcı hasara neden olabilir. Elektrik servisi işlemi, bu belgeyi okumuş ve anlamış bir kalifiye elektrikçi tarafından gerçekleştirilmelidir. Gücü açın (ON). Akıllı Cam panelin çalışıp çalışmadığını kontrol edin. Eğer bir veya daha fazla Akıllı Cam paneli çalışmıyorsa, aşağıda belirtilenleri kontrol edin.

Elektrik gelip gelmediğini anlamak için devre kesiciyi kontrol edin. Eğer devre kesiciden güç gelmiyorsa, devre kesiciyi resetleyin veya değiştirin. Bütün kablo tesisatının durumunu ve kablo bağlantılarında kopma olup olmadığını gözle kontrol edin. Elektrik gelip gelmediğini kontrol edin. Eğer duvar anahtarındaki elektrik gelmiyorsa, bağlantıyı kontrol edin veya anahtarı değiştirin. Elektrik gelip gelmediğini öğrenmek için etkilenmiş olan panellerin güç transformatörüne girişi kontrol edin. Eğer güç transformatörüne elektrik girmiyorsa, duvar anahtarı ile güç transformatörü arasındaki kablo tesisatında hasar olup olmadığını ve akımın kesintisiz olarak akış yapıp yapmadığını kontrol edin. Elektrik gelip gelmediğini doğrulamak için etkilenmiş panellerin güç transformatöründen çıkışı kontrol edin. Eğer transformatörden bir elektrik çıkışı olmuyorsa, sigorta yanmış olabilir. Sigortayı yeni sigortayla değiştirin. Her transformatörde, koruyucu kapağın içinde bir yedek sigorta yer alır. Kafanızda bir soru uyanırsa, lütfen sorununuzu çözmemiz için bizimle iletişime geçin.

**GOOGLASS**

"Türkiye'nin Akıllı Cam profesyoneli"

[www.akillicam.com](http://www.akillicam.com)

[info@akillicam.com](mailto:info@akillicam.com)

[www.googlass.com.tr](http://www.googlass.com.tr)

[info@googlass.com.tr](mailto:info@googlass.com.tr)

# GOOGLASS

• touch the future •

## ELEKTRİK TESİSATI

### GEREKLİ TEDARİK MALZEMELERİ

Akıllı Cam panellerin montajı aşağıdaki malzemeleri gerektirmektedir:  
230VAC 50/60Hz elektrikle çalışmaya uygun bir tane 15 amper (en az) topraklı devre kesici (Sigorta kutusu).

Bir tane duvara monte edilen anahtar 230VAC 50/60 Hz (montaj sorumlusu/mal sahibi tarafından temin edilecektir). B anahtar, Akıllı Cam panellerini AÇMAK/KAPAMAK için gereklidir.

Alternatif olarak bir telsiz uzaktan kumandalı anahtar öngörülebilir.

Akıllı Cam güç transformatörü. Akıllı Cam paneller, her bir güç şartlandırıcısı/ transformatörü için toplam 10-12 metrekare alana kadar paralel olarak bağlanabilirler.

### GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ / ŞARTLANDIRICISI İLE İLGİLİ Ayrıntılı Bilgi

50/60Hz frekansta şebeke geriliminin kademeli olarak yükseltilmesi veya düşürülmesi için kısa devre korumalı mahfazalı otomatik sargılı transformatörler. Transformatörler EN 61558, VDE 0570 standardına göre test edilmişlerdir.

**UYARI: Transformatör, arıza durumunda sigortayı değiştirebilmek amacıyla elektrikçi tarafından kolayca erişilebilir bir yere kurulmalıdır.**

Teknik özellikler:

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| VA Değeri (Kesintisiz). | 390                      |
| Giriş Gerilimi          | 220; 230; 240; 115V (ac) |
| Çıkış Akımı             | 2,0 A                    |
| Boyutlar (U*W*Ş mm)     | 180mm * 120mm * 60mm     |
| Sabitlenme Merkezleri   | 140 mm * 58 mm           |
| Ağırlık                 | 2.0 kg                   |

5A'ya kadar plastik muhafaza içindedir  
Açılmış olan kolay kurulum/montaj delikleri  
10A'dan sonra metal mahfazalar içindedir  
Kolay bağlantı vidası terminalleri  
Bağlantı kabloları için sünmezlik özelliği  
Termal aşırı yük koruması  
CE Sınıflandırılmalı entegre sigorta koruması

### KABLO TESİSATI

GOOGLASS bütün elektrik tesisatının bir lisanslı elektrikçi tarafından ve yerel yasal mevzuata uygun şekilde gerçekleştirilmesini gerekli görmektedir.  
Tesisatın yapılmasından önce barları, elektrot yönlendiricilerini ve kablolarını kontrol ederek yalıtımdan emin olun. Açıkta baralar, elektrot yönlendiricileri veya kablolar herhangi bir metal çerçeveye temas etmemelidir aksi takdirde transformatör ve Akıllı Cam hasar görecektir.

Çoklu Akıllı Cam paneller, transformatörle paralel olarak bağlanmalıdır. Transformatör "in" girişlerinin 230V AC'ye ve "out" girişlerinin ise Akıllı Cam panele bağlanmasını sağlayın. Çıkış gerilimi yaklaşık olarak 110 V AC'dir.

Elektriği açmadan önce, metal çerçeve ile elektrot arasındaki direnç değerini test edin ve direnç değerinin sonsuz olduğundan emin olun. Aksi takdirde, kısa devre yapan yeri bulun ve elektrotları metal çerçevelerden yalıtın.

Akıllı Cam, "on" (saydam) durumda metrekaşe başına yaklaşık 5 watt elektrik kullanır. "Off" (opak) durumunda ise hiç elektrik harcamaz. Akıllı Cam, tek veya birden fazla anahtarla veya telsiz uzaktan kumandayla kontrol edilebilir.

**NOT:** Sistemin doğru çalışması için anahtarın/uzaktan alıcının şebeke gerilim hattında transformatörden/güç şartlandırıcıdan önce konumlandırılması çok önemlidir. Anahtarlama mekanizmasının doğru tesis edilmemesi Akıllı Cam'ın tamir edilemez şekilde hasar görmesine neden olabilir.

Güç transformatörünü açarken dikkatli olun ve soğuması için birkaç dakika bekleyin. İçindeki elektronik parçalar çok sıcak olabilir; bu normaldir. Güç transformatörünü sadece açılması için güvenli olan yerlerde açın ve güç transformatörünün yalıtılmış gövdesini asla açmayın.

**Uyarı:** Daha yüksek değerlerde bir sigortayla değiştirmeyin! Sigorta değeri, SmartGlass panelleri doğru korumak için çok önemlidir. Güç transformatörünün kapağının içinde bir yedek sigorta yer almaktadır.

**UZAKTAN KUMANDALAR - STANDARD**

**RFS TELSİZ ALICI ANAHTARI – 95\*40\*12MM – GÖRÜNMEYECEK ŞEKİLDE MONTE EDİLEBİLİR**

#### **GOOGLASS**

*"Türkiye'nin Akıllı Cam profesyoneli"*

[www.akilliacam.com](http://www.akilliacam.com)

[info@akilliacam.com](mailto:info@akilliacam.com)

[www.googlass.com.tr](http://www.googlass.com.tr)

[info@googlass.com.tr](mailto:info@googlass.com.tr)



## GOOGLASS Akıllı Cam - Geçirim ve Test Verileri

### Enerji Geçirim Ölçümleri

Bu rakamların neyi ölçtüklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla, aşağıda yapılan kısa açıklama güneşin yarattığı enerjinin çeşitli tayflarını ele almaktadır. Bunlar, yapı ürünlerinin ve pencerelerin her gün dayanmak zorunda oldukları enerji tayflarıdır. Özelliklerin bazıları olumlu ve bizim en üst düzeye çıkarmayı arzu ettiğimiz özelliklerken, bazıları zararlıdır ve bir şekilde azaltılmaları veya kontrol edilmeleri gerekir.

Güneşten yayılan elektromanyetik enerji, enerjinin dalga boyuna dayalı olarak çeşitli kategorileri veya spektrumlara ayrılır. Yapı ürünlerini, endüstriyi, insanları ve ticari ve ev ortamlarındaki mobilyaları etkileyen üç ana tayf morötesi (UV), Görünür Işık ve Kızılötesi (IR) enerjidir. Bu metnin devamında, akıllı camın nasıl talep üzerine doğrudan doğruya mahremiyetin sağlamakta kalmayıp, aynı zaman da yapı ortamlarını nasıl kontrol ettiğini, koruduğunu ve geliştirdiğini anlatabilmekteyiz.

### MOR ÖTESİ - UV

UV enerji, insan gözüyle görülmez ve genellikle üç kategoriye ayrılır: UVA, UVB ve UVC. UVC enerji, çoğunlukla dünyanın atmosferi tarafından geri çevrilir ve asla dünyanın yüzeyine ulaşmaz. UVB ve UVA enerjisi atmosferden geçerek dünya yüzeyine ulaşırlar. Pencere piyasasıyla ilgili olduğundan, UVB enerjisinin büyük kısmı standart düz (float) cam tarafından bloke edilir. Saydam çift camlı pencereler ise UVB enerjisinin hemen hemen tamamını geri çevirirler.

Bu nedenle, ana hedef kalan UVA enerjisidir. UVA enerjisi standart düz camdan geçer ve ancak bizim Akıllı Cam teknolojilerimiz gibi bu ışık tayfını yansıtma veya soğurma özelliğine sahip kaplamalarla veya filmlerle bloke edilebilir. UVA enerjisi mobilyaların, tabloların solmasının ve kumaş kalitesinin genel bozulmasının ana sorumlusudur. Bir pencere ürünü güneşin UV enerjisini ne kadar geri çevirir veya soğursa, korunan eşyaların ömrü ve kalitesi de o kadar uzun süre korunacaktır. Bütün pencere ürünleri, mümkün olan en düşük UV geçirim değerine ulaşmayı amaçlamalıdır.

### GÖRÜNÜR IŞIK

Doğal güneşiği ve gökkuşağının bütün renkleri dahil olmak üzere Görünür Işık güneş tayfının insan gözü tarafından görülebilen tek kısmıdır. Görünür ışık çoğunlukla iyi özelliklerle özdeşleştirilir, fakat göz kamaştırıcı parlaklıkla bağlantılı göz yorgunluğu binada oturanlar için ciddi sorunlar yaratabilir. Doğal ışık, çoğunlukla, bir evin veya binanın ferah veya iyi aydınlatılmış olmasını sağlamak için arzu edilen bir şeydir. Ayrıca doğal ışığın fazla olması bir binada aydınlatma gereksinimi de azaltarak enerji faturalarını hafifletir. Renkli camlar daha düşük görünür ışık geçirim değerlerine sahip olacaktırlar. Burada belirtilmesi gereken bir nokta, çok fazla miktarda doğal ışığın aynı zamanda parlak miktarını da artıracak olmasıdır. Bu arzu edilmeyen unsur televizyonların veya bilgisayar monitörlerinin bulunduğu odalarda ve çalışanların rahatsız edici ve genellikle tehlikeli parlak düzeylerinden sakınmalarının gerektiği ofis binalarındaki alanlarda daha da ciddi boyuta gelebilir.

#### KIZILÖTESİ – IR

Enfraruj enerji, güneşten yayılan ısı enerjisiyle bağlantılıdır ve aynı zamanda ısıma ısı (radyan ısı) olarak da adlandırılır. Enfraruj enerji gözümüzle göremediğimiz, fakat vücutlarımızın ısı olarak algıladığı ışıktır. Güneş tayfında güneş tarafından yayılan ısıya ısı enerjisi genel olarak Yakın Kızılötesi (NIR) enerji olarak sınıflandırılır. Bu, insanın güneşte dururken ısı olarak hissettiği enerjidir. Bu enerji, bir pencere yüzeyine çarpan ve camdan geçerek bir binanın içindeki sıcaklığı artıran enerjidir. Bu yakın kızılötesi enerji geçirim değerini "kontrol" edebilmesi, bir pencerenin güneşin bir binaya kattığı ısı miktarını kontrol edebilmesi anlamına gelir. Bir pencerenin morötesi geçirim değerinin azaltılması, bir binaya katılan ısı enerjisi miktarını düşürecek ve dolayısıyla yaz aylarında ve sıcak iklimlerde meydana gelen aşırı ısınma etkilerini azaltacaktır. Akıllı Camın kullanılması, binada oturanları korur ve klimalardan ve soğutma araçlarından kaynaklanan karbon emisyonlarını ve masraflarını önemli ölçüde azaltır. GOOGLASS™ kullanan bir pencerenin morötesi enerjisi geri çevirme kapasitesi, doğrudan doğruya bir pencerenin Güneş Isısından Isı Kazanımı Katsayısıyla (SHGC) ilgilidir. Morötesi Geçirim Değeri ne kadar düşükse, buna karşılık gelen Güneş Isısından Isı Kazanımı Katsayısı da o kadar düşük olacaktır.

#### PUS

GOOGLASS'ın optik olarak normal düz cam kadar saydam olmadığını belirtmek gerekir. Camda bulutlanma şeklinde bir pus oluşumu normal görülmelidir ve ürünün doğası nedeniyle kaçınılmazdır. Ayrıca ortam ışıklandırma koşullarının da pusluluk düzeyleri üzerinde bir etkiye sahip olduğunu da belirtmek gerekir; aydınlatmanın doğrudan GOOGLASS'a yöneltilmesinden kaçınılmalıdır. Puslanmanın asgari düzeyde olması için her önlem alınmıştır. Görünür pus azaltmak için mavi, yeşil veya gri renklerde renkli cam kullanılabilir. Nihai müşterinin yapılandırmaya dayalı olarak bir ölçüde puslanma olabileceğini ve bunun ürünün değiştirilmesi veya para iadesi için bir gerekçe oluşturmayacağını anlaması esastır.

#### CAM

1. Kullanıldığı durumlarda, bütün temperli camlar BS6206A standardına uygundur.
2. Proje çizimlerinde gösterilen veya müşteriye belirtilen tipte ve kalınlıkta temin edilecektir.
3. Cam tipinin çizimlerde gösterilmemesi veya belirtilmemesi durumunda, cam tipi ve kalınlığı mimarın, ana müteahhidin veya proje yazının belirlediği şekilde temin edilecektir.
4. Düz cam saydamlığı: Tip 1, Sınıf 1.
5. Yangın sınıflı cam: Borosilikat, BS 476: Bölüm 22 (koşullara tabidir).
6. Lamine Güvenlik Camı
7. Özel uygulamalarda kullanım için özel cam talep edilebilir.

#### YÜZEY KOŞULLARI

Bu bölümde belirtilen çalışmanın gerçekleştirileceği alanları ve koşulları inceleyin. Bu çalışmanın zamanında ve düzgün şekilde tamamlanmasını engelleyebilecek koşulları düzeltin ve iyileştirin. Tatmin edici koşullar elde edilinceye kadar çalışmaya başlamayın. Cam sisteminin hazırlanmasından sonra, cam kanalları, stopları ve contaları GOOGLASS Akıllı cam malzemelerini alacak şekilde temizlenmeli; yapılan çalışmaya zarar verebilecek engeller ve maddeler bertaraf edilmelidir. Astar ve cam bileşenlerin veya bantların uygulanmasından hemen önce yüzeylerin

son bir defa silinmesiyle ilgili olarak imalatçının talimatlarına uygun hareket edin.

**SADECE TAVSİYE EDİLEN NÖTR SERTLEŞEN SİLİKONLAR KULLANIN, ASETİK SİLİKONLAR KULLAMAYIN.**

Camı, GOOGLASS şirketinin onayı olmadan hareketli camlar veya sürme kapılar gibi dinamik çerçevelere monte etmeyin.

Dış mekân ve ıslak iç mekân koşullarında takılan cam suya karşı yalıtılmalı ve sisteme yoğunlaşma suyunun girmesini engellemek için neme karşı geçirimsiz kılınmalıdır. Islak ortamda yapılan uygulamalarda, elektrik bağlantıları GOOGLASS Akıllı Cam panellerin kullanıldığı çerçeve sisteminin başında olmalıdır. Pozitif konumlandırma stopları bulunmayan basınçlı cam sistemleri Akıllı Camla kullanılmayacaktır. Camcı, elektrikçinin kolayca erişmesine olanak vermek için bütün elektrik bağlantılarını ve kablolarını düzgün yerleştirmelidir.

Köşelerde ve birleşme yerlerinin gerektiği diğer noktalarda su ve hava geçirmezliği sağlamak amacıyla cam contalarının birleşme yerlerini imalatçının tavsiyelerine uygun şekilde kesin ve izole edin.

#### GOOGLASS

"Türkiye'nin Akıllı Cam profesyoneli"

[www.akillicam.com](http://www.akillicam.com)

[info@akillicam.com](mailto:info@akillicam.com)

[www.googlass.com.tr](http://www.googlass.com.tr)

[info@googlass.com.tr](mailto:info@googlass.com.tr)



### GOOGLASS Akıllı Cam Teknik Özellikleri:

- ☐ Çalışma Voltajı: AC50-70V
- ☐ Frekans: 50~60 HZ
- ☐ Amper: 100mA-200mA/m<sup>2</sup>
- ☐ Güç Harcama: 5-6 W/m<sup>2</sup>
- ☐ Çalışma Sıcaklığı: -10/60 Derece
- ☐ Paralel Işık Geçirgenliği: 72-79% on 5% off
- ☐ Güneş Işığı Geçirgenliği: 83% on 60% off
- ☐ Bulanıklık: 3% on 80% off
- ☐ On-Off Süresi: 0,1-0,2 Saniye
- ☐ Max Ölçü: 1500\*3000 mm
- ☐ Görüş Açısı: 150 derece
- ☐ Mükemmel Kontrast
- ☐ Projeksiyon Ekranı olarak kullanım
- ☐ Uzaktan Kumanda
- ☐ Akıllı Telefona adaptasyon kolaylığı
- ☐ Cam Kalınlığı: 10mm/12mm/14mm/24mm
- ☐ UV blokaj: 99%
- ☐ Açma-Kapama Ömrü: 5 milyon kez on-off

#### GOOGLASS

"Türkiye'nin Akıllı Cam profesyoneli"

[www.akillicam.com](http://www.akillicam.com)

[info@akillicam.com](mailto:info@akillicam.com)

[www.googlass.com.tr](http://www.googlass.com.tr)

[info@googlass.com.tr](mailto:info@googlass.com.tr)

**EK-2: TETA Akıllı Cam® Ürün Teknik Özellikleri****TETA Akıllı Cam® PDLC film ürünleri****Teknik Özellikler Tablosu**

| Ürün                    | TETA Akıllı Film LH                                                   |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Renk                    | Beyaz                                                                 |
| Kalınlık                | 0,38 mm                                                               |
| Boyutlar (rulo)         | Genişlik: 1,5 m maks.<br>Uzunluk: 50 m maks.                          |
| Çalışma                 | Açık (Şeffaf)/Kapalı (Opak)                                           |
| Işık geçirgenliği*      | > %82 (Açık/Toplam)<br>< %2 (Kapalı/Paralel)<br>> %60 (Kapalı/Toplam) |
| İzleme açısı            | > 120°                                                                |
| Puslanma*               | < %4 (Açık)<br>> %97 (Kapalı)                                         |
| UV durdurma**           | > %98                                                                 |
| IR durdurma**           | > %40                                                                 |
| Tepki süresi            | < 50ms                                                                |
| Çalışma voltajı         | 65 V AC 60 Hz                                                         |
| Güç tüketimi            | 5 W/m <sup>2</sup>                                                    |
| Çalışma sıcaklığı       | -20 °C/+70 °C                                                         |
| Çalışma ömrü            | > 80.000 saat<br>> 15 yıl                                             |
| Açma/kapama çevrim ömrü | > 10.000.000                                                          |

**Uygulanan test yöntemleri:**

\*ASTM D 1003-13 "Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics"

\*\*ASTM E 930 "Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres"

### EK-3: Magiclam Akıllı Cam Teknolojileri Ürün Teknik Özellikleri

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### PROPERTIES

|                                         |            |                        |
|-----------------------------------------|------------|------------------------|
| THICKNESS                               | (mm)       | 0,4 +/- 5%             |
| WIDTH                                   | (mm)       | 1800 /1500 /1200 /1000 |
| LENGTH                                  | MTS        | 50                     |
| COLOR                                   |            | Transparent            |
| ADHESIVE BONDING STRENGTH               | G/mm       | 50                     |
| LIFE CYCLE                              | ON / Click | > 10.000.000           |
| TIMES ON/OFF                            | times      | > 10.000.000           |
| FUERZA DE ADHESIÓN / ADHESION STRENGTH  | (mm)       | 50g/mm                 |
| VISIBLE LIGHT TRANSMITTANCE <b>ON</b>   | %          | > 78                   |
| VISIBLE LIGHT TRANSMITTANCE <b>OFF</b>  | %          | > 68                   |
| PARALLEL LIGHT TRANSMITTANCE <b>ON</b>  | %          | > 76                   |
| PARALLEL LIGHT TRANSMITTANCE <b>OFF</b> | %          | < 1,5                  |
| HAZE <b>ON</b>                          | %          | < 5,90                 |
| HAZE <b>OFF</b>                         | %          | 90,27                  |
| VIEW ANGLE                              |            | > 175                  |
| WORKING VOLTAGE <b>ON</b>               | V          | 48                     |
| SATURATED VOLTAGE <b>ON</b>             | V          | < 25                   |
| RESPONDING TIME <b>OFF-ON</b>           | ms         | < 200                  |
| RESPONDING TIME <b>ON-OFF</b>           | ms         | < 10                   |
| POWER CONSUMPTION <b>ON</b>             | W/M²       | 3                      |

### CERTIFICATIONS

MAGICLAM has all regulations required by the ECC law of laminated glass for outside glazing construction. For further information about MAGICLAM certifications, please contact us at: [info@evalaminacam.com](mailto:info@evalaminacam.com)



**EK-4: Batu Akıllı Cam Teknolojileri Ürün Teknik Özellikleri****Teknik Özellikler**

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Çalışma Modları     | : Şeffaf (ON) / Opak (OFF)               |
| Işık Geçirme        | : $75 \pm 3\%$ (ON) / $10 \pm 1\%$ (OFF) |
| Güneş Işığı Geçirme | : $80 \pm 1\%$ (ON) / $60 \pm 1\%$ (OFF) |
| Bulanıklık          | : $2 \pm 1\%$ (ON) / $80 \pm 3\%$ (OFF)  |
| UV Işın Engelleme   | : 98%                                    |

**Elektrik Özellikleri**

|                 |                      |
|-----------------|----------------------|
| Çalışma Voltajı | : 220 Volt DC        |
| Frekans Aralığı | : 50 ~ 60 Hz.        |
| Güç Tüketimi    | : 1m2 için 7W        |
| Geçiş Hızı      | : 1 sn.' nin Altında |

**Teknik Şartname ;**

|                |                                                                      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------|
| Çalışma Ömrü   | : 20.000 Saat (Magic Screen ürününün aktif olduğu an şeffaf halidir) |
| Garanti Süresi | : 24 Ay                                                              |